

**Tłumaczenie artykułu pt. Rotational-electric principles of RNA/DNA and viability;**

**AIMS Biophysics, 10(3): 385-400, DOI: 10.3934/biophy.2023023**

**Tytuł: Rotacyjno-elektryczne pryncypia RNA/DNA i życia**

**Autorzy: Roman Marks <sup>1</sup>, Piotr H. Pawłowski <sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Instytut Nauk o Morzu i Środowisku, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin

<sup>2</sup> Instytut Biochemii i Biofizyki, Polska Akademia Nauk, Warszawa

\* **Korespondencja:** roman.marks@usz.edu.pl; Tel: 91-444-2538.

**Abstrakt:** Fotograficzne badania ruchu pęcherzyków wznoszących się w wodzie morskiej wykazały, że pęcherzyki mogą generować pojedyncze lub dwuspiralne rotacje, których struktura przypomina architekturę RNA lub DNA. Ruch rotacyjno-wirowy wynika z przyspieszania hydratów jonów, które na górnej i dolnej krzywiznie pęcherzyka rozdzielają się na domeny anionów i kationów. Następnie ruchy te ulegają przyspieszeniu w górnym fragmencie wiru generowanego pod pęcherzykiem, po czym są wyhamowywane w końcowym fragmencie wiru. W wyniku szybkiego wirowania powstaje znaczne tarcie, co skutkuje polaryzacją elektroujemnych atomów H, C, N, O i P. Jednocześnie, rotujące jony i polaryzowane atomy mogą tworzyć elektroujemne bloki molekuł fosforanowych, pierścieniową rybozę oraz bloki zasad azotowych wyposażonych w wirniki H<sub>2</sub> lub H<sub>3</sub>. Taka konfiguracja sugeruje, że wirniki wodorowe mogą mieć zdolność generowania elektronów poprzez ich oscylacyjnie wrywane z powłok walencyjnych sąsiadujących atomów elektrododatnich. Następnie elektrony mogą przepływać przez zasady azotowe i dezoksyrybozę lub rybozę do grup fosforanowych. W konsekwencji ujemnie naładowane grupy fosforanowe mogą przyciągać hydraty kationów i pobudzać ich ruch obrotowy w rowkach, powodując też spiralny przepływ kationów poza rowki RNA/DNA. Taki przepływ może być odpowiedzialny za replikację nukleotydów i ich spiralny sposób organizacji wzdłuż nici kationów oraz syntezę polimerów RNA lub DNA, tj. w taki sam sposób, jak pierwotnie powstawały w wirach pod pęcherzykami. Co więcej, sugeruje to, że wirniki zbudowane z atomów wodoru mogą generować energię potrzebną do życia, a także współdziałać ze wszystkimi polami fizycznymi i chemicznymi.

**Słowa kluczowe:** pęcherzyki w wodzie morskiej; polaryzacja atomów elektroujemnych; wirniki wodorowe; generowanie elektronów; cechy elektryczne nukleotydów; rotacyjno-elektryczne procesy replikacji

---

## 1. Wstęp

Współdziałanie między powietrzem i morzem powoduje generację i załamywanie się fal wiatrowych, które tworzą ogromną liczbę pęcherzyków gazów w toni wodnej [1-4]. Po utworzeniu pęcherzyki przemieszczają się ku górze w kolumnie wody, powodując rozpuszczanie uwieczonych gazów troposferycznych, takich jak azot, tlen, dwutlenek węgla i metan. Następnie rozpuszczone gazy mogą brać udział w procesach oddychania organizmów wodnych, fotosyntezie, utlenianiu

materii, a także powracać wraz z pęcherzykami do powietrza [5,6]. Ponadto odkryto, że pęcherzyki w ruchu wypornościowym w wodzie morskiej polaryzują pierwiastki elektroujemne i kondensują je wzdłuż pojedynczego (spiralnego) ruchu kationów lub dwuspiralnych ruchów, tj. wiodącego ruchu kationowego i kompensacyjnego ruchu kationowo-anionowego. Procesy takie uaktywniane są w wirach pod pęcherzykami, podczas zwężania średnicy obrotów. Powoduje to piruet ruchu wirowego i potęgowy wzrost liczby obrotów generowanych na obu półsferach pęcherzyków nawet o  $10^5$  [7,8]. W konsekwencji energia ruchu rotacyjnego jest potęgowo ogniskowana, powodując znaczne tarcie i polaryzację cząsteczek oraz pierwiastków rozpuszczonych w wodzie. W skali subatomowej, obróbka rotacyjna może powodować wyrywanie elektronów z atomów elektrododatnich i ich gromadzenie przez atomy elektroujemne; tj. głównie wodór (H), węgiel (C), azot (N), tlen (O) i fosfor (P). W ten sposób polaryzowane atomy elektroujemne mogą następnie podlegać przyciąganiu i kondensacji wzdłuż spiralno-obrotowego ruchu kationów, tworząc elektroujemne bloki molekuł i polimerów [8].

Inne eksperymenty ujawniły, że same cząsteczki wody również zachowują się jak idealne wirniki. Tą osobliwą cechą ujawniono za pomocą dysków detekcyjnych ruchu rotacyjnego, które zawieszano w powietrzu nad swobodnie parującą powierzchnią wody [9]. Badania wykazały, że cząsteczki wody gromadzą znaczną ilość energii, która jest przekazywana do powietrza wraz z parą wodną. Taka rotacyjna energia wynika z ruchu obrotowego ramion H-H wirujących przy atomie tlenu w  $H_2O$ . Przy czym, wirniki H--H zaczynają wirować po opuszczeniu fazy wodnej w momencie parowania [9] i przenoszą energię z wody do powietrza w formie tzw. „utajonego ciepła parowania”.

Pierwsze dowody eksperymentalne ujawniające helikoidalne ruchy pęcherzyków uzyskano metodą fotograficzną [10]. Ruchy te składają się z przepływu kationowego, który jest agregowany w dolnej połowie pęcherzyka oraz anionowego, który jest generowany na górnej półkuli [7,10,11]. Przy tym, helikoidalny ruch pojedynczego przepływu kationowego przypomina architekturę RNA, natomiast ruchy dwuspiralne przypominają podwójną helisę występującą w DNA. Dalsze eksperymenty wykazały, że każdy wznoszący się pęcherzyk może wykonywać ruch obrotowy w kierunku przeciwnym do wskazówek zegara pod dolną półkulą pęcherzyka i przeciwbieżny - zgodny ze wskazówkami zegara na górnej półkuli, gdy ruch odbywa się na północnej półkuli Ziemi [10].

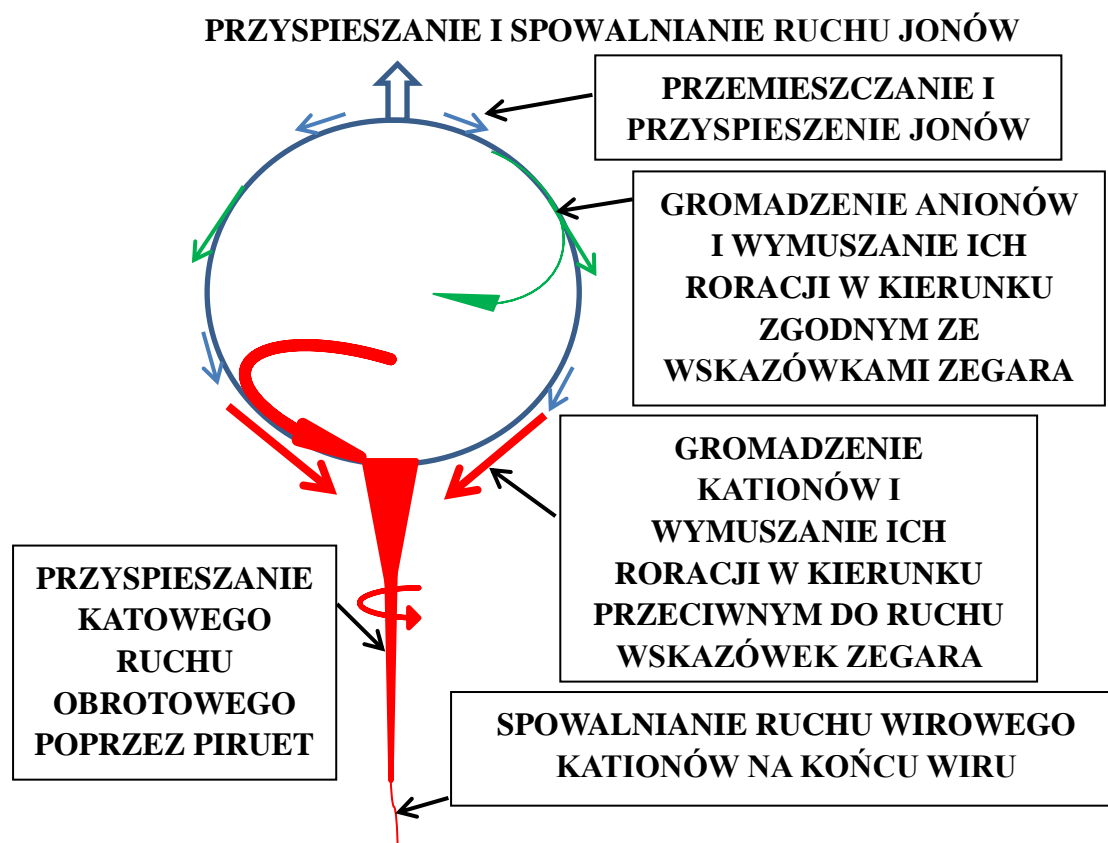
Oba wspomniane kierunki badań eksperymentalnych wskazały na wiodące znaczenie wirników tworzonych przez atomy wodoru. Podobny ruch rotacyjny występuje też przy hydratách kationów, które otoczone są wieloma cząsteczkami wody, a dwuwodorowe wirniki w  $H_2-O$  eksponowane są na zewnątrz [8]. W ten sposób, kombinacja wyników uzyskanych dla ruchu spiralnego pęcherzyków i wirowania samych molekuł wody, pozwoliła na wyjaśnienie rotacyjno-elektrycznych procesów, które aktywują się podczas replikacji RNA/DNA, jak i dostarczają energii potrzebnej do życia.

W niniejszej pracy omówiono obserwacje eksperymentalne, które ujawniły wirowy i rotacyjny ruch pęcherzyków w wodzie morskiej (rozdział 2). Szczególną uwagę zwrócono na procesy przyspieszania i spowalniania ruchu kationów w wirach pod pęcherzykami (rozdział 3); procesy te pozwalają wyjaśnić rotacyjno-elektryczny system, który odpowiedzialny jest za: formowanie oraz funkcjonowanie grupy fosforanowej (podrozdział 3.1); rotacyjny sposób powstawania pierścieniowej dezoksyrybozy i rybozy oraz ich funkcje elektryczne (3.2); powstawanie i funkcjonowanie zasad azotowych posiadających w wirniki wodorowe (3.3) i rotacyjno-elektryczny system przechowywania informacji w nukleotydach (3.4). Rozdział 4 przedstawia rotacyjno-elektryczne pryncypia procesu samoreplikacji; rozdział 5 dyskusję, którą podzielono na badania geochemiczne (podrozdział 5.1), badania ładunków elektrycznych (5.2) oraz znaczenie ruchu obrotowego (5.3).

## 2. Generacja ruchu obrotowego przez wznoszące się pęcherzyki gazów

Dotychczas wykonane obserwacje ruchu rotacyjnego wznoszących się pęcherzyków w wodzie, przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, wyłącznie na północnej półkuli Ziemi. Ujawniły one, że przyspieszanie hydratów jonów przez wznoszące się pęcherzyki zachodzi jednocześnie na wypukłej i wklęsłej półsfery każdego pęcherzyka. Powoduje to frakcjonowanie hydratów jonów i ich grupowanie w formie domen anionowych i kationowych. W wyniku przyspieszania generowany jest rozbieżny - anionowy ruch rotacyjny na górnej półkuli pęcherzyka oraz silny, zbieżny ruch - kationowy, który powstaje pod dolną półsferą i jest ciągniony w wirach pod pęcherzykami.

Obie formy ruchu zarejestrowano fotograficznie stosując światło żarowe skierowane ku górze oraz czas otwarcia migawki w zakresie od 1/5 do 1/30 s. Udane fotografie zwykle pokazywały ślad jednego lub dwóch spiralnych zagęszczeń, które mogły być wymiarowane [7,8,10]. Ponadto, oprócz fotografii, stosowano dyski wskaźnikowe dla kierunku rotacji, które potwierdziły generowanie ruchu wirowego w wirach pod pęcherzykami. Podczas eksperymentów dyski eksponowano nad miejscem pęknięcia pęcherzyków w celu gromadzenia strumienia kropli wirowych. W ten sposób potwierdzono występowanie lewoskrętnego ruchu występującego w wirach i kroplach emitowanych przez pękające pęcherzyki na powierzchni wody, na półkuli północnej [11].



Rysunek 1. Przyspieszanie i rozdzielanie hydratów jonowych (niebieskie strzałki) na ruch anionowy (zielone strzałki i rotor) i kationowy (czerwone strzałki i rotory) oraz generowanie wiru kationowego wraz z przyspieszaniem i spowalnianiem ruchu wirowego, jako procesów powodujących polaryzację atomów elektroujemnych oraz splatanie molekuł fosforanowych, dezoksyrybozy/rybozy i zasady azotowych wyposażanych w wirniki  $H_2$  lub  $H_3$  (ruchy dotyczą północnej półkuli Ziemi).

Proces przyspieszania jonów na ściankach pęcherzyka powodujący podział na domeny anionowe i kationowe oraz piruet ruchu wirowego pod pęcherzykiem, a następnie wyhamowywanie ruchu kationowego na skutek ultraszybkiego tarcia między atomami przedstawiono na Rys. 1.

### 3. Przyspieszanie i spowalnianie ruchu obrotowego w wirach pod pęcherzykami

Po początkowym przyspieszaniu ruchu jonów na zewnętrznych ściankach pęcherzyka następuje dalsze wzmocnienie ruchu obrotowego w wirze pod pęcherzykiem, na skutek efektu piruetu (Rys. 1). Efekt ten powoduje silne ogniskowanie energii, która jest jednocześnie rozpraszana poprzez tarcie na ciepło oraz generację promieniowania elektromagnetycznego Larmora [12]. W wyniku, jednocześnie następuje stopniowe wyhamowywanie ruchu wirowego, które przebiega na poziomie hydratów jonów, cząstek molekuł i atomów. W końcowej fazie obejmuje stosunkowo duże i ciężkie atomy P i przebiega poprzez mniejsze atomy O, N i C, a kończy się na najmniejszych możliwych atomach H. Podczas tego procesu atomy wodoru nieprzerwanie rotują i odśrodkowo przesuują się na zewnątrz.

Biorąc pod uwagę, że ruch hydratów kationów może być ciągniony pod pęcherzykami na odległość przekraczającą nawet 10-krotność średnicy pęcherzyka wskazuje, że dominującą rolę odgrywa rotacja kationów [7]. Zatem, to głównie ruch kationów otoczonych molekułami wody powoduje tarcie i polaryzację pierwiastków elektroujemnych, z których jednocześnie mogą być splecione bloki nukleotydów [8]. Jeśli procesy te przebiegają w sposób ciągły, to ujemnie naładowane bloki takich nukleotydów mogą być jednocześnie przyciągane do przepływu kationowego i układać się w wydłużone nici polimerów RNA lub DNA.

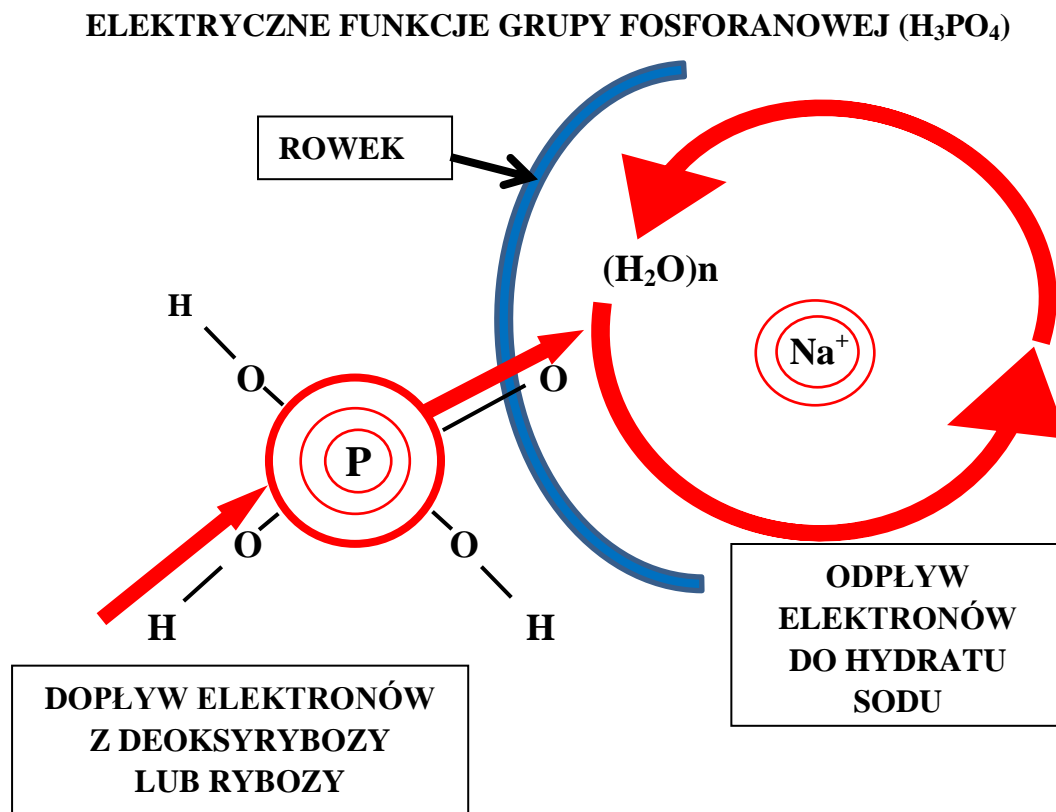
#### 3.1. Rotacyjno-elektryczne osobliwości powstawania i funkcjonowania grup fosforanowych

Ciągłe przemieszczanie i przyspieszanie jonów wzdłuż wznoszących się krzywizn pęcherzyka powoduje ich rozdzielanie na domeny anionowe i kationowe, które agregowane są w obrębie górnej i dolnej półsfery. Proces separacji jonów opiera się na różnicy mas między anionami i kationami. Ponieważ aniony są cięższe od kationów, są one nieco wolniej przemieszczane, dlatego gromadzą się na górnej półsfery pęcherzyka. W wyniku przyspieszania podlegają one spiralnemu ruchowi na zewnątrz, mogą też być częściowo rozproszone przy pęcherzykowym równiku. Natomiast hydraty kationów, jako nieco lżejsze mogą łatwiej być wciągane pod pęcherzyk, generując silny ruch zbieżny i wirowy [11]. Generowany wzrost liczby obwodów spiralnych na końcu wiru może wynieść nawet  $10^5 \text{ s}^{-1}$ . Wskazuje to na dominujące znaczenie ruchu wirowego kationów, który powoduje polaryzację atomów oraz katalizowanie elektroujemnych bloków molekuł polarnych. Nieprzerwanie tworzone bloki takich molekuł mogą jednocześnie być organizowane w spiralne nici polimerów [7].

Oczekuje się, że podczas zwalniania spiralno-rotacyjnego ruchu kationów na końcu wiru następuje elektrodynamiczne pozycjonowanie ciężkich atomów fosforu o masie atomowej 30,97  $u$ . W ten sposób atomy P mogą zająć centralne położenie pomiędzy dwoma hydratami kationów. Następnie atom P może zostać otoczony przez cztery atomy tlenu o masie 15,99  $u$  i trzy atomy wodoru o masie 1  $u$ . Zatem proces tworzenia grupy fosforanowej ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) może opierać się na znaczących różnicach mas atomowych i elektroujemności atomów, co ilustruje Rys. 2.

Ponieważ centralnie umieszczony fosfor ma trzy powłoki elektronowe, a na zewnętrznej jest tylko 5 elektronów (z łącznej możliwej liczby 18), sugeruje to, że P może działać jednocześnie, jako kondensator i router elektronów. Co więcej, biorąc pod uwagę, że trzecia, kowalencyjna powłoka P

oferuje miejsce dla 13 dodatkowych elektronów, wskazuje na najwyższy potencjał do gromadzenia elektronów, spośród wszystkich innych pierwiastków występujących w RNA/DNA. Zatem przepływ elektronów, jeśli jest generowany przez zasady azotowe (podrozdział 3.2) może być odpowiedzialny za elektrostrykcyjne przemieszczanie kationów w kierunku rowka i dalszy przepływ elektronów z grupy fosforanowej do hydratów kationów. Taki system przepływu elektronów przedstawia Rys. 2 jako podstawową funkcję elektryczną grupy fosforanowej.



Rysunek 2. Rozkład atomów elektroujemnych i związany z tym transfer elektronów do i z grupy fosforanowej oznaczony przez (czerwone strzałki) przedstawiony, jako główna, operacyjna funkcja grupy fosforanowej w RNA lub DNA; tj. proces odpowiedzialny za przyciąganie kationów do rowka (niebieski łuk) i wymuszanie ruchu obrotowego np. hydratu sodu ( $Na^+)(H_2O)_n$  (czerwony rotor).

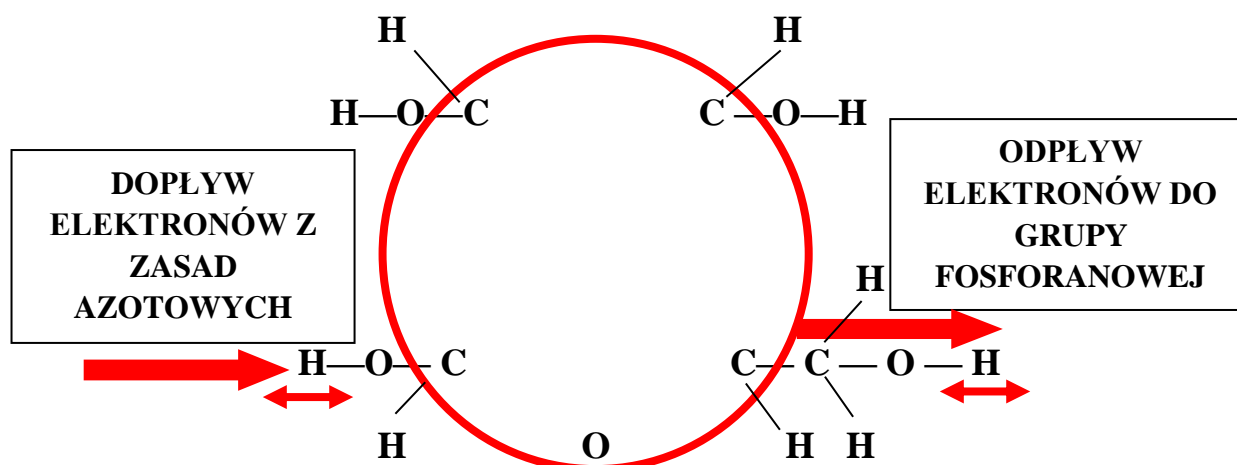
### 3.2. Rotacyjno-elektryczne formowanie pierścieniowej dezoksyrybozy i jej funkcje elektryczne

Obserwacje tworzenia się wirów kationowych pod pęcherzykami ujawniło system ciągłej polaryzacji rozpuszczonych w wodzie morskiej pierwiastków elektroujemnych i powiązany z tym spiralno-wirowy sposób składania z nich bloków molekuł pierścieniowych zbudowanych z C, O i H. Przypuszcza się, że podczas tej obróbki cztery atomy C (każdy o masie 12,01  $u$ ) i jeden atom O (o masie 15,99  $u$ ) może utworzyć płaski pierścień (COCCC), który otaczają cztery atomy H, trzy grupy OH i jedna grupa  $C-H_2-O-H$ . Taka, pierścieniowa konfiguracja wskazuje na rotacyjny sposób formowania pierścieni z elektroujemnych atomów C i O oraz odśrodkowe pozycjonowanie atomów H na zewnątrz rotującego kationu (Rys. 3).

Taka konfiguracja sugeruje, że proces generowania dezoksyrybozy lub rybozy może wynikać z szybko obracającego się hydratu kationu np. sodu ( $Na)(OH_2)_n$ , który domyka (katalizuje) płaskie

pierścieniu z uprzednio elektrycznie polaryzowanych atomów C, O i H. W efekcie, dwupowłokowe atomy C i O mogą uwspólniać zewnętrzne powłoki elektronowe i utworzyć obwód elektryczny z dopływem elektronów przez przełącznik H-O (Rys. 3, lewy panel, zaznaczony pogrubioną czerwoną strzałką). Wtedy, nadmiar elektronów wzbudza pierścień (COCCC) i przesuwają atom H sterujący na zewnątrz grupy CH<sub>2</sub>-O-H, umożliwiając dalszy transfer elektronu do grupy fosforanowej (Rys. 3, prawy panel). Taki sposób przepływu elektronów powinien zapewnić ujemny ładunek rybozy lub dezoksyrybozy. Następnie przepływ elektronów może oddziaływać z hydratami kationów oraz generować ich ruch, tak w kierunku rowków jak i samych rowkach w RNA lub DNA (Rys. 2).

### KONFIGURACJA ELEKTRYCZNA DEOKSYRYBOZY (C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>)

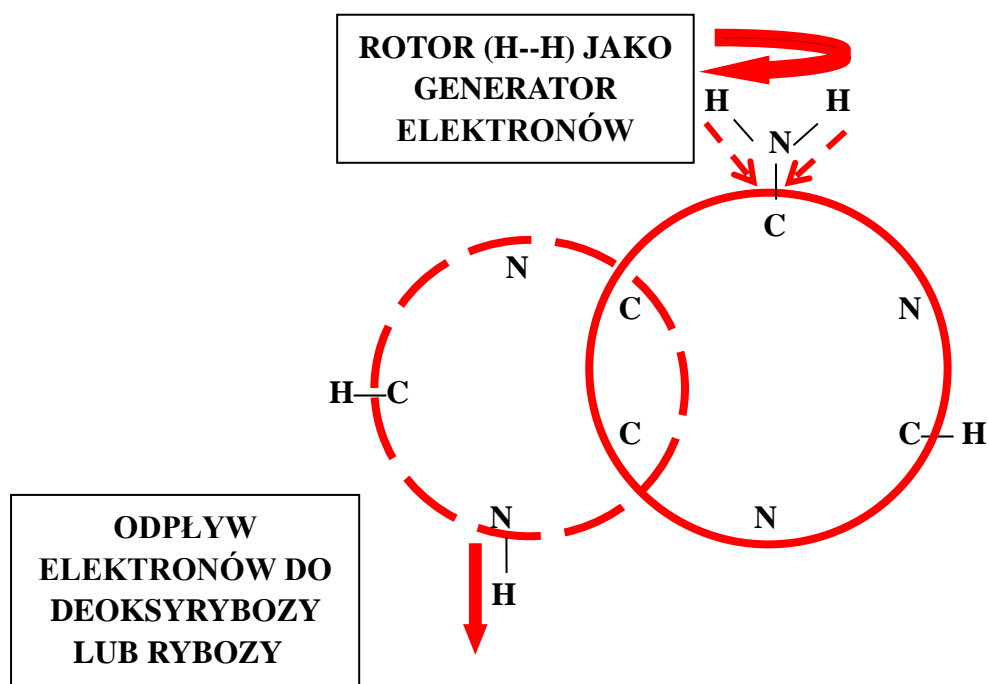


Rysunek 3. Spłaszczony rozkład elektroujemnych atomów H, C i O umożliwiający oscylacyjny transfer elektronów przez przełączniki O-H (dwukierunkowe czerwone strzałki) i ich przepływ z zasad azotowych do grupy fosforanowej (pogrubione strzałki).

### 3.3. Tworzenie pierścieniowych zasad azotowych i ich uzbrajanie w wirniki wodorowe

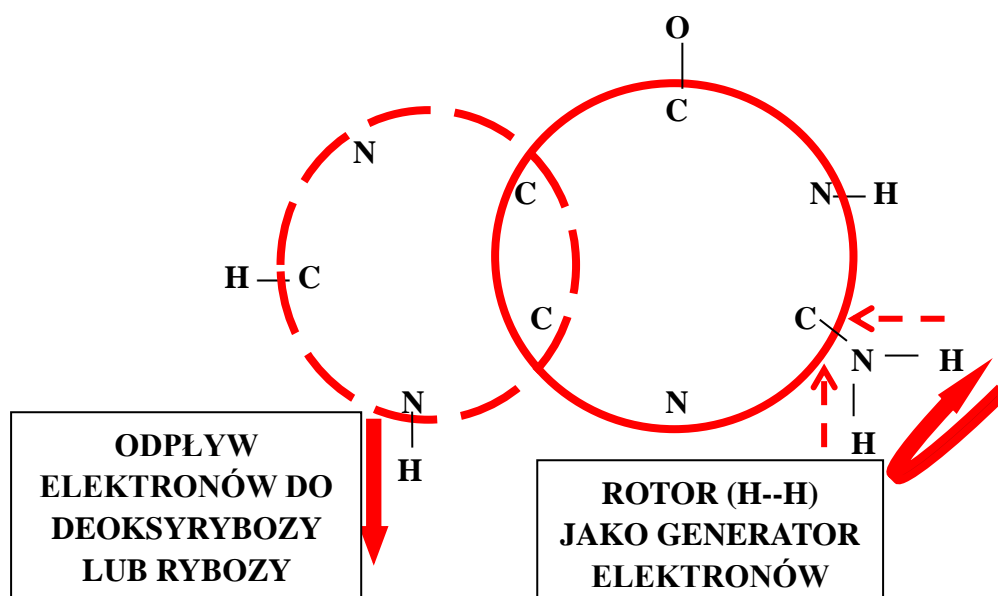
Oczekuje się, że spowalnianie ruchu obrotowego na końcu wiru pęcherzykowego obejmie ruch kationów i ruch anionów. Wtedy ruch obrotowy hydratów kationów może katalizować (domykać) mniejsze pierścienie pięciokątne, podczas gdy ruch obrotowy wokół hydratów anionów może domykać większe pierścienie sześciokątne [8]. Wtedy podczas końcowego spowalniania ruchu wirowego mogą być formowane grupy uzbrajane w wirniki zbudowane z atomów wodoru, tj. grupa N-H<sub>2</sub> (aminowa) i C-H<sub>3</sub> (metylowa). Jednocześnie atomy wodoru mogą być pozycjonowane na zewnątrz pierścieni i przejąć pozostałą energię obrotową (czerwone wirniki na Rys. 4, 5, 6 i 7). W ten sposób każda z zasad azotowych (obok uracylu) jest wyposażona w rotor H-H lub H-H-H, który potrafi generować elektrony poprzez uzupełnianie powłok kowalencyjnych jednego z atomów H drugim elektronem. Następnie atom H (zrównoważony rotacyjnie) będzie dążył do przekazania nadmiarowego elektronu do powłoki walencyjnej N lub C, a następnie do atomu C włączonego do pierścienia zasady azotowej. W kolejności elektrony mogą płynąć do rybozy lub dezoksyrybozy i dalej do grupy fosforanowej. Oczekuje się, że taki ciągły przepływ elektronów będzie przyciągał mobilne hydraty kationowe [8], a w rezultacie tzw. atmosfera kationowa w RNA/DNA [13] może być nieprzerwanie zasilana energią elektryczną, tworząc dynamiczny przepływ w rowkach (Rys. 2).

## ADENINA ( $C_5H_5N_5$ ) Z WIRNIKIEM (H--H) JAKO GENERATOREM ELEKTRONÓW



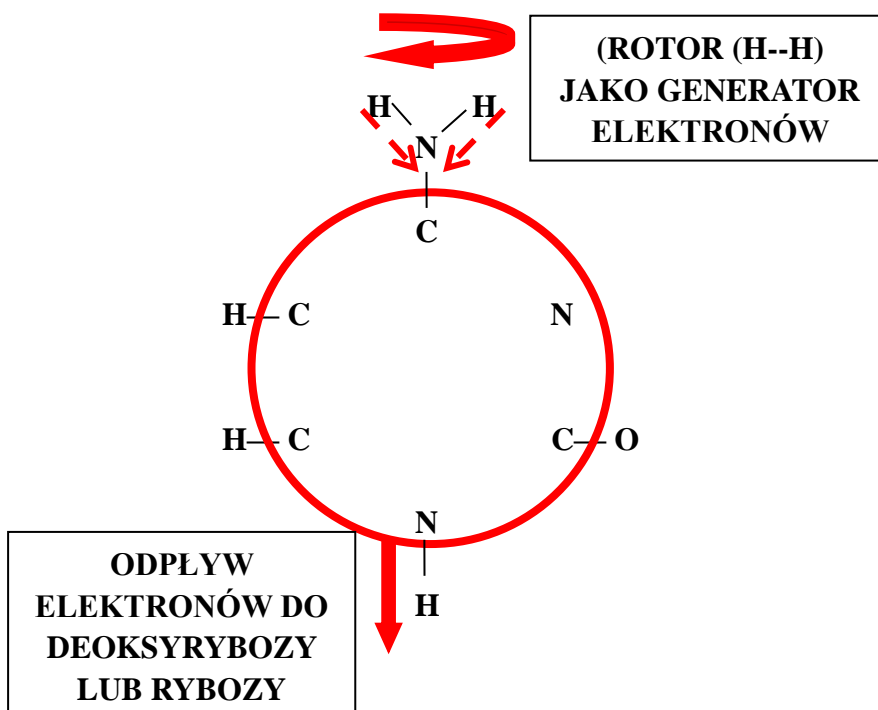
Rysunek 4. Uproszczony rozkład elektroujemnych atomów H, C i N w dwupierścieniowej adeninie, posiadającej wirnik (H--H), który może generować elektrony i indukować przepływ prądu elektrycznego przez grupę N-H do dezoksyrybozy lub rybozy.

## GUANINA ( $C_5H_5N_5O$ ) Z WIRNIKIEM (H--H) JAKO GENERATOREM ELEKTRONÓW



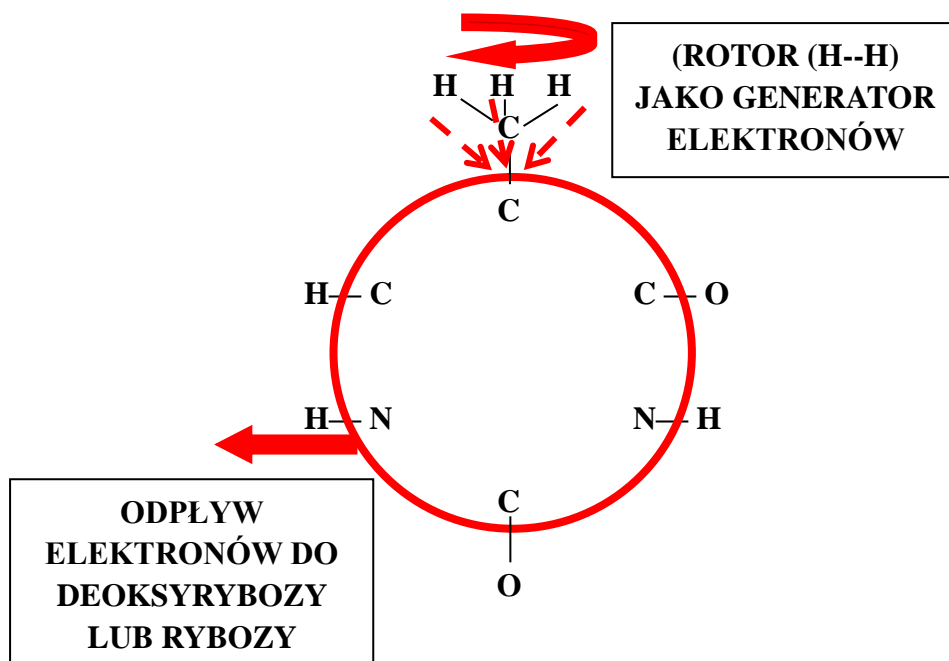
Rysunek 5. Uproszczony rozkład elektroujemnych atomów H, C, N i O w dwupierścieniowej guaninie posiadającej wirnik (H--H), który może generować elektrony i indukować przepływ prądu elektrycznego przez grupę N-H do dezoksyrybozy lub rybozy.

**CYTOZYNA ( $C_4H_5N_3O$ ) Z WIRNIKIEM (H--H) JAKO GENERATOREM ELEKTRONÓW**



Rycina 6. Ilustracja cytozyny posiadającej wirnik (H-H), który może generować elektrony i indukować przepływ prądu elektrycznego przez grupę N--H do dezoksyrybozy lub rybozy.

**TYMINA ( $C_5H_6N_2O_2$ ) Z WIRNIKIEM (H-H-H) JAKO GENERATOREM ELEKTRONÓW**



Rysunek 7. Ilustracja tyminy posiadającej wirnik (H-H-H), który może generować elektrony i indukować przepływ prądu elektrycznego przez grupę N-H do dezoksyrybozy.

Piruet ruchu obrotowego odbywający się w wirze pod pęcherzykiem przebiega od około dziesiątych części mm do rozmiarów rzędu pm sugeruje, że cząsteczki wypełniające wiry powinny również wykonywać obroty w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Taki system rotacji obierany przez hydraty kationów ilustrują rysunki 4, 5, 6 i 7 dla ruchu obserwowanego z góry na półkuli północnej Ziemi [7,10]. Zatem oczekuje się, że ruch w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara jest też wykonywany przez wirniki wodorowe występujące na zewnątrz pierścieni w zasadach azotowych, tj. cytozynie, guaninie, adeninie i tyminie. Biorąc to pod uwagę, wnioskować też można, że każdy pojedynczy elektron wirujący w atomie wodoru umożliwia ekspozycję protonu, co sprzyja przechwytywaniu drugiego elektronu. Następnie nadmiarowy elektron może opaść na kowalencyjną powłokę elektronową najbliższego elektroujemnego atomu N lub C. Takie zrzucanie elektronów przez kolejno każdy z dwóch lub trzech atomów H działających jako wirniki może cyklicznie dostarczać elektrony i w ten sposób generować prąd elektryczny.

Ponadto oczekuje się, że wirniki wodorowe działające przy zasadach azotowych zapamiętują pierwotną rotacyjno-elektryczną cechę ruchu pęcherzyków, która następnie może być regenerowana przez wirniki  $H_2$  lub  $H_3$ . Dlatego też można przypuszczać, że wytwarzanie i przepływ elektronów jest odpowiedzialny za replikację ciągłego ruchu kationów w rowkach przy RNA/DNA. Dokładniej mówiąc, generowanie jednoniciowego ruchu obrotowego może powodować reaktywację przepływu kationowego i replikację RNA, a dwuniciowy ruch nici kationów i nici anionowo-kationowej może generować dwa przeciwbieżne przepływy, które powinny odpowiadać za replikację dwuniciowego polimeru DNA.

Sądzić można, że ultraszybkie obroty wirników wodorowych wynikają z ultra-małej, tj. najmniejszej możliwej wielkości atomu H, którego empiryczny promień wynosi  $25 (\pm 5)$  pm [14]. Dla porównania, empirycznie ustalone promienie atomowe C, N i O wynoszą odpowiednio:  $70 (\pm 5)$  pm,  $65 (\pm 5)$  pm i  $60 (\pm 5)$  pm [14]. Tak małe rozmiary atomów H pozwalają im działać zarówno jak aktywne wirniki jak i ultraszybkie przełączniki. Spodziewać się można, że wirniki H powinny też synchronizować swoje obroty umożliwiając cykliczne odbieranie elektronów od sąsiadujących atomów elektrododatnich. Takie elektrony mogą być przejmowane przez atomy elektroujemne i generować przepływ prądu. Obie te unikalne funkcje atomów wodoru należy uznać za osobliwe cechy umożliwiające niezwykle wydajne funkcjonowanie RNA i DNA.

Jedyną zasadą azotową, która nie posiada rotorów wodorowych jest uracyl ( $C_4H_4N_2O_2$ ) w RNA. Jednak uracyl posiada dwie grupy N-H i dwie grupy C-H, które eksponują atomy H na zewnątrz. Taka konfiguracja pozwala działać atomom wodoru, jako przełączniki umożliwiające oscylacyjny transport elektronów pomiędzy pierścieniem (CNCNCC) i rybozą w polimerach RNA.

### *3.4. Rotacyjno-elektryczny system przechowywania informacji w nukleotydach*

Elektrony, jeśli są generowane przez wirniki wodorowe w zasadach azotowych, mogą być przenoszone na powłoki walencyjne atomów elektroujemnych. Wśród nich atomy C, N i O mają dwie powłoki walencyjne, każda o łącznej pojemności 8 elektronów. Taka konfiguracja pozwala tym atomom uwspólniać zewnętrzne powłoki elektronowe i tworzyć obwody elektryczne pozwalające na przepływ elektronów. W rezultacie zewnętrzne powłoki elektronowe przewodzą prąd elektryczny i zapewniają ujemny ładunek dla każdego z nukleotydów. Taki system przepływu elektronów i prądu elektrycznego ilustrują (Rys. 4, 5, 6 i 7).

Następnie, takie strumienie elektronów są przenoszone do dezoksyrybozy lub rybozy (Rys. 3) i grupy fosforanowej (Rys. 2), zasilając wirniki wodorowe należące do kilkudziesięciu cząsteczek  $H_2O$ , które otaczają każdy kation. Ponieważ wzdłuż spiralnego rowka w RNA/DNA mogą być dostępne nawet miliardy grup fosforanowych, to generowany przepływ elektronów do kationów może też być bardzo szybki. Aby jednak wygenerować i podtrzymywać przyciąganie uwodnionych kationów oraz wymusić ich ciągły przepływ, niezbędny jest ciągły dostęp do wody, kationów i zewnętrznego źródła energii o stabilnej mocy.

Przypuszczać można, że takie same procesy rotacyjno-elektryczne przebiegają w wirach pod pęcherzykami, gdy hydraty kationowe mogą wykonywać nawet kilka milionów obrotów na sek. [8]. Niemniej jednak, podczas spowalniania ruchu kationowego, obroty są stopniowo redukowane i ostatecznie przejmowane przez wirniki wodorowe sterujące na zewnątrz pierścieni w cytozynie (C), guaninie (G), adeninie (A) i tyminie (T), tak jak ilustrują to Rys. 4-7. Przypuszczać można, że to właśnie małe wirniki uformowane z atomów H kodują i „zapamiętują” elektrodynamikę przepływu kationów, a następnie mogą precyzyjnie odtworzyć jego elektrodynamikę przez odwrotny przepływ elektronów. W ten sposób, przepływ elektronów może ponownie wymuszać ruch hydratów kationów w rowkach oraz powodować jego transmisję poza rowki, umożliwiając w ten sposób ciągłą replikację nukleotydów i jednocześnie ich systemowe organizowanie w długie polimery RNA lub też DNA.

#### **4. Rotacyjno-elektryczne pryncypia samoreplikacji**

Biorąc pod uwagę rotacyjne i elektryczne procesy generowane podczas ruchu pęcherzyków, stawiamy hipotezę, że zasady przechowywania, translacji, transkrypcji i replikacji RNA/DNA są powiązane z atomami wodoru, które mogą działać jak wirniki i generatory elektronów o wysokiej częstotliwości. Na tym etapie badań sugerujemy, że zasady C, G, A i T pamiętają (kodowany przez pęcherzyki) system kationowej rotacji. Następnie, każda z zasad azotowych może reaktywować przepływ wsteczny elektronów przez nukleotydy do hydratów kationów w rowkach i aktywować ich samoreplikację. Taki system wyjaśnia pryncypia precyzyjnej, tj. rotacyjnej i elektrycznej replikacji zarówno nukleotydów jak i polimeru RNA/DNA. Inaczej mówiąc, proces replikacji może polegać na generowaniu elektronów przez wirniki wodorowe, które występują w grupach ( $N-H_2$ ) w zasadach C, G, A i grupach ( $C-H_3$ ) typowych dla T. Następnie elektrony mogą przepływać przez zasady azotowe i grupy cukrowo-fosforanowe do rowków i hydratów kationów. Jeśli taki wirowy przepływ kationów będzie ciągły, to powinien on być wynoszony na zewnątrz rowków i ponownie polaryzować atomy elektroujemne, a z nich splatać nukleotydy i polimery. Taki ciągły ruch rotacyjno-kationowy może pamiętać dynamikę przepływu kationowego (wcześniej zakodowaną przez pęcherzyki). Dlatego, taki odwrócony spiralny przepływ kationów może odtwarzać spójne sekwencje nukleotydów. Ponadto można wnioskować, że ciągle odtwarzane sekwencje takiego wirowo-elektrycznego przepływu powinny stale naprawiać wadliwe sekwencje, jeśli byłyby one niepoprawnie złożone. Dlatego uważamy, że elektrycznie kodowany kationowy ruch rotacyjny jest odpowiedzialny za replikację zasad azotowych, rybozy lub deoksyrybozy i grupy fosforanowej wraz z ciągłą ich organizacją w spiralną nić polimeru. Uaktywnienie takiej ciągłej formy replikacji wymaga jednak zapewnienia dostępu do hydratów kationów, anionów oraz odnawialnego źródła energii cieplnej lub/i elektromagnetycznej, jak też precyzyjnego utrzymywania stabilnego dostępu do strumieni energii generowanej.

## 5. Dyskusja wyników

Dyskusję wyników i hipotez stawianych w niniejszej pracy podzielono na trzy obszary badań eksperymentalnych.

### 5.1. Badania geochemiczne

Eksperyment Millera i Ureya [15] oraz podobne późniejsze próby pokazują, że nukleotydy i inne organiczne elementy budulcowe mogą powstawać w stosunkowo szerokim zakresie warunków, jakie mogły panować w pierwotnej, tzw. „gorącej zupie oceanicznej”. Obecny pogląd jest taki, że pojedyncze nukleotydy, które połączyły się ze sobą, tworząc RNA, są bardzo niestabilne i szybko się rozkładają. Jednakże niektóre stabilne lub też w jakiś sposób nieco lepiej chronione RNA może się powiększać, tworząc ostatecznie samokopiujący się system RNA. Oczekuje się, że takie formy RNA lepiej się kopiowały niż inne, zatem przetrwały dłużej i stały się liczniejsze, zgodnie z zasadą doboru naturalnego. Niemniej jednak Miller i Urey nie znaleźli żadnych wydłużonych kompleksów, takich jak polimery RNA i DNA. Mamy zatem pewność, że procesy generowane w wirujących reaktorach pod pęcherzykami mogły pozwolić na tworzenie się wydłużonych polimerów.

Zgodnie z modelem syntezy nieciągłej, segmenty RNA mogą być spontanicznie wytwarzane z formaldehydu (HCHO) i aldehydu glikolowego (HOCH<sub>2</sub>-CHO), szczególnie w alkalicznych warstwach wodonośnych, jeśli są generowane przez skały serpentynitów. Podłoże to mogło powstać w wyniku wyładowań elektrycznych w pierwotnej atmosferze na Ziemi, zawierającej głównie CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O i N<sub>2</sub>. Jednak wiele elementów tego niemorskiego modelu nie wyjaśnia syntezy polimerów RNA, co powszechnie uznaje się za wymóg podstawowy. Spowodowało to poszukiwanie innych modeli tworzenia RNA w innych środowiskach, np. oceanicznym [16]. Nasz model, oparty na ruchu pęcherzyków w środowisku wody morskiej, zdaje się nie cierpieć na tzw. syndrom asfaltu.

W początkowej fazie powstawania życia w ciepłym oceanie na Ziemi, w temperaturze około 50-60°C, mógł dominować ruch pojedynczych wirów kationowych pod pęcherzykami, sprzyjający tworzeniu się RNA. Zatem cząsteczki spiralne powstałe w takich warunkach mogły stać się jednym z najważniejszych źródeł proto-tRNA i aminoacylo-tRNA w syntezach protorybozy. Zgodnie z tzw. hipotezą „gładkiej ewolucji” [17], polimery te, powstałe w „gorącej erze przed kodowaniem”, mogły stanowić podstawową matrycę we wczesnej ewolucji kodów genetycznych. Powinny one być bogate w regiony poli-A i poli-U, ale także zawierać pewne zasady azotowe G i C. Sugeruje to jednak, że pierwszymi cząsteczkami informacyjnymi mogły być polimery RNA generowane przez pęcherzyki tworzące jedynie jednokationowe ruchy obrotowe w pierwotnym ciepłym oceanie [18]. Z drugiej strony ich niestabilność w silnie jonowej wodzie morskiej mogła zapewnić obfity zapas cząsteczek elektroujemnych, z których pęcherzyki mogłyby selektywnie (elektrodynamicznie) formować licznie warianty molekuł spiralnych, a w tym też samoreplikujące się formy RNA i DNA.

### 5.2. Badania ładunków elektrycznych

Biorąc pod uwagę hipotezę generacji elektronów przez wirniki wodorowe uaktywniane przy pierścieniach zasad azotowych, możemy wyjaśnić mechanizm generowania elektronów w zasadach azotowych i nukleotydach i dynamicznego odbudowywania się tzw. atmosfery kationowej wokół

RNA i DNA [19]. Jednakże w przypadku polimerazy konieczne jest ciągle laminowanie materiały elektroobojętą [8], aby chronić złożony polimer przed rekombinacją ładunku. Zatem tylko te polimery, które zostały zabezpieczone przez materię elektroobojętą mogły mieć szansę na zachowanie zdolności do generowania elektronów, a w ten sposób zapewnić sobie stabilne źródło tzw. „energii chemicznej” potrzebnej do życia [20].

Podobny elektryczny mechanizm jest odpowiedzialny za efektywne wylapywanie i aerozolowe rozpraszanie w powietrzu, ujemnie naładowanych komórek bakterii [21-23] i okrzemek [11] oraz wirusów chronionych przez kapsydy [24,25]. Elektryczny mechanizm odpowiada też za adhezję dodatnio naładowanych regionów tzw. kolców, które są eksponowane w cząsteczkach koronawirusów. Takie dodatnio naładowane obszary białka S zapewniają efektywne elektryczne przyleganie do ujemnie naładowanych błon komórek biologicznych gospodarza [26], a w konsekwencji fuzję wirusa z komórką i transmisję wirusowego RNA.

W skali molekularnej oddziaływania rotacyjne generowane w wirach pod pęcherzykami wymuszają jeszcze co najmniej dwa inne procesy: 1) wzrost elektrostrykcji w wyniku zwiężenia się wiru oraz 2) indukcję prądów zgodnie z regułą Lenza. Związane z tym wygaszanie wiru jest efektem rozproszenia energii na skutek tarcia i tzw. promieniowania elektromagnetycznego Larmora [12]. Mniej istotnym czynnikiem może być efekt pola elektromagnetycznego, który jest największy na wyższych szerokościach geograficznych, gdzie pole magnetyczne Ziemi jest prostopadłe do powierzchni. Na półkuli południowej kierunki wirowania i prądów indukowanych będą przeciwne. Przykładowo średnia gęstość prądu wirowego ładunku (powierzchnia prądu do przepływu) w górnej połowie pęcherzyka, może być oszacowana na podstawie wzoru (1) wynikającego z prawa indukcji elektromagnetycznej Faradaya:

$$J = \sigma \cdot B \cdot v / 3^{0.5} \quad (1)$$

gdzie: właściwe przewodnictwo elektryczne wody morskiej,  $\sigma = 4$  [S/m]; indukcja magnetyczna w pobliżu powierzchni ziemi,  $B = 50 \cdot 10^{-6}$  [T]; a prędkość wznoszenia się pęcherzyków,  $v = 2 \cdot 10^{-2}$  [m/s], daje wartość  $J$  około  $2 \cdot 10^{-6}$  [A/m<sup>2</sup>]. Wartość ta jest znacznie większa niż średnia gęstość prądu atmosferycznego pomiędzy powierzchnią Ziemi a jonosferą, która przy dobrej pogodzie wynosi ok.  $2 \cdot 10^{-12}$  [A/m<sup>2</sup>].

Sposób transferu ładunku elektrycznego w DNA, zorganizowany w układ elektryczny, został już zaproponowany przez Xu [27]. Autor założył, że DNA można traktować jako oscylujący obwód elektryczny, w którym każda para zasad azotowych pełni rolę kondensatora; dezoksyryboza działa jak router ładunku, podczas gdy każdy z mostków cukrowo-fosforanowych działa jak induktor ładunku. Generalnie model Xu jest zgodny z modelem przedstawionym w tej pracy, jednak nasza koncepcja dodatkowo wyjaśnia mechanizm dostarczania elektronów zarówno do nukleotydów, jak i do hydratów kationów. Oba te procesy są potrzebne, aby zapewnić dynamikę atmosfery jonowej, ciągle odbudowywanej wokół RNA/DNA i wymusić replikację ruchu hydratów kationów w rowkach RNA/DNA.

Badania właściwości optycznych kwasów nukleinowych wykazały, że wszystkie zasady azotowe dobrze absorbują światło ultrafioletowe w zakresie długości fal od 249 nm do 276 nm. Jednakże dwupierścieniowa guanina i adenina pochłaniają nieco więcej światła przy nieco krótszym zakresie długości fali w ultrafiolecie: guanina wykazuje maksimum absorpcji przy 249 nm, a adenina przy 265,5 nm. Natomiast zasady jednopierścieniowe, jak uracyl, wykazują absorpcję przy 260 nm, tymina przy 265 nm i cytozyna przy 276 nm. Ponadto każda z zasad azotowych różni się także pod względem maksymalnej intensywności absorpcji światła [28,29]. Nasze badania

sugerują, że proces absorpcji światła może wynikać z interakcji pomiędzy światłem i wirnikami wodorowymi, ponieważ mogą one obracać się z częstotliwością umożliwiającą przechwytywanie fotonów. Chociaż braku takiej aktywności oczekiwać można w przypadku uracylu. Sugeruje to jednak, że też atomy wodoru jak i przełączniki wodorowe eksponowane na zewnątrz w grupach N–H i C–H w uracylu, (a także wszystkich innych zasadach azotowych) mogą również oddziaływać z fotonami i absorbować światło.

W silnie jonowej strukturze wody morskiej ujemnie naładowane reszty kwasu fosforanowego w nukleotydach nie sprzyjają wzajemnym połączeniom z grupami polinukleotydów, które mogły występować w pierwotnym, ciepłym oceanie (zgodnie z hipotezą pierwotnego świata RNA) [18]. Odpychanie elektrostatyczne na bliskich odległościach jest utrzymane przy ekranowaniu Debye'a (trwałość efektów elektrostatycznych indukowanych przez jony) przez otaczające chmury jonowe. W warunkach analizowanych w tej pracy powstawanie silnego wiru pod pęcherzykami może przeorganizować chmurę jonową i katalizować wydłużone elektroujemne RNA lub DNA. W efekcie hydrofilowe, ujemnie naładowane reszty fosforanowe nukleotydów mogą zorientować się w stronę dodatnio naładowanego strumienia, który w końcowej oś wiru powinien umożliwić hydrofobową stabilizację wydłużonych struktur. Choć mechanizm ten, w przypadku oddziałujących nici, nie zapewnia doskonałej komplementarności A-U i G-C, to możliwe że wiązania niespecyficzne tj. luźno splecione pasma mogą ułatwiać tworzenie „prawidłowo” związanych zasad. Ponadto dodatnio naładowane aminokwasy (lizyna, arginina lub histydyna) mogą przyłączać się do ujemnych szkieletów. Powstały zbiór kompleksów molekularnych tego rodzaju może wykazywać właściwości katalityczne lub stanowić rybosomy tworzące matrycę. Jednakże wiązanie struktury podwójnej helisy DNA jest możliwe tylko wtedy, gdy rybozę zastąpi się dezoksyrybozą, a uracyl tyminą.

### 5.3. Znaczenie ruchu obrotowego

Ponieważ wodór jest najbardziej rozpowszechnionym pierwiastkiem w hydrosferze i litosferze; odegrał on też dominującą rolę w syntezie RNA/DNA i ewolucji życia na Ziemi. Biorąc to pod uwagę, sugerujemy, że wirniki wodorowe posiadające zdolność generowania elektronów mogą oddziaływać ze wszystkimi polami fizycznymi i chemicznymi występującymi na Ziemi, w oceanach, troposferze i na lądzie. Szczególnie długoterminowe interakcje z promieniowaniem słonecznym, oraz polami termicznymi, grawitacją, elektrycznością, magnetyzmem i polami akustycznymi, mogły kształtować przebieg ewolucji. Zatem stwierdzamy, że RNA i DNA, oprócz zdolności do replikacji, posiadają także zdolność do interakcji i zapamiętywania (poniekąd uczenia się) osobliwości pól fizycznych i chemicznych. Zasadniczą rolę w tych procesach powinny odgrywać atomy wodoru oraz z nich zbudowane wirniki. Mogły one umożliwić przekształcenie się polimerów RNA/DNA w samoreplikujące się formy życia, które najpierw pojawiły się w oceanach, a następnie skolonizowały obszary przybrzeżne i lądy.

Intrygujący jest też fakt, że rotacja odgrywa również najważniejszą rolę w procesach ocieplenia się klimatu Ziemi, gdyż wszystkie gazy pochłaniające energię cieplną posiadają budowę wirnikową. W szczególności wirniki H–H eksponowane przy atomach tlenu w cząsteczkach pary wodnej ( $H_2O$ ), a zwłaszcza dwie pary takich wirników występujących w metanie ( $CH_4$ ) skutecznie pobierają i magazynują energię cieplną w troposferze. Inaczej mówiąc, wirniki wodorowe mogą przechwytywać skierowane w górę promieniowanie cieplne, które w ten sposób jest zatrzymywane w powietrzu, powodując stopniowe ocieplenie klimatu na Ziemi [9].

Warto podkreślić, że znaczenie ruchu obrotowego po raz pierwszy poprawnie opisał Mikołaj Kopernik w swoim rękopisie zatytułowanym „Commentariolus” już ponad 500 lat temu (jeden z rękopisów znajduje się obecnie w zbiorach Centrum Historii Nauki, Szwedzkiej Królewskiej Akademii Nauk). Jesteśmy pewni, że ruch obrotowy odgrywa również podstawową rolę we wszystkich procesach odbywających się w RNA i DNA. Szereg takich elektrostatycznych i elektrodynamicznych procesów badano w skalach molekularnych za pomocą eksperymentów i modelowania matematycznego m.in. [30-35]. Te same, z natury rotacyjne, procesy narzucają też wszystkie inne oddziaływania rotacyjno-elektryczne, które odpowiadają za wydajną i precyzyjną transkrypcję i replikację RNA/DNA, a także transport cząsteczek w komórkach biologicznych. Procesy te zapewniają również niezwykle sprawny system komunikacji działający tak wewnątrz jak i na zewnątrz komórek biologicznych we wszystkich formach aktywnego życia.

Biorąc pod uwagę to, że przedstawiona w tej pracy hipoteza badawcza opiera się wyłącznie na obserwacjach ruchu wirowo-spiralnego pęcherzyków w wodzie morskiej, wzywamy do dalszych, bardziej rozbudowanych badań procesów rotacyjnych i elektrycznych przebiegających w skalach: molekularnej, atomowej, a także subatomowej. W szczególności należy potwierdzić procesy generacji elektronów przez wirniki wodorowe działające w grupach metylowych i aminowych oraz związany z tym przepływ elektronów przez sterzące na zewnątrz nukleotydów atomy wodoru, które powinny spełniać rolę oscylujących przełączników.

## 6. Wnioski

1. Podczas wyhamowywania kationowego ruchu obrotowego pod wznoszącymi się pęcherzykami dochodzi do splatania elektroujemnych bloków grup fosforanowych, pierścieni dezoksyrybozy lub rybozy i zasad azotowych, które wyposażane są w aktywne wirniki wodorowe.
2. Replikacja nukleotydów odbywa się poprzez przepływ elektronów, które pobudzają wirowy ruch hydratów kationów w rowkach RNA/DNA, a następnie są transferowane na zewnątrz rowków.
3. Najprostsza (proton-elektron) budowa rotacyjna atomów wodoru pozwala im generować elektrony i indukować przepływ prądu oraz zapewniać komunikację elektryczną w żywych organizmach.
4. Wirniki wodorowe działające przy nukleotydach pozwalają na interakcje z polami fizycznymi i chemicznymi Ziemi oraz dostarczają energii niezbędnej do życia.
5. Atomy wodoru, jako najmniejsze, najbardziej mobilne, a więc i najbardziej podatne na rotację, należy uznać za podstawowy element odpowiedzialny za powstanie życia i przebieg jego ewolucji.

## Konflikt interesów

Autorzy nie zgłaszają konfliktu interesów.

## Wkład pracy autorów:

Pierwszy autor: przeprowadził eksperymenty i opracował koncepcję wirników wodorowych, działających jak generatory elektronów oraz napisał tekst. Drugi autor: przyczynił się do dyskusji i wyjaśnienia transferów elektronów w nukleotydach.

## Deklaracja wykorzystania narzędzi AI

Autorzy oświadczają, że przy tworzeniu artykułu nie korzystali z sztucznej inteligencji (AI).

## Literatura

1. Blanchard DC, Woodcock AH (1957) Bubble formation and modification in the sea and its meteorological significance. *Tellus* 9: 145–158. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v9i2.9094>
2. Monahan EC (1971) Oceanic whitecaps. *J Phys Oceanogr* 1: 139–144. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1971\)001%3C0139:OW%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1971)001%3C0139:OW%3E2.0.CO;2)
3. Liss PS (1983) Gas transfer: experiments and geochemical implications. *Air-Sea Exchange of Gases and Part* 241–298. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-7169-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-009-7169-1_5)
4. Garbalewski C, Marks R (1987) Latitudinal characteristics of aerosol distribution in the near surface air over the Atlantic. *Acta Geophys Pol* 35: 77–86.
5. Stramska M, Marks R, Monahan EC (1990) Bubble-mediated aerosol production as a consequence of wave breaking in supersaturated (hyperoxic) seawater. *J Geophys Res Oceans* 95: 18281–18288. <https://doi.org/10.1029/JC095iC10p18281>
6. Woolf DK, Thorpe SA (1991) Bubbles and the air-sea exchange of gases in near saturation conditions. *J Mar Res* 49: 435–466.
7. Marks R (2015) Sub-bubble bi-pirouette splicing of cationic and anionic bases as a process of RNA/DNA creation. *Oceanography* 2: 128. <https://www.researchgate.net/publication/284766375>
8. Marks R (2022) Bubble mediated polymerization of RNA and DNA. *AIMS Biophys* 9: 6–107. <https://doi.org/10.3934/biophys.2022009>
9. Marks R (2019) Water vapor induced airborne rotational features. *Meteorol Hydrol Water Manage* 7: 39–47. <https://doi.org/10.26491/mhwm/104634>
10. Marks R (2014) Bubble rotational features-preliminary investigations. *Oceanography* 2: 128. <https://doi.org/10.4172/2332-2632.1000128>
11. Marks R, Górecka E, McCartney K, et al. (2019) Rising bubbles as mechanism for scavenging and aerosolization of diatoms. *J Aerosol Sci* 128: 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2018.12.003>
12. Larmor J (1987) On the theory of the magnetic influence on spectra; and on the radiation from moving ions. *Philosoph Magazine* 44: 503–512. <https://doi.org/10.1080/14786449708621095>
13. Lipfert J, Doniach S, Das R, et al. (2014) Understanding of nucleic acid-ion interactions. *Annu Rev Biochem* 83: 813–841. <https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-060409-092720>
14. Slater JC (1964) Atomic Radii in Crystals. *J Chem Phys* 41: 3199–3204. <https://doi.org/10.1063/1.1725697>
15. Miller SL, Urey HC (1959) Organic compound synthesis on the primitive earth. *Science* 130: 245–251. <https://doi.org/10.1126/science.130.3370.245>
16. Benner SA, Kim HJ, Carrigan MA (2012) Asphalt, water, and the prebiotic synthesis of ribose, ribonucleosides, and RNA. *Acc Chem Res* <https://doi.org/10.1021/ar200332w>
17. Pawłowski PH (2019) The smooth evolution of the universal genetic code. Main episodes. *Inter J Sci* 8: 28–51. <https://doi.org/10.18483/ijSci.2180.19>

18. de Farias ST, dos Santos Junior AP, Rêgo TG, et al. (2017) Origin and evolution of RNA-dependent RNA polymerase. *Front Genet* 8: 125. <https://doi.org/10.3389/fgene.2017.00125>
19. Draper DE (2008) RNA Folding: Thermodynamic and Molecular Descriptions of the Role of Ions. *Biophys J*, 95: 5489-95. doi: 10.1529/biophysj.108.131813
20. Eisenberg R (2023) Kirchhoff coupling generates ATP, the chemical energy of life. *Qeios*. <https://doi.org/10.32388/C8DYK>
21. Blanchard DC, Syzdek LD (1970) Mechanism for the water-to-air transfer and concentration of bacteria. *Science* 170: 626–628.
22. Marks R, Kruczalak K, Jankowska K, et al. (2001) Bacteria and Fungi in air over the Gulf of Gdańsk and Baltic Sea. *J Aerosol Sci* 32: 43–56. [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(00\)00064-1](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(00)00064-1)
23. Aller JY, Kuznetsova MR, Jahns C, et al. (2005) The sea surface microlayer as a source of viral and bacterial enrichment in marine aerosol. *J Aerosol Sci* 36: 801–812. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2004.10.012>
24. Michaud JM, Thompson LR, Kaul D, et al. (2018) Taxon-specific aerosolization of bacteria and viruses in an experimental ocean-atmosphere mesocosm. *Nat Commun* <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04409-z>
25. Reche I, D'Orta G, Mladenov N, et al. (2018) Deposition rates of viruses and bacteria above the atmospheric boundary layer. *ISME J* 12: 1154–1162. <https://doi.org/10.1038/s41396-017-0042-4>
26. Pawłowski PH (2021) Charged amino acids may promote coronavirus SARS-CoV-2 fusion with the host cell. *AIMS Biophys* 8: 11–120. <https://doi.org/10.3934/biophys.2021008>
27. Xu K (2013) DNA circuit system and charge transfer mechanism. *Engineering* 5: 382–385. <https://doi.org/10.4236/eng.2013.510B077>
28. Roberts GCK (2013) UV absorbance spectroscopy of biological macromolecules. *Encyclopedia of Biophysics* [https://doi.org/10.1007/978-3-642-16712-6\\_780](https://doi.org/10.1007/978-3-642-16712-6_780)
29. Chou PJ, Johnson WC (1993) Base inclinations in natural and synthetic DNAs. *J Am Chem Soc* 115: 1205–1214.
30. Cherstvy AG, Kornyshev AA (2005) DNA melting in aggregates: Impeded or facilitated? *J Phys Chem B* 109: 13024–13029. <https://doi.org/10.1021/jp051117i>
31. Cherstvy AG (2005) Structure of DNA toroids and electrostatic attraction of DNA duplexes. *J Phys Condens Matter* 17: 1363. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/17/8/015>
32. Baldwin GS, Brooks NJ, Robson RE, et al. (2008) DNA double helices recognize mutual sequence homology in a protein free environment. *J Phys Chem B* 112: 1060–1064. <https://doi.org/10.1021/jp7112297>
33. Kornyshev AA, Lee DJ, Wynveen A (2017) Theory of phase segregation in DNA assemblies containing two different base-pair sequence types. *New J Phys* 19: 015014. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/aa5482>
34. Dominic J (2018) Introducing a model of pairing based on base pair specific interactions between identical DNA sequences. *J Phys Condens Matter* 30: 075102. <https://doi.org/10.1088/1361-648X/aaa043>

- 
35. Gladyshev E, Kleckner N (2018) Recombination-independent recognition of DNA homology for repeat-induced point mutation (RIP) is modulated by the underlying nucleotide sequence. *PLoS Genet* 12: e1006015. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1006015>