

Pęcherzykowe procesy polimeryzacji RNA i DNA

(tłumaczenie pracy (Marks R., 2022. Bubble mediated polymerization of RNA and DNA. AIMS Biophysics, 9(2), 96-107, DOI: 10.3934/biophy.2022009

Roman Marks

Instytut Nauk o Morzu i Środowisku, Uniwersytet Szczeciński, ul. Mickiewicza 18, 70-383 Szczecin

Email: roman.marks@usz.edu.pl; Tel: 48 91 444 25 38.

Abstrakt: Badania cech ruchu wirowego pęcherzyków w wodzie morskiej wykazały, że mogą one generować zarówno spiralny ruch kationowy tworzący pojedynczą helisę, jak i kationowo/anionowy ruch tworzący dwie helisy, a w tym również system ruchu spleciony z dwóch helis. We wszystkich przypadkach przepływy jonowe propagowane są w formie ciągłych, wirujących zagęszczeń jonów. W przypadku przepływów dwujonowych są one przeciwbieżnie i elektrycznie polarne. Dodatkowo, pod pęcherzykami następuje zawężenie wirów i wzrost liczby obrotów nawet do kilku milionów na sekundę. W rezultacie dochodzi do tarcia między wirującymi hydratami jonów, co powoduje wyrwanie elektronów z zewnętrznych, kowalencyjnych powłok pierwiastków elektrododatnich. Następnie uwalniane elektrony są przechwytywane przez pierwiastki elektroujemne. Jednocześnie, ujemnie naładowane pierwiastki podlegają selekcji i elektrycznej kondensacji przebiegającej wokół wirujących hydratów kationów. Taki wirowy mechanizm wybiórczej kondensacji pierwiastków elektroujemnych może formować ujemnie naładowane bloki związków fosforanowych i pięciokątne pierścienie molekuł, takich jak ryboza i zasady azotowe A, G, które występują w RNA i DNA. Kompensacyjne i przeciwbieżne obroty hydratów anionów mogą związać większe, sześciokątne pierścienie zasad azotowych A, G i C, T lub U. Pierścienie takich molekuł gromadzą więcej ładunku dodatniego, który może elektrostatycznie mostkować ujemnie naładowane cząsteczki cukrów, jakie występują w kwasach nukleinowych. Ciągłe generowanie pierwiastków i molekuł elektroujemnych oraz spiralny sposób ich splatania w wirach pod pęcherzykami można traktować jako uniwersalny mechanizm rotacyjno-elektrycznej polimeryzacji makrocząsteczek o architekturze pojedynczych lub podwójnych helis. Prezentowane wyniki badań opierają się na obserwacjach procesów fizycznych generowanych przez wznoszące się pęcherzyki w wodzie morskiej, dlatego wymagają potwierdzenia przez inne badania eksperymentalne i metody obecnie stosowane w fizyce, chemii i genetyce.

Słowa kluczowe: pęcherzyki w wodzie morskiej, selekcja i agregacja jonów; tarcie między jonami; generacja elektroujemności; synteza bloków i pierścieni molekuł; synteza RNA/DNA

1. Wstęp

Pęcherzyki gazów w wodzie morskiej tworzą się podczas załamywania grzbietów fal w miejscach ich największej stromości (Blanchard i Woodcock 1957, Monahan i inni 1983, Wu 1986). Licznie powstają też podczas opadów deszczu, które penetrują powierzchniową warstwę wody do głębokości kilkunastu centymetrów (Blanchard i Woodcock 1957, Marks 1990). Natychmiast po powstaniu pęcherzyki przemieszczają się ku powierzchni wody z prędkością zależną od ich rozmiarów (Wolff 1997), lepkości wody i rotacji, jaką spontanicznie generują podczas ruchu wypornościowego (Marks 2014). Po dotarciu do powierzchni morza pęcherzyki pękają, emitując krople aerozoli lub tworząc połacie i pasma piany morskiej (Blanchard i Woodcock 1957, Monahan i inni 1983).

Pomiary wykonane na morzu wykazały, że pęcherzyki mogą przemieszczać się nawet do głębokości 4razy większych od wysokości fal wiatrowych występujących na powierzchni morza. Jednak podczas cyrkulacji w głębszej typy Langmuira są one powoli transportowane wraz z masami wody do głębokości nawet 6-krotnie większych od wysokości fal na powierzchni (Thorpe 2001).

Badania laboratoryjne wykazały, że na półkuli północnej pęcherzyki wznoszące się w kolumnie wody mogą generować ruch wirowy w kierunku zgodnym ze wskazówkami zegara, na górnej półsfery pęcherzyka i przeciwnie skierowany ruch na dolnej półsfery oraz w wirze pod pęcherzykiem (Marks 2014). Następnie jeden lub dwa systemy ruchu spiralnego, tj. ruch kationowy lub ruch kationowo/anionowy, ulegają zawężeniu w wirze pod pęcherzykiem (efekt piruetu), co powoduje znaczny wzrost liczby obrotów (Marks 2015).

Ponadto uzupełniające badania ukierunkowane na wyjaśnienie specyfiki rotacyjnych cech cząsteczek wody wykazały, że również same molekuly wody posiadają cechy perfekcyjnego rotora. Eksperymenty przeprowadzone podczas swobodnego parowania wody pokazały, że molekuly parującej wody przenoszą znaczną energię ruchu rotacyjnego, która odzwierciedla „utajone ciepło parowania” oraz z nim powiązane „utajone ciepło kondensacji” (Marks 2019).

W niniejszym opracowaniu przedstawiono koncepcję pęcherzykowego (rotacyjno-spiralnego) mechanizmu generacji związków elektroujemnych rozpuszczonych w wodzie morskiej. Koncepcja ta pozwala wyjaśnić elektryczno-rotacyjny sposób kondensacji ujemnie naładowanych pierwiastków wokół kationowych lub anionowo/kationowych centrów rotacji i elektrycznego ich splatania wzdłuż pojedynczego lub dwu-spiralnego i ciągłego ruchu zgrupowanych jonów. Postulowana koncepcja pozwala wyjaśnić spójny, rotacyjno-elektryczny mechanizm precyzyjnej polimeryzacji RNA i DNA, odbywającej się za pośrednictwem pęcherzyków w wodzie morskiej, a tym samym przybliżyła nas do zrozumienia początków powstawania życia w oceanach na Ziemi.

2. Metodyka badań

Rotacyjne i elektryczne cechy ruchu pęcherzyków badano w próbach sztucznej lub naturalnej wody morskiej o zasoleniu 8 g/kg (zasolenie Zatoki Pomorskiej) lub 35 g/kg (zasolenie oceanów). Pęcherzyki produkowano za pomocą szklanej kapilary lub poprzez dodawanie kryształków soli morskiej albo fragmentu soli musującej *Sal Ems factitium* (SEf). Kilka eksperymentów wykonano generując pęcherzyki poprzez termiczne przesycanie wody gazami lub bezpośrednio umieszczanie małej objętości wody przesyconej CO₂ w badanej próbce wody morskiej. Wszystkie eksperymenty przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych na półkuli północnej, między 53° – 54° N.

Ponadto opracowano eksperymentalny system obserwacji zachowania rotacyjnego swobodnych cząsteczek pary wodnej (Marks, 2019) oraz ruchu obrotowego kropel wirowych (Marks i inni 2019). Obserwacje prowadzono za pomocą lekkich dysków wskaźnikowych rotacji, które przechwytywały parę wodną lub krople produkowane przez pękające pęcherzyki. Zastosowana metoda pozwoliła obserwować dominujący kierunek ruchu obrotowego, przenoszony przez parujące cząsteczki wody lub kropelki wirowe emitowane podczas pęknięcia pęcherzyków. W obu przypadkach zaobserwowano ruch w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara.

Dodatkowo, eksperymenty z zastosowaniem płytek z ładunkami elektrostatycznymi pozwoliły na ustalenie, że wiry pod pęcherzykami i emitowane kropelki wirowe przenoszą netto dominujący dodatni ładunek elektryczny, podczas gdy zewnętrzne błony pęcherzyków oraz małe krople z nich powstające gromadzą netto ujemny ładunek elektryczny (Marks i inni 2019).

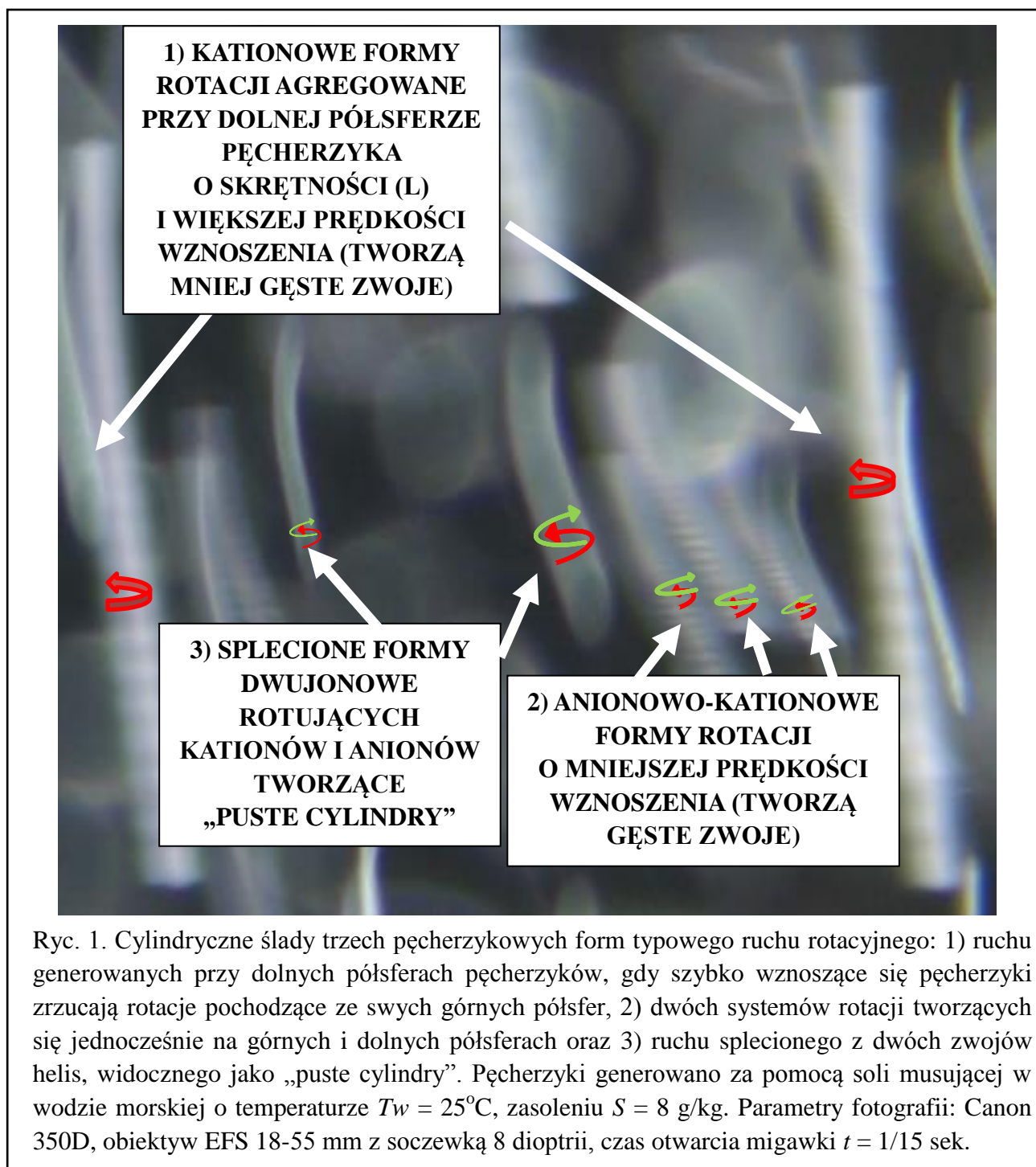
3. Wyniki i dyskusja

3.1. Pęcherzykowe formy ruchu rotacyjnego

Fotografie pęcherzyków w ruchu wypornościowym w wodzie pozwoliły ustalić, że pęcherzyki mogą generować jeden lub dwa systemy rotacji (Marks 2014). Przykłady takich spiralnych form ruchu utworzonych w naturalnej wodzie morskiej o zasoleniu 8 g/kg przy temperaturze 25°C przedstawia Ryc. 1. Analiza śladów pozostawionych przez pęcherzyki w czasie 1/15 sek. pozwoliła wyodrębnić: 1) pojedyncze zwoje generowane pod dolną półsferą pęcherzyka; 2) dwuspiralne systemy zwojów tworzące się jednocześnie na obu półsferach pęcherzyka, jednak widoczne są tylko rotacje tworzące się na górnych półsferach oraz 3) podwójne, przeciwbieżne zwoje w formie helis, tworzące „puste cylindry” o zawężonej średnicy ruchu wypornościowego i większej prędkości wznoszenia.

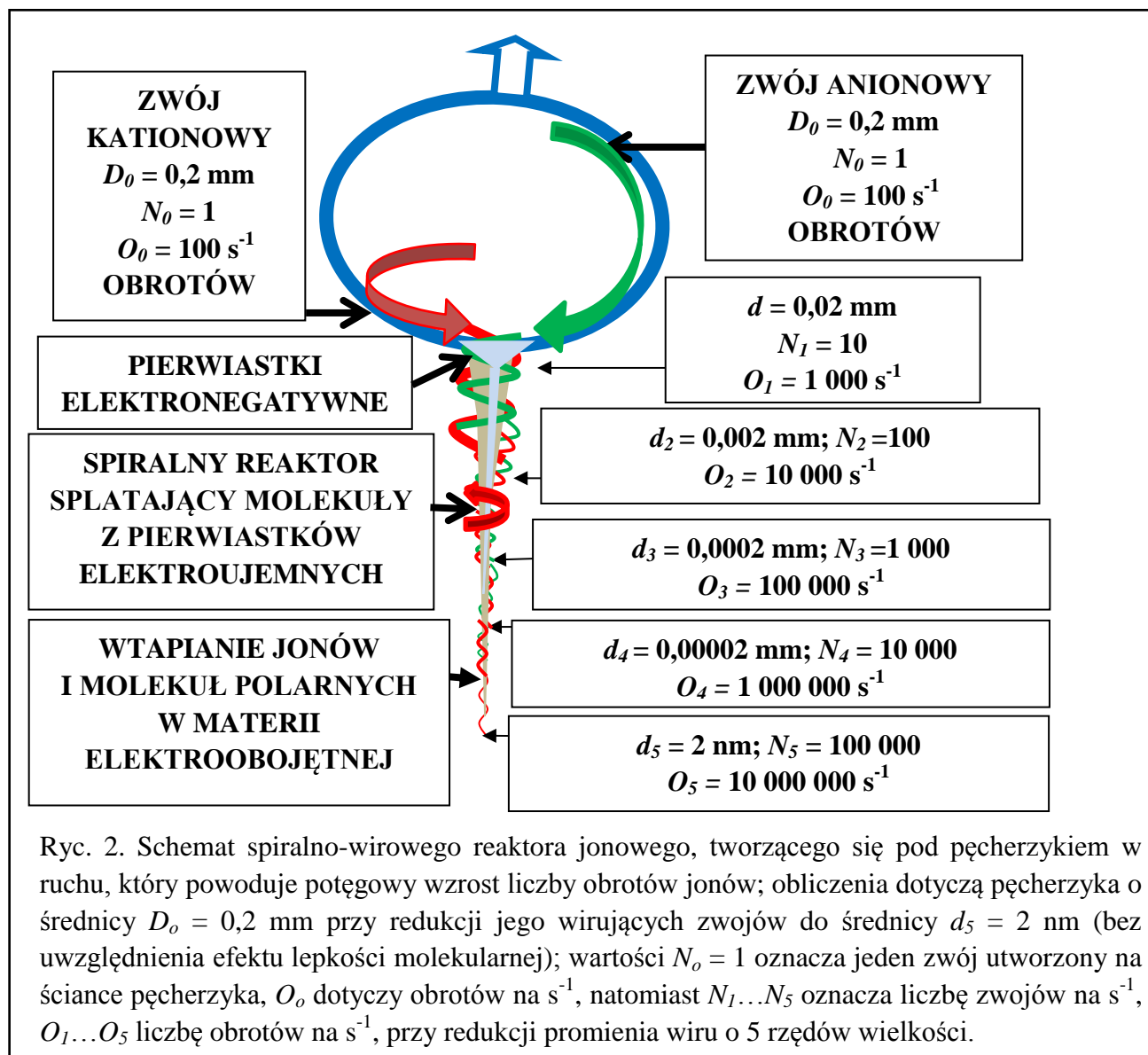
Eksperymenty pokazały, że rozdzielanie i grupowanie jonów na ściankach pęcherzyków w ruchu wynika z przyspieszania hydratów kationów i anionów, których masy atomowe są różne. Dlatego w trakcie przyspieszania, np. aniony chloru o masie 35,45 u gromadzone są przy górnych półsferach, podczas gdy lżejsze kationy, np. sodu o masie 22,99 u są wciągane pod pęcherzyki, gdzie podczas przyspieszania formują silny zbieżny ruch wirowy. W wyniku dochodzi do powstania silnej rotacji i polaryzacji elektrycznej generowanej i utrzymywanej w sposób ciągły.

Schemat procesu przyspieszania jonów oraz wyjaśnienie gęstościowego rozdzielania jonów przez pęcherzyki w ruchu przedstawia (Ryc. 2). Na ściankach pęcherzyka w ruchu odbywa się ciągła gęstościowa selekcja i gromadzenie cięższych anionów na górnych półsferach oraz wciąganie lżejszych kationów pod dolne półsfery pęcherzyków. Jednocześnie grupowane jony są przyspieszane na ściankach pęcherzyków, co skutkuje ich rotacją i spiralnym ruchem formującym ciągłe zwoje. Obok rozdzielania i przyspieszania jonów następuje też gromadzenie cząsteczek materii hydrofobowych napotykanych przez pęcherzyki w kolumnie wody (Novakov i Penner 1993). Przypuszczać można, że proces ten wynika z bezpośredniego wpadania takich cząstek przez górną półsferę pęcherzyka, co powoduje ich wpadanie do środka i gromadzenie na dole wklęsłej półsferze (Bigg i Leck 2008). Jednocześnie składniki te mogą przenikać do wiru i podlegać mechanicznemu rozdrobnieniu, tworząc rdzeń elektroobojętej materii hydrofobowej (Ryc. 2). Taki rdzeń utworzony z materii elektroobojętej może pełnić funkcję izolatora oddzielającego ładunki elektryczne jonów i molekuł, które mogą być splatane bez rekombinacji ładunków. W ten sposób tworzone molekuly i makrocząsteczki mogą zachować elektrycznie spolaryzowane struktury do dalszych interakcji.



Fotografie i eksperymenty wykonane za pomocą dysków wskaźnikowych rotacji potwierdziły, że pęcherzyki mogą generować dwa systemy ruchu wirowo-spiralnego: wiodący lewoskrętny (L), który gromadzi hydraty kationów i prawoskrętny system (P), który kompensacyjnie gromadzi hydraty anionów i jest utrzymywany przez silniejszy wir kationowy. Sfotografowane przykłady

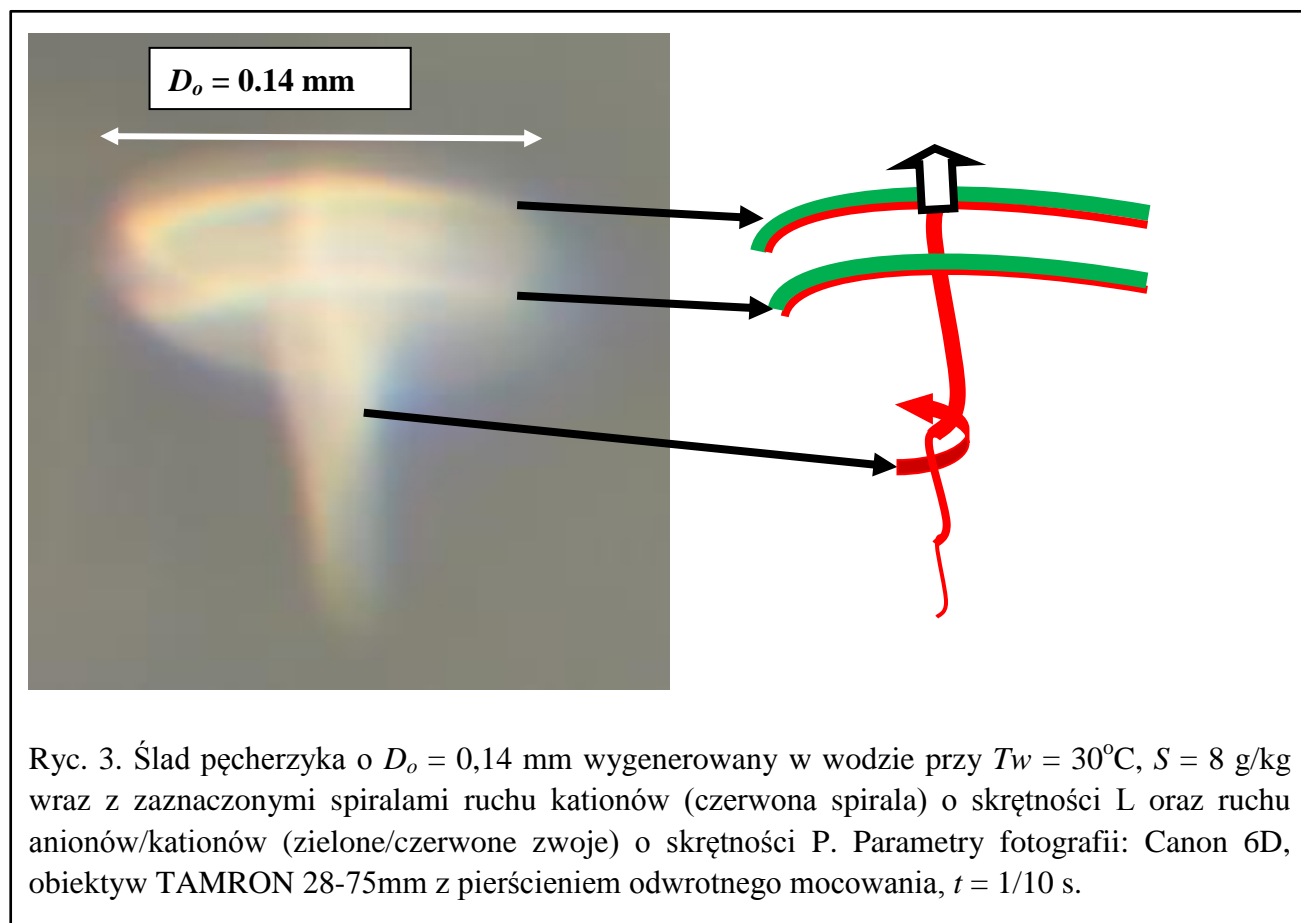
pojedynczego i dwóch, oddzielnych systemów pęcherzykowych rotacji L i P oraz splecionego systemu L/P, tworzącego podwójną helisę przedstawia (Ryc. 1).



Ponadto przypuszczać można, że polaryzacja elektryczna zwojów jonów agregowanych na ściankach pęcherzyków powinna też wywoływać wzajemne przyciąganie elektryczne. Obserwacje wykazały jednak, że kationowy ruch zbieżny do osi wiru pod pęcherzykiem dominuje tak pod względem masy, jak i ładunku elektrycznego, w porównaniu do zwojów anionowych. Przykład wirującego reaktora utworzonego pod pęcherzykiem w ruchu przedstawia Ryc. 3. Uchwycona sekwencja ruchu pęcherzyka pokazuje dwa zwoje anionowo/kationowe (schematycznie zaznaczone po prawej stronie kolorem zielonym i czerwonym), które agregowane są przy górnej półsfery pęcherzyka i wydłużony osiowy ruch zgrupowanych kationów (zaznaczony pionową spiralą i kolorem czerwonym).

Sfotografowany ślad obrazuje również zawężanie ruchu wiru kationowego pod pęcherzykowym. Taki rotacyjny system ruchu trwa do momentu, gdy cała energia wiru zostanie przekształcona w ciepło lub wykorzystana na splatanie RNA lub DNA, co odbywa się na poziomie molekularnym.

Jednak przypuszczać można, że ostateczne rozproszenie energii ruchu wirowego dotyczy wirów kationowych, co zaznaczono poprzez nieco dłuższe czerwone spirale na Ryc. 2 i 3.

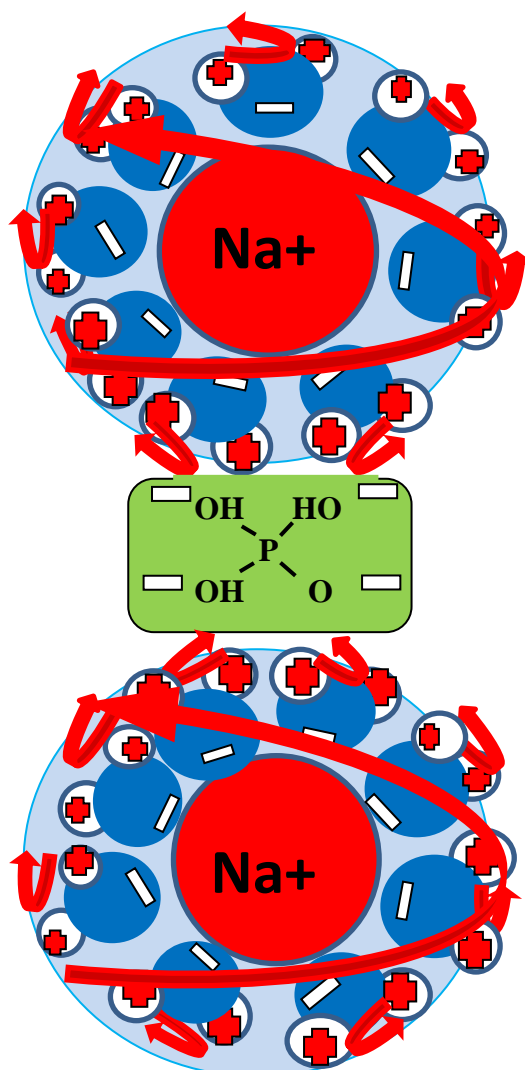


Ryc. 3. Ślad pęcherzyka o $D_o = 0,14 \text{ mm}$ wygenerowany w wodzie przy $T_w = 30^\circ\text{C}$, $S = 8 \text{ g/kg}$ wraz z zaznaczonymi spiralami ruchu kationów (czerwona spirala) o skrętności L oraz ruchu anionów/kationów (zielone/czerwone zwoje) o skrętności P. Parametry fotografii: Canon 6D, obiektyw TAMRON 28-75mm z pierścieniem odwrotnego mocowania, $t = 1/10 \text{ s}$.

3.2 Generacja elektroujemności i synteza molekuł polarnych

Przypuszczać można, że hydraty kationów wirujące w wodzie z częstotliwością miliona obrotów na sekundę wywołają ekstremalne tarcie pomiędzy jonami, co powinno skutkować mechanicznym wyrwaniem elektronów z kowalencyjnych powłok atomów elektrododatnich. Następnie wyrwane elektrony mogą być przechwycone przez obecne w wodzie morskiej pierwiastki elektroujemne, jak: H, N, C, O i P. Pierwiastki te mają stosunkowo małą masę atomową, dzięki czemu mogą też być skutecznie wciągane do wirów ciągniętych pod pęcherzykami (Ryc. 2).

Silnie spolaryzowane atomy jednocześnie uaktywniają neutralizację ładunku przez przyciąganie atomów i molekuł obdarzonych przeciwnym ładunkiem elektrycznym (Draper 2018). Sposób takiej neutralizacji ładunku pomiędzy hydratami kationów, które eksponują dodatnio naładowane ramiona par atomów wodoru na zewnątrz przedstawia Ryc. 4. W ten sposób ramiona atomów wodoru, które utrzymywane są przez dominującą swą masą atomy tlenu (Marks 2019), mogą kondensować atomy O, H i P, tworząc ujemnie naładowane bloki (H_3PO_4). Bloki takie formują szkielety fosforanowocukrowe w polimerach RNA i DNA. Jednak najważniejszą ich cechą jest to, że zawierają tylko pierwiastki elektroujemne wraz z ładunkami zgromadzonych elektronów.

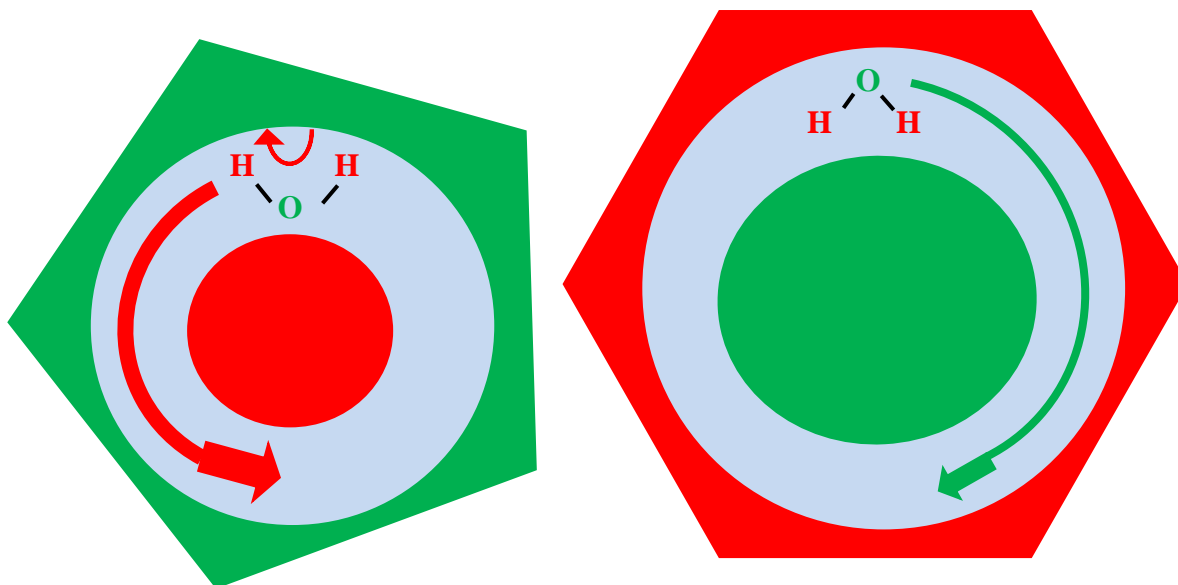


Ryc. 4. Uproszczona rotacyjno-elektryczna konfiguracja dwóch hydratów sodu (Na^+) pozycjonujących elektroujemne atomy wodoru, tlenu i fosforu w blok fosforanowy (H_3PO_4).

Ciągłość procesu elektryzowania pierwiastków elektrododatnich i elektroujemnych w wirach pod pęcherzykami pozwala wyjaśnić proces selektywnej kondensacji pierwiastków elektroujemnych w bloki, a także mechanizm ich zwijania w bloki pierścieniowe. Przypuszczać można, że selektywne gromadzenie atomów elektroujemnych i formowanie z nich cukrów oraz molekuł pierścieniowych przebiega zarówno pomiędzy, jak i wokół rotujących hydratów kationów. Natomiast przeciwbieżne, kompensacyjne rotacje generowane wokół hydratów anionów mogą splatać i domykać większe pierścienie molekuł heksagonalnych. Uproszczoną koncepcję takich wirowo-elektrycznych procesów kondensacji i domykania obu typów molekuł pierścieniowych przedstawiono na Ryc. 5. Istotne jest jednak to, że wiodącą rolę powinny odgrywać ogniwa kationowe, które skupiają znacząco większą energię rotacji. W ten sposób słabsza (kompensacyjna) rotacja odbywająca się wokół anionów może formować większe pierścienie heksagonalne, gromadzące słabszy ładunek dodatni (Ryc. 5).

**PENTAGONALNA STRUKTURA
GROMADZĄCA ŁADUNEK
UJEMNY (ROZBUDOWYWANA
PRZEZ MNIEJSZY I SZYBKO
ROTUJĄCY HYDRAT KATIONU)**

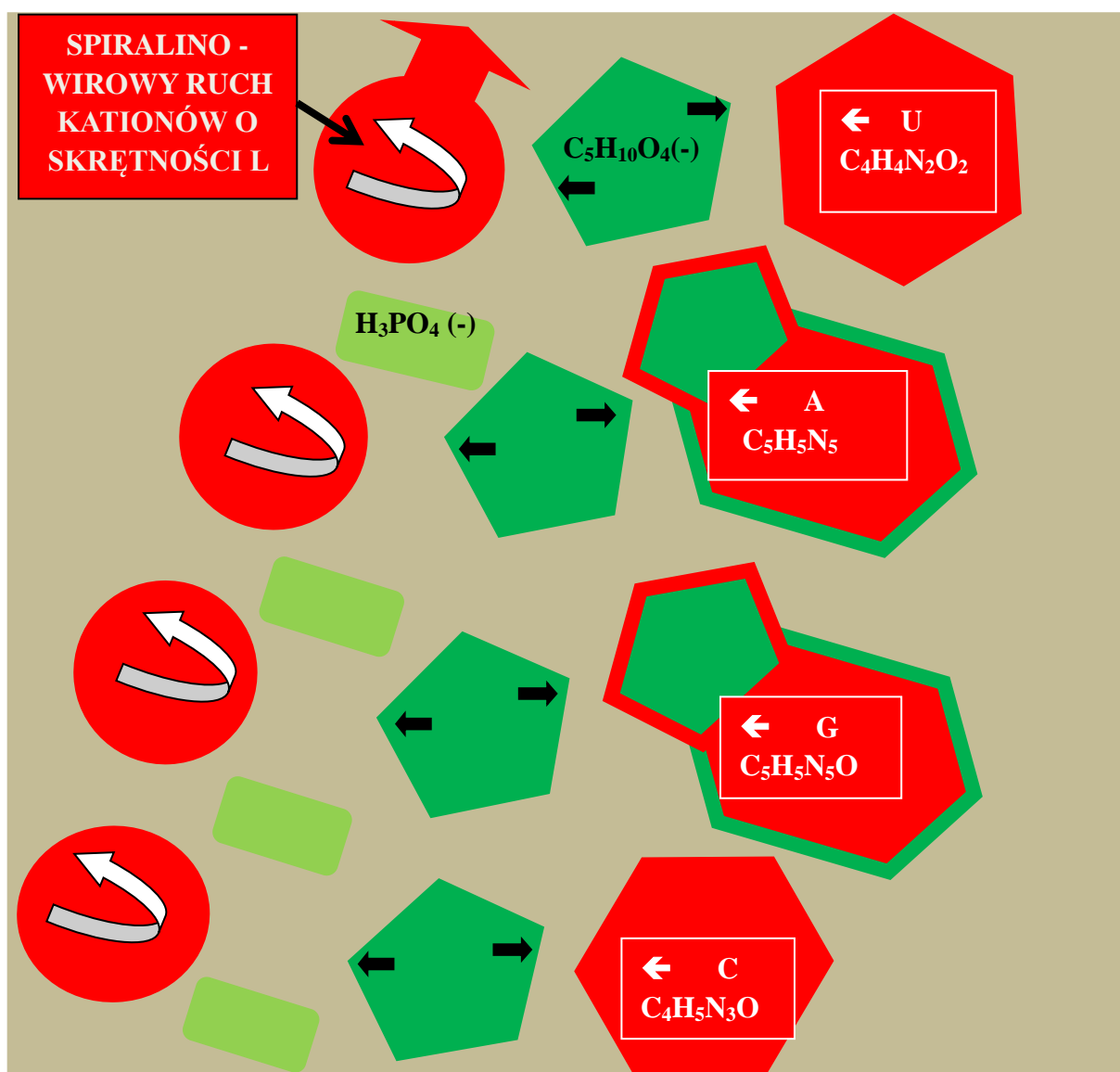
**HEKSAGONALNA STRUKTURA
SKUPIAJĄCA ŁADUNEK
DODATNI (ROZBUDOWYWANA
PRZEZ WIĘKSZY I WOLNIEJ
ROTUJĄCY HYDRAT ANIONU)**



Ryc. 5. Ilustracja przeciwbieżnej rotacji i rozkładu ładunków wokół kationowego centrum rotacji (czerwony okrąg) pozycjonującego ramiona wodorowe otaczających molekuł wody (niebieski pierścień) przedstawiona jako mechanizm formowania pentagonalnych struktur pierścieni cukrów i zasad azotowych A, G, gromadzących na zewnątrz ładunek ujemny oraz anionu (zielony okrąg) formującego heksagonalne pierścienie zasad A, G, C oraz T, U wraz z ładunkiem dodatnim.

3.4. Koncepcja pęcherzykowego splatania jednoniciowych polimerów RNA

Jeśli tylko pojedynczy ruch kationowy jest generowany i utrzymywany przez pęcherzyk w ruchu, to w wirze pod pęcherzykiem może być splatany jednoniciowy ruch i polimer o architekturze RNA. Sekwencje takiego wirowo-elektrycznego splatania mogą wynikać z: 1) szybkiego przyspieszania i agregacji hydratów kationów tworzących ruch spiralny; 2) silnej rotacji i tworzenia elektroujemności w wirze pod pęcherzykiem; 3) selektywnej kondensacji pierwiastków elektroujemnych wokół wirujących hydratów kationów w formie bloków fosforanów oraz pierścieni molekuł pentagonalnych; 4) generowania przeciwbieżnego ruchu wirowego hydratów anionowych, splatających bloki molekuł heksagonalnych; 5) pozycjonowania spolaryzowanych molekuł w wirze pod pęcherzykiem, wzdłuż przepływu kationowego; 6) wciągania materii elektroobojętniej do wiru; 7) ciągłości laminowania splatanych molekuł w materii elektroobojętniej oraz 8) ciągłej obróbki termicznej molekuł poprzez ogrzewanie i schłodzenie do temperatury wody (Ryc. 6).

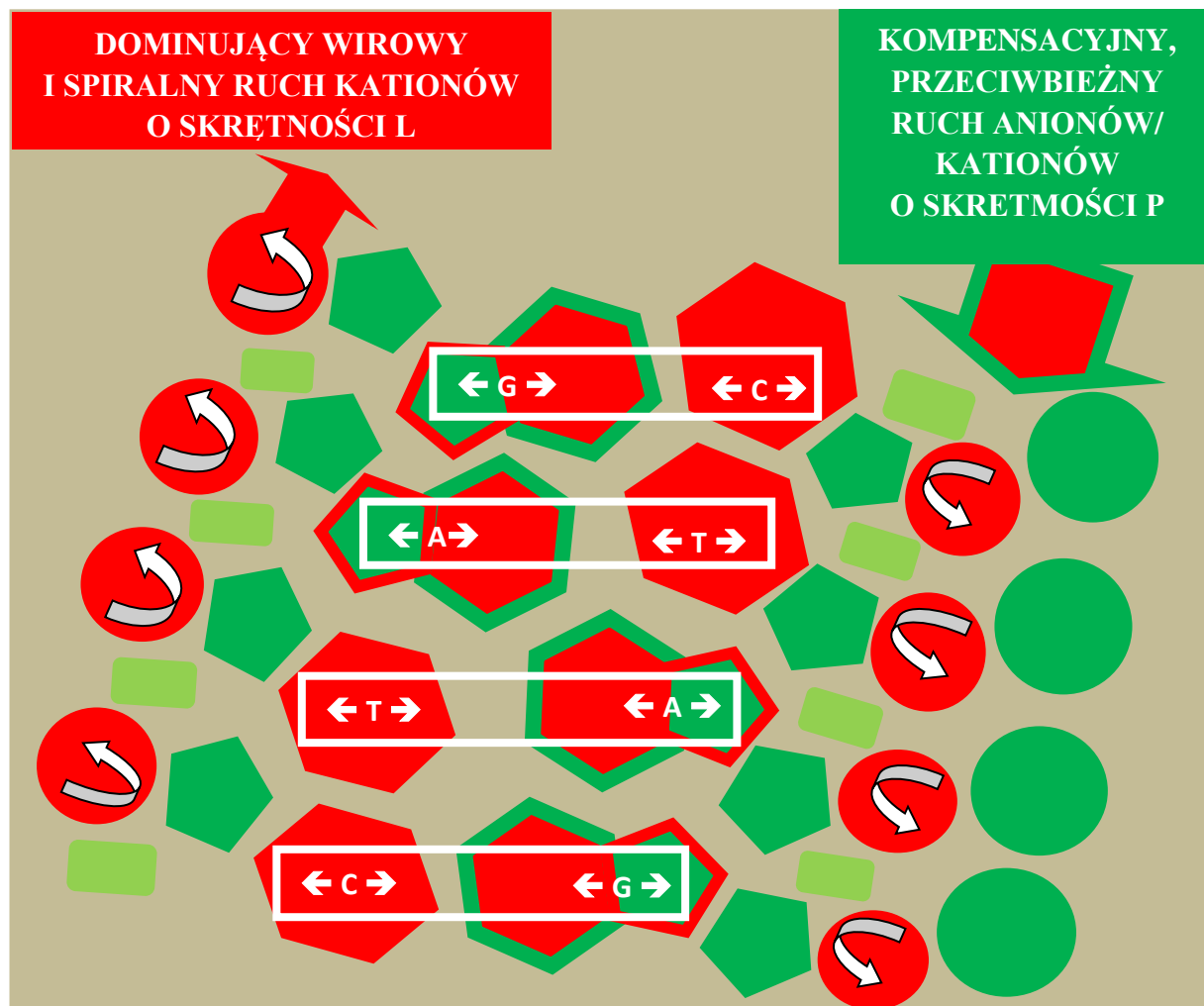


Ryc. 6. Tworzenie polimeru RNA wzdłuż spiralnie wirującego ruchu kationów (czerwone kule) pozycjonującego bloki ujemnie naładowanych fosforanów (prostokąty), pięciokątnych cukrów i zasad azotowych (zielone pięciokąty) oraz dodatnio naładowanych bloków heksagonalnych (czerwone sześciokąty) wraz z laminowaniem w materii elektroobojętniej (kolor szary).

3.4 Koncepcja pęcherzykowej polimeryzacji dwuniciowego DNA

Jeśli pęcherzyk jednocześnie generuje i utrzymuje dwa systemy rotacji jonów, to taki dwuspiralny ruch w zawężony w wirze pod pęcherzykiem może splecać makromolekuły o architekturze DNA. Proces splecania, tak jak w przypadku RNA, powinien rozpocząć się od polaryzacji pierwiastków elektrododatnich i elektroujemnych. Następnie pierwiastki elektroujemne mogą uczestniczyć w kondensacji wokół wirujących kationów i anionów/kationów. W wyniku dochodzi do selekcji, kondensacji i splecania molekuł zawierających pierwiastki elektroujemne. Jeżeli proces generowania związków elektroujemnych przebiega w sposób ciągły, to również tworzenie molekuł polarnych jest ciągłe i skutkuje splecaniem bloków i pierścieni molekuł zarówno przez przepływ kationowy, jak i

anionowo/kationowy (Ryc. 7). Jednak w obu przypadkach spiralny i rotacyjny przepływ kationów odgrywa wiodącą rolę, ponieważ ruch anionów jest wymuszany, tj. może zaistnieć w przypadku gdy integruje on nośniki rotacji, którymi są hydraty kationów.



Ryc. 7. Ilustracja procesu tworzenie polimeru DNA przez spiralne splatanie kationów (czerwone kule o skrętności L) kompensowane przez przeciwbieżny ruch anionów/kationów (zielone/czerwone kule o skrętności P); oba przepływy pozycjonują bloki fosforanów (prostokąty) oraz pentagonalne molekuly cukrów i pierścienie molekul z ładunkiem ujemnym (zielone pięciokąty) oraz sześciokątne bloki zasad azotowych (kolor czerwony), połączone z elektrostatycznym pozycjonowaniem zasad azotowych C:G i A:T oraz laminowaniem w materii elektroodbojnej (kolor szary).

Przedstawiona koncepcja sugeruje, że spiralne ruchy jonów powinny przebiegać w przewodnicach (rowkach), tj. mniejszym odpowiedzialnym za pojedynczy przepływ kationów i około dwukrotnie większym, który powinien prowadzić ruch anionów i kationów. Taki ciągły, przeciwbieżny ruch jonów nieprzerwanie formuje bloki cukrowo-fosforanowe i zasady azotowe oraz łączy je w pary C:G i A:T. Proces parowania zasad azotowych może być elektrostatyczny i wynikać z zasady tzw. elektroneutralność, która jest podstawową zasadą jonową obowiązująca w wodzie morskiej i we wszystkich roztworach jonowych (Draper 2008).

Sądzić można, że podobny system spiralnych projekcji (replikacji) przepływów kationowych lub anionowo/kationowych może być aktywowany przez polimery RNA lub DNA, przy odpowiednim

stężeniu roztworów jonów i dostępności źródeł energii. Wtedy też mogą być generowane przepływy dwu-jonowe powodujące splatanie bloków i molekuł elektroujemnych, które jednocześnie mogą być pozycjonowane wzdłuż przeciwnie skierowanych i elektrycznie polarnych ruchów dwujonowych (Ryc. 6 i 7). Jednak do zachowania polarności elektrycznej takich polimerów niezbędne jest też zachowanie ciągłości laminowania splatanych sekwencji polimerów w materii elektroobojętej, co może wystąpić tylko przy jej obecności.

4. Wstępna dyskusja

Tarcie generowane pomiędzy szybko wirującymi hydratami jonów w wodzie morskiej powoduje polaryzację pierwiastków elektrododatnich, jak: sód, magnez, wapń, potas, które są donorami elektronów oraz równoczesną polaryzację pierwiastków elektroujemnych, jak: wodór, tlen, węgiel, azot i fosfor będącymi akceptorami elektronów. Ponadto obie grupy pierwiastków wykazują małą masę atomową, co zapewnia im większą mobilność i dostępność w wirach pod pęcherzykami. W konsekwencji umożliwia im też skuteczną kondensację wokół kationowych i anionowych ośrodków rotacji. Jeśli spiralno-wirowe splatanie elektrycznie polarnych bloków cząsteczek odbywa się w obecności materiałów elektroobojętnych, to mogą powstać stabilne polimery RNA lub DNA. Wtedy tak utworzone polimery mogą zachować ładunki elektronów włączone do molekuł elektroujemnych, a w ten sposób zachować zgromadzony potencjał elektryczny.

Udokumentowano, że całkowity ładunek elektryczny materii wciąganej do wirów generowanych pod pęcherzykami w wodzie morskiej jest dodatni (Marks 2014, Marks i inni 2019). Dlatego gdy pęcherzyk pęka na powierzchni morza, to emitowane są duże krople wirowo-kationowe (Marks i inni 2019). Krople takie po zawieszeniu w dodatnim ładunku elektrycznym występującym w troposferze (Kubicki i inni 2016) mogą tworzyć ujemnie naładowane membrany zewnętrzne takie, jak występują w bakteriach (Lipfert i inni 2014) i kapsydach koronawirusów (Pawłowski 2021). Podobny rozkład ładunku elektrycznego stwierdzono w wirusach SARS-CoV-2, które wykazują netto dodatni ładunek elektryczny, tak jak ładunek kropeł wirowych emitowanych przez pękające pęcherzyki. Z tego powodu netto ujemne kapsydy w SARS-CoV-2 (Pawłowski 2021) mogą być później „przewiercane” przez nici kationów, które w ten sposób tworzą tzw. kolce, wykazujące dominującą nierównowagę ładunku dodatniego w swoich obszarach centralnych. Taka konfiguracja SARS-CoV-2 wskazuje, że kationy zgromadzone w centralnych obszarach i kolcach koronawirusów mogą być odpowiedzialne zarówno za adhezję (Pawłowski 2021), jak i rotacyjną transmisję swoich kationowych struktur do napotkanych organizmów. W szczególności kationowe regiony kolców mogą powodować adhezję do ujemnie naładowanych zewnętrznych membran biologicznych (Mainelis 2001), a w konsekwencji przeprowadzić skuteczną (tj. rotacyjno-elektryczną) transmisję do komórek biologicznych.

Duże pęcherzyki w wodzie morskiej zwykle generują i utrzymują wirowy ruch kationowy o skrętności L, który jest zgodny z typową skrętnością występującą w RNA. Mniejsze pęcherzyki zwykle generują i utrzymują dwuspiralne ruchy anionowo/kationowe o skrętnościach L/P, które mają architekturę podwójnej helisy, typowej dla DNA (Lipfert 2014). Takie L i L/P skrętne struktury ruchu są zgodne z ogólnymi symetrami występującymi w kwasach nukleinowych (Heinemann i Rose 2020). Co więcej, wskazują one też, że ogólny ruch jonów odbywający się w skali molekularnej powinien być wymuszany przez hydraty kationów. Sugeruje to, że również transport materii, w tym też transport odbywający się w komórkach biologicznych, jest organizowany przez hydraty kationów, które dysponują wieloma rotorami ramion wodorowych, co zapewnia im znacznie lepszą sprawność

ruchu rotacyjnego w porównaniu do anionów.

Wyniki badań sugerują, że pęcherzyki mogą tworzyć stabilne cząstki wirusowe RNA i DNA oraz rozpraszać je w wodzie morskiej i w ten sposób infekować organizmy występujące w wodzie. Na przykład (Gregory i inni 2019) odkryli, że tylko jednego dnia wirusy mogą zabijać nawet 20% biomasy drobnoustrojów występujących w oceanach. Biorąc to pod uwagę, stwierdzono również, że wirusy odgrywają główną rolę w ogólnym obiegu geochemicznym pierwiastków w ekosystemach oceanicznych (Suttle 2007).

Prezentowane badania potwierdzają też hipotezę, że prawdopodobnie, jako pierwsze w ciepłym pierwotnym oceanie na Ziemi uformowały się elektrycznie aktywne, informacyjne cząsteczki RNA, które mogły też odegrać rolę organizującą polimeryzację DNA (Farias i inni 2017). Potwierdzają to badania ruchu pęcherzyków w wodzie morskiej, przeprowadzone w zakresie temperatur 20-40°C, które wykazały, że ze wzrostem temperatury wody liczniej tworzą się w niej pojedyncze ruchy wirowe. Wynik ten potwierdza „hipotezę świata RNA” (Santos Junior i inni 2021), która sugeruje, że jako pierwsze w ciepłych oceanach na Ziemi pojawiły się informacyjne makromolekuły RNA, a ich system elektrycznego zapisu informacji genetycznej mógł kształtować przebieg dalszej ewolucji w kierunku DNA i formować ogólne funkcjonowanie organizmów komórkowych (Mönttinen 2014).

5. Wnioski

Badania cech ruchu wirowego generowanego przez pęcherzyki w wodzie morskiej pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków.

1. Pęcherzyki wznoszące się w wodzie morskiej przyspieszają i agregują hydraty jonów, generując pojedynczy kationowy lub dwujonowy, tj. kationowy i anionowy ruch spiralno-wirowy.
2. Kationy, jako obiekty sferyczne otoczone cząsteczkami wody, są bardziej podatne na generację ruchu rotacyjnego, dzięki czemu dysponują znacznie większym zasobem energii i pędu.
3. Ruch hydratów jonowych w skali molekularnej jest indukowany i przenoszony przez silnie rotujące hydraty kationów.
4. Tarcie między jonami w wirach pod pęcherzykami polaryzuje pierwiastki elektroujemne, które następnie podlegają selektywnej kondensacji wokół wirujących hydratów kationów, tworząc elektroujemne bloki fosforanów, cukrów, a także pentagonalne pierścienie zasad azotowych.
5. Kompensacyjne ruchy wirowe generowane wokół hydratów anionów mogą tworzyć heksagonalne bloki zasad azotowych.
6. Pęcherzyki gazów w wodzie morskiej generują system procesów rotacyjnych i elektrycznych, które mogły przeprowadzić polimeryzację RNA i DNA i ukształtować system kodowania życia.

Literatura

- Bigg EK, Leck C (2008) The composition of fragments of bubbles bursting at the ocean surface. *J Geophys Res*, 113, D11209. <https://doi.org/10.1029/2007JD009078>
- Blanchard DC (1963) Electrification of the atmosphere by particles from bubbles in the sea. *Progr in Oceanogr* 1, 73-197. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(63\)90004-1](https://doi.org/10.1016/0079-6611(63)90004-1)
- 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>
- Draper DE (2008) RNA folding thermodynamic and molecular descriptions of the role of ions. *Biophys J*, 95:5489-95. <https://doi.org/10.1529/biophysj.108.131813>
- de Farias ST, dos Santos Junior AP, Rêgo TG, José MV (2017) Origin and Evolution of RNA-Dependent RNA Polymerase. *Front. Genet.* 8:125. doi: 10.3389/fgene.2017.00125.
- Gregory AC, Zayed AA, Conceicao-Neto N, et al. (2019) Marine DNA Viral Macro- and Microdiversity from Pole to Pole. *Cell*, 177, 1109-1123. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.03.040>
- Heinemann U, Rose Y (2020) Symmetry in Nucleic-Acid Double Helices, *Symmetry*, 12, 737; <https://doi.org/10.3390/sym12050737>. <https://doi.org/10.3390/sym12050737>
- Kubicki M, Odzimek A, Neska M (2016) Relationship of ground-level aerosol concentration and atmospheric electric field at three observation sites in Arctic, Antarctic and Europe, *Atm Res*, 178-179, 329-346. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.03.029>
- 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>
- Mainelis G, Willeke K, Baron P, et al. (2001) Electric charges on airborne microorganisms, *J Aerosol Sci*, 32, 1087-1110. [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(01)00039-8)
- Marks R (1990) Preliminary Investigations on the Influence of Rain on the Production, Concentration, and Vertical Distribution of Sea Salt Aerosol, *J Geophys. Res*, Vol. 95, NO. C12, 22,299-22,304. <https://doi.org/10.1029/JC095iC12p22299>
- Marks R (2014) Bubble Rotational Features - Preliminary Investigations, *Oceanography: Open Access*, 2: 128, <http://doi.org/10.4172/2332-2632.1000128>.
- Marks R (2015) Sub-bubble Bi-pirouette Splicing of Cationic and Anionic Bases as a Process of RNA/DNA Creation. *Oceanography: Open Access*, 2: 128, <http://doi.org/10.4172/2332-2632.1000135>.
- Marks R (2019) Water Vapor Induced Airborne Rotational Features. *Meteorology Hydrology and Water Management*, 7, 2, 29-47, <https://doi.org/10.26491/mhwm/104634>.
- Marks R, Górecka E, McCartney K, et al. (2019) Rising bubbles as mechanism for scavenging and aerosolization of diatoms. *J Aero Sci*, Vol. 128, 79-88, <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2018.12.003>.
- Monahan EC, Fairall CW, Davidson KL et al. (1983) Observed inter-relations between 10 m winds, ocean whitecaps and marine aerosols. *Quart J Royal Meteor Soc*, 109, 379-392. <https://doi.org/10.1002/qj.49710946010>
- Mönttinen HAM, Ravantti JJ, Stuart DI, Poranen MM (2014) Automated Structural Comparisons Clarify the Phylogeny of the Right-Hand-Shaped Polymerases. *Mol. Biol. Evol.* 31, 2741-2752. doi: 10.1093/molbev/msu219.
- Novakov T, Penner J (1993) Large contribution of organic aerosols to cloud-condensation-nuclei concentrations. *Nature*, 365, 823-826. <https://doi.org/10.1038/365823a0>
- Pawłowski PH (2021) Charged amino acids may promote coronavirus SARS-CoV-2 fusion with the host cell. *AIMS Biophys*, 8(1), 11-120, <https://doi.org/10.3934/biophys.2021008>.
- Suttle CA (2007) Marine viruses-major players in the global ecosystem. *N Rev Microb*, 5, 801-812. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1750>
- Thorpe SA (2001) Breaking waves and near-surface turbulence, In: Steele JH, Thorpe SA, Turekian KK, *Encyclopedia of Ocean Sciences*, San Diego, Academic Press, 349-351.

-
- Terray EA, Donelan MA, Agarwal YC, et al. (1996) Estimates of kinetic energy dissipated under breaking waves. *J Phys Oceanogr*, 26, 792-807.
[https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1996\)026<0792:EOKEDU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1996)026<0792:EOKEDU>2.0.CO;2)
- Woolf DK (1997) Bubbles and their role in gas exchange, In: Liss PS, Duce RA, *The Sea Surface and Global Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 173-205.
- dos Santos Junior AP, José MV, de Farias ST (2021) From RNA to DNA: Insights about the transition of informational molecule in the biological systems based on the structural proximity between the polymerases. *BioSystems* 206, 104442,
<https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2021.104442>.