

KOMUNIKATY, REFERATY

Czy można chodzić po wodzie?

Oddział Polskiej Akademii Nauk w Lublinie wraz z Lubelskim Towarzystwem Naukowym podjął inicjatywę zorganizowania Wszechnicy – cyklu wykładów otwartych dla mieszkańców Lublina. W ramach programu został wygłoszony wykład o intrygującym tytule *Czy można chodzić po wodzie?*, który odbył się 24 czerwca 2010 r. w Pałacu Czartoryskich w Lublinie. Podczas wykładu starałem się pogodzić dwa pozornie sprzeczne zadania: atrakcyjność i prostotę z wymogiem ścisłości naukowej. Wykład rozpocząłem od oczywistego stwierdzenia, że jeżeli gęstość ciała człowieka byłaby mniejsza niż gęstość wody to chodzenie po jej powierzchni stałoby się możliwe. A skoro w rzeczywistości chodzenie po wodzie bez dodatkowych akcesoriów nie jest możliwe to zabieg jakim jest prezentowany na Rys. 1 fotomontaż tymczasowo jest w sferze marzeń. Okazuje się, że takich marzycieli jest znacznie więcej. Dlatego tylko obserwacja przyrody pozwoli nam pokonać bariery, które ze względu na prawa fizyki odwiecznie były przekraczalne tylko dla herosów.

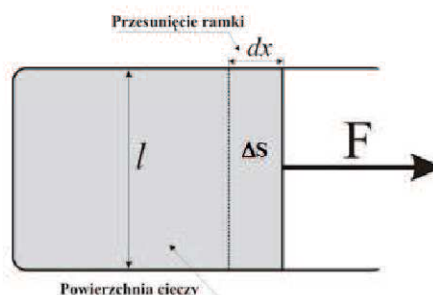


Rys. 1. Próba chodzenia po wodzie. Fot. M. Gagoś

Postawione w tytule pytanie nie może pozostać bez odpowiedzi, dlatego warto takiej poszukać w otaczającym nas świecie. Na początku zdefiniujmy pojęcie sił napięcia powierzchniowego. Przenieśmy się teraz w świat cząsteczek. Każda cząsteczka znajdująca się wewnątrz cieczy jest równomiernie otoczona przez inne cząsteczki i ma zrównoważone siły wzajemnego przyciągania.

Siły te są we wszystkich kierunkach jednakowe, a ich wypadkowa jest równa zeru. Natomiast cząsteczki położone na granicy faz, woda-powietrze, są poddane oddziaływaniom obu ośrodków.

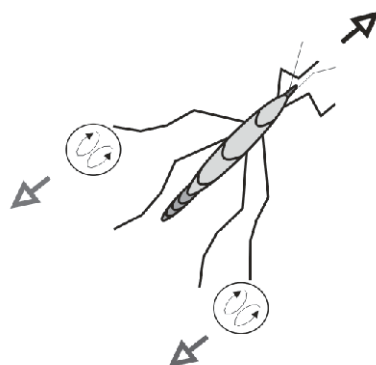
Rys. 2. Obraz przedstawiający model rozprężanie błonki wody rozpiętej na ramce, w której na ruchome ramię o długości l działa siła F . Aby zwiększyć swobodną powierzchnię cieczy o ΔS , należy wykonać pracę $\Delta W = \sigma \Delta S$, gdzie $\sigma = F/2l$ to współczynnik napięcia powierzchniowego natomiast $\Delta S = l dx$ oznacza przyrost w wyniku działania siły F pola powierzchni błonki ($2l$ - ponieważ mamy do czynienia z podwójną powierzchnią swobodną - ramka ma dwie strony).



Siła wypadkowa, skierowana prostopadle do powierzchni fazowej, dąży do wciągania cząsteczek w głąb cieczy i nosi nazwę ciśnienia powierzchniowego, natomiast siła styczna do powierzchni jest miarą napięcia powierzchniowego. Działanie tych sił wywołuje dążenie układu do zmniejszania powierzchni fazowej. Dlatego krople wody są kuliste ponieważ powierzchnia kuli przyjmuje najmniejszą wartość w stosunku do swojej objętości. Któż z nas nie zachwyca się bańkami mydlanymi, które oprócz tego, że tworzą wypełnione powietrzem kule to równocześnie dzięki zjawisku interferencji błyszczą wszystkimi kolorami tęczy. Jeżeli na ramce z ruchomym ramieniem zostanie rozpostarta ciecz (po prostu zanurzymy ją) np. wodę to w wyniku działania siły powstała błonka będzie się rozszerzać aż pęknie, Rys 2. Dla wody błonka pęka kiedy wartość przyłożonej siły zbliży się do 73 mN/m. Każdorazowe zmniejszenie tej wartości np. poprzez detergenty, ułatwia zmywanie naczyń, lecz dla wodnych chodźarzy to wielki problem.

Powszechnie znanym przedstawicielem wodnych chodźarzy jest owad z rodziny narzeczowatych (*Gerridae sp.*). Jego odnóża pokryte są mikroskopijnymi włosami, zatrzymującymi bąbelki powietrza, które działają jak ponton. „Wiosłując” środkową parą nóg (pozostałe działają jak stabilizatory), owady te mogą osiągnąć prędkość do 150 cm/s.

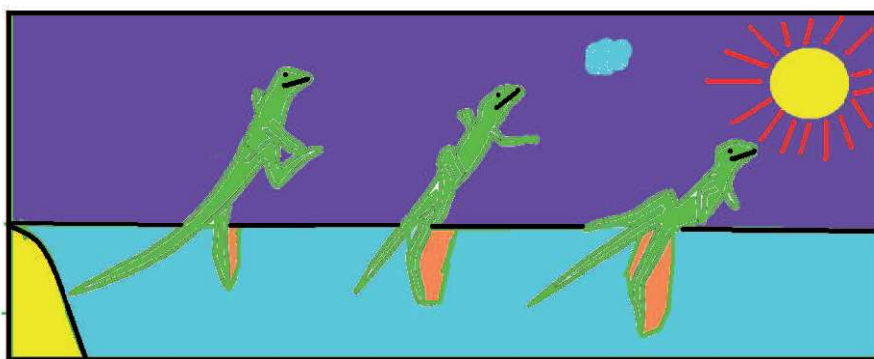
Rys. 3. Modelowy rysunek ruchu nartnika na podstawie pracy [1]



Warunkiem kroczenia po powierzchni wody jest aby stosunek ciężaru owada mg do sił napięcia powierzchniowego σL był mniejszy od 1 czyli $mg/\sigma L < 1$, gdzie L oznacza sumę obwodów wokół odnóży owada stykających się z powierzchnią wody, σ – współczynnik napięcia powierzchniowego [1]. Okazuje się, że nawet jeśli owad utrzymuje się na powierzchni, to zagadnienie biegania nie jest wcale trywialne – poświęcono mu nawet okładkę „Nature”.

Kolejnym znanym wodnym chodźcą (a może raczej biegaczem) jest jaszczurka – Bazyliszek Jezusa Chrystusa (*Basiliscus plumifrons*). W 2004 r. naukowcy z Harvard University zbadali, że krok bazyliszka dzieli się na trzy fazy. Podczas „plasku” bazyliszek kieruje nogę w dół, by odepchnąć ją do tyłu w trakcie „pociągnięcia” i cofnąć do pozycji wyjściowej w „powrocie”, Rys. 4.

Siła niezbędna do utrzymania się na wodzie powstaje podczas fazy pierwszej, gdy wokół nogi tworzy się poduszka powietrzna, napęd w poziomie daje faza druga. Maksymalna prędkość jaką osiąga Bazyliszek o masie 20.8·g to 1.4·m/s, co w zupełności wystarcza aby uciec polującemu na niego zwierzęciu [2]. Wkład sił napięcia powierzchniowego pomocnych Bazyliszkowi to tylko ~5%.



Rys. 4. Modelowy rysunek przedstawiający biegnącego Bazyliszka. Jak można zauważyć w wyniku w/w mechanizmu pod stopą bazyliszka powstaje poduszka powietrzna. Rysunek na podstawie pracy [2] wykonał Michał Gagoś, 9 lat.

Zespół NanoRobotics z Carnegie Mellon University stworzył prototyp cyber-jaszczurki zwanej *Water Runner* (wodny biegacz), który mierzy ok. 20 cm i waży 80 gramów. Natomiast cybernartnik (*Water Strider* – wodny chodziarz) posiada parametry odpowiednio 8 cm i 7 gramów. Jak twierdzi Prof. Mettin Setti w przyszłości będzie można wykorzystać je w badaniach nad jakością wody, penetracji niedostępnych miejsc, dla rozrywki czy w celach edukacyjnych [3, 4].

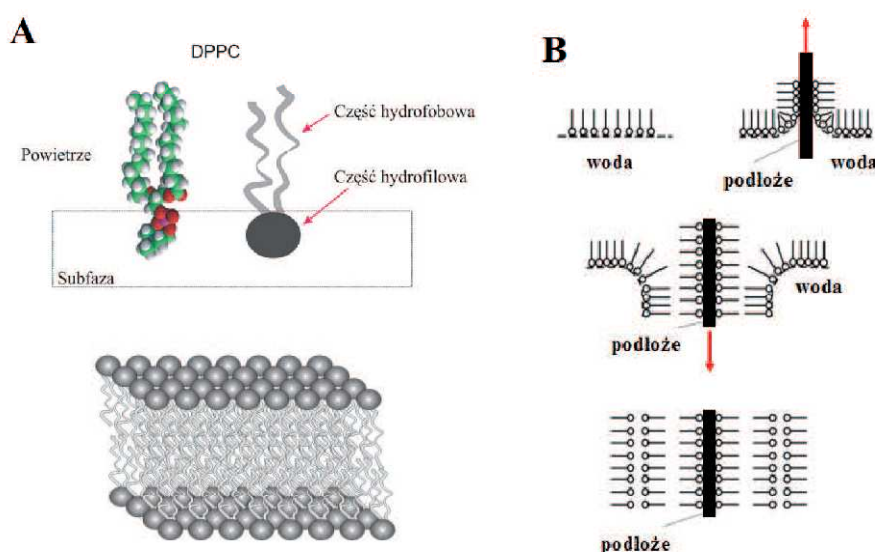
A gdyby tak skonstruować robota, który byłby tak mały, że zmieściłby się na ostrzu igły? Okazuje się, że to możliwe, naukowcy z Uniwersytetu w Rice (USA) zbudowali najmniejszy na świecie pojazd mający koła z fulerenów. Porusza się on dzięki zmianie temperatury otoczenia oraz dzięki odpowiedniemu nakierowaniu igły skaningowego mikroskopu tunelowego [5].

W odkrywaniu praw przyrody najważniejsza jest pokora oraz cierpliwość. Granice poznania każdego dnia zmieniają się, a uporządkowana wiedza ledwo nadąża za odkryciami. Poznanie tajemnic wszechświata bierze swój początek w świecie cząstek elementarnych. Unikalne połączenie nauk takich jak: fizyka, chemia oraz biologia umożliwiło powstanie nauki, którą nazwano „biofizyka”. Jedną z jej gałęzi zajmuje się badaniami biocząsteczek, a jak się okazuje one także „chodzą” po wodzie. Istnienie sił napięcia powierzchniowego umożliwia badanie cząsteczek, co w znacznym stopniu przyczyniło się do rozwoju tzw. „nano-nauki”.

Historia rozpoczęła się w 1917 roku, amerykański uczony Irving Langmuir udowodnił jednocząsteczkową naturę błonki oleju naniesionej na powierzchnię wody. Dokonał określenia orientacji amfifilowych (posiadających właściwości polarne oraz niepolarne) cząsteczek na granicy faz woda-powietrze. Grubość takiej błonki to zaledwie kilkadziesiąt angstromów ($1\text{Å} = 10^{-10}\text{ m}$). Langmuir jako pierwszy badał chemicznie czyste związki zamiast oleju. Kilka lat później dokonał przeniesienia pojedynczych warstw molekularnych na podłoże stałe. Zaproponował też koncepcję izotermy adsorpcji nazwaną później izotermą Langmuira, za co w 1932 r. otrzymał nagrodę Nobla. Niezwykle ważną rolę odegrała także Katharine Blodgett, która w 1935 roku zademonstrowała sekwencyjny transfer pojedynczych warstw na podłoże stałe tworząc filmy wielowarstwowe, zwane dziś filmami Langmuira-Blodgett (L-B). Zastosowanie techniki warstw L-B jest wszechstronne: optyka nieliniowa, elektronika molekularna, kwantowo mechaniczne tunelowanie, sensoryka oraz np. organizacja molekularna związków biologicznie czynnych w monowarstwach oraz wielowarstwach lipidowych.

Cząsteczki aktywne powierzchniowo naniesione na powierzchnię cieczy formują warstwy jednocząsteczkowe na granicy faz: ciekłej (ciecz o wysokiej wartości napięcia powierzchniowego - zwana fazą nośną lub subfazą) oraz gazowej (powietrze), patrz Rys. 5. Charakterystyczną cechą związków amfifilowych jest ich rozkład polarności polegający na nierównomiernym rozmieszczeniu ładunku elektrycznego w obrębie pojedynczej cząsteczki lub zwartej drobinie. Z tego wynika fakt, że na granicy faz, np. woda-powietrze orientują się w ściśle określony sposób: fragmenty hydrofilowe skierowane są w kierunku wody natomiast

hydrofobowe w kierunku fazy gazowej. Formowanie warstw jednocząsteczkowych jest procesem samorzutnym wynikających z tzw. efektu hydrofobowego. Efekty samoorganizacji odgrywają bardzo ważną rolę w układach biologicznych przy powstawaniu membran czy warstw lipidowych. Istotnych informacji o stanie termodynamicznym (przejść fazowych, przemian konformacyjnych) oraz stabilności otrzymanych warstw dostarcza wykres ciśnienia powierzchniowego π w funkcji powierzchni przypadającej na pojedynczą cząsteczkę A nazywany w skrócie izotermą π -A. Ciśnienie powierzchniowe definiujemy jako różnicę współczynników napięcia powierzchniowego wody i wody z surfaktantem.



Rys. 5. Na granicy faz woda-powietrze można formować zorientowane warstwy monomolekularne, które są bardzo dobrymi modelami rzeczywistych układów biologicznych (panel A – lipid lecytyna dwupalmitynowa DPPC, poniżej model błony lipidowej). Nakładanie ich na podłoża stałe (panel B) umożliwia badanie efektów oddziaływań molekularnych związków biologicznie czynnych, których poznanie może przyczynić się do zmniejszenia ich efektów toksycznych. W wyniku oddziaływania cząsteczek z powierzchnią następuje osadzenie warstwy L-B. W typowym układzie płytka umieszczona jest w uchwycie mechanizmu zanurzającego (ang. dipper), a następnie opuszczany jest w dół (czerwona strzałka) do subfazy po czym następuje wyciąganie ze stałą szybkością. W trakcie nanoszenia warstw L-B utrzymywane jest stałe ciśnienie powierzchniowe warstwy. W zależności od charakteru podłoża: hydrofilowego czy hydrofobowego podczas zanurzania i wynurzania powstają multiwarstwy L-B odpowiednio zawierające nieparzystą i parzystą liczbę warstw.

W oparciu o parametry wynikające z izotermy, stosując technikę monowarstw Langmuira oraz Langmuira-Blodgett, można nanosić pojedyncze warstwy molekularne na podłoża stałe. Pozwala to na zastosowanie różnorodnych technik badawczych. Na przykład badania prowadzone z zastosowaniem techniki warstw jednocząsteczkowych oraz mikroskopii sił atomowych (AFM) dostarczają wielu bardzo ważnych informacji o aspektach oddziaływania międzymolekularnego

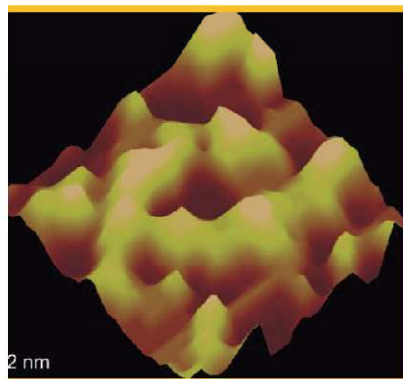
cząsteczek. Analiza topografii powierzchni monowarstw techniką AFM pozwala określić rodzaj uformowanych struktur. Molekularne struktury tworzone przez związki biologicznie czynne odgrywają kluczową rolę w ich aktywności.

Dzięki badaniom spektroskopowym cienkich warstw, udało się wyjaśnić efekty oddziaływań molekularnych antybiotyku amfoterycyny B (AmB) z błonami lipidowymi. AmB to przeciwgrzybiczy makrolidowy antybiotyk jonoforowy z grupy polienów wykazujący selektywność w stosunku do błon lipidowych zawierających ergosterol. Właściwość ta umożliwia stosowanie leku do zwalczania głębokich infekcji grzybiczych w organizmie człowieka, przez co jest jednym z niewielu leków możliwych do zastosowania, np. w AIDS. Niestety, amfoterycyna B jest toksyczna. Problem toksyczności AmB związany jest z procesem jej agregacji (tworzenia struktur zbudowanych z wielu molekuł) nie tylko w błonach lipidowych ale także w środowisku wodnym.

Poznanie mechanizmów formowania agregatów przez molekuły AmB jest jednym z ważniejszych kierunków badań, który prowadzi do wyjaśnienia przyczyn toksyczności leku.

Na Rys. 6 zaprezentowano obraz powierzchni monowarstwy AmB badany za pomocą mikroskopii sił atomowych (AFM). Jak można zauważyć molekuły związku uformowały por molekularny o średnicy wewnętrznej ~ 7 Å. Przez taki por, z błony komórkowej, wypływa jej zawartość (w szczególności jony potasu) i komórka umiera.

Rys. 6. Obraz AFM powierzchni monowarstwy AmB naniesionej na kryształ miki przy ciśnieniu powierzchniowym 25 mN/m. Skład monowarstw to 90% mol AmB i 10% mol lipidu DPPC. Próbkę naniesiono na powierzchnię kryształu metodą Langmuira - Blodgett. Wymiary powierzchni skanu 20×20 Å, za [7]



Celem wykładu było zwrócenie uwagi na bardzo ważną rolę fizyki w badaniach biologicznych oraz medycynie. Poznanie mechanizmów oddziaływań molekularnych związków biologicznie czynnych stanowi bardzo cenny wkład w rozwój wiedzy dotyczącej działania leków. Zastosowanie spektroskopii molekularnej połączonej z technikami badania powierzchni modyfikowanej biologicznie aktywnymi molekułami wypełnia przestrzeń pomiędzy chemią a farmakologią. Działalność polskich naukowców także i w tym zakresie jest bardzo czytelna, na co wskazuje liczebność publikowanych prac oraz częstotliwość ich cytowań.

Czy zatem można chodzić po wodzie?

Literatura

1. Hu, D. L., B. Chan and J. W. M. Bush. 2003. The hydrodynamics of water strider locomotion. *Nature* 424. 663-666
2. S. Tonia Hsieh, Three-dimensional hindlimb kinematics of water running in the plumed basilisk lizard (*Basiliscus plumifrons*). 2003. *The Journal of Experimental Biology* 206. 4363-4377
3. Y. S. Song and M. Sitti. 2007. Surface Tension Driven Biologically Inspired Water Strider Robots: Theory and Experiments, *IEEE Trans. on Robotics*, vol. 23, no. 3, 578-589
4. S. Floyd, T. Keegan, and M. Sitti. 2006. A Novel Water Running Robot Inspired by Basilisk Lizards, *Proc. of the IEEE/RSJ Intelligent Robot Systems Conference*, 5430-36
5. Yasuhiro Shirai, Andrew J. Osgood, Yuming Zhao, Kevin F. Kelly, and James M. Tour. 2005. Directional Control in Thermally Driven Single-Molecule Nanocars. *Nano Lett.* 5. 2330-2334
6. W.I. Gruszecki, M. Gagoś, M. Hereć, P. Kernen. 2003. Organization of antibiotic amphotericin B in model lipid membranes. A mini review, *Cell. Mol. Biol. Lett.* 8. 161-170
7. W.I. Gruszecki, M. Gagoś, P. Kernen. 2002. Polyene Antibiotic Amphotericin B in Monomolecular Layers: Spectrophotometric and Scanning Force Microscopic Analysis, *FEBS Lett.* 524. 92-96

Wykład został wygoszony w ramach Wszechnicy PAN O.L. i LTN 24.06.2010r.

Mariusz Gagoś

Dr hab. Mariusz Gagoś, prof. UP jest kierownikiem Zakładu Biofizyki UP w Lublinie.

