



SZAMPONOWY KALEJDOSKOP

Piotr Garstecki i Robert Holyst

Wszyscy na codzien uzywamy najróżniejszych srodków czystosci. Mydla, szampony i detergenty sa czescia naszego codziennego zycia. Czy jednak wiemy jaka jest zasada ich dzialania? Czy wyobrazamy sobie choc w malej czesci jak fascynujacy i zlozony swiat ukrywaja przed nami te substancje?

Podwójni agenci w akcji

Kazdy, kto musial kiedys umyc menazke piaskiem, albo domyc zatluszczone rece nie majac mydla, choc raz docenil skuteczznosc detergentów. Jednak na codzien, myjac rece nie zastanawiamy sie specjalnie dlaczego potrzebujemy do tego mydla. Zawsze tak robilismy i przyzwyczailismy sie do tego tak bardzo, ze nawet pytanie dziecka *dlaczego mam myc mydlem?* jestesmy sklonni zignorowac z poczuciem wyzszosci czlowieka, który wie. Nie kazdy jednak wie co zwykle mydlo ma wspólnego z poczatkiem zycia na ziemi, budowa komórek z których sklada sie nasze cialo, nowoczesna chemia i osiagnieciami technologii konca dwudziestego wieku - jak chocby - nowoczesnymi szklami kontaktowymi.

Zacznijmy od mycia rak. Aby opowiedziec jak myje sie rece musimy przyjrzec sie dokladnie budowie tajnych agentów czystosci - czasteczek, które wystepuja w mydle i detergentach. Czasteczki te maja bardzo specyficzną budowę. Skladaja sie z dwóch zasadniczo różnych czesci - z wodolubnej ‘główki’ i nie lubiacego wody, weglowodorowego ‘ogonka’ - patrz ramka 1. Mówiac najprosciej główka lubi sasiedztwo czasteczek wody, a ogonek wody nie znosi. Główka wode przyciaga, o ogonek ja odpycha. Jezeli w wodzie sa czasteczki brudu (najczesciej tluszcze i weglowodory) to czasteczki detergentu otaczaja brud ogonkami a swoje główki kieruja w strone wody. Tak otoczony brud latwo odrywa sie od czyszczonej powierzchni i zostaje uniesiony z woda podczas plukania.

No dobrze, ale dlaczego czasteczki mydla otaczaja brud? Dlaczego producenci niektórych srodków czystosci - zapewniaja nas o ich niezwyklej *aktywnosci*? Jak to zwykle w fizyce bywa, odpowiedz jest prosta. Aby jej jednak udzielic musimy odwolac sie do jednej z fundamentalnych zasad nauki - do zasady minimum energii. Mówi ona, ze kazdy układ dazy do stanu o mozliwie najnizszej energii. Aby sie przekonac, ze ta zasada sie sprawdza, wystarczy podniesc z ziemi kamien i wypuscic go z reki. Kamien spadnie, poniewaz jedna z czesci jego energii calkowitej - energia potencjalna zalezy wprost proporcjonalnie od wysokosci. Tak wiec im nizej kamien sie znajduje tym ma mniejsza energie. Podobnie dzieje ze wszystkimi ukłádami. W przypadku mydla, brudu i wody dominujaca forma energii jest energia powierzchniowa zwiazana z powierzchnia stykania sie różnych substancji. Najprosciej mówiac energia powierzchniowa jest tym wieksza im wieksza jest powierzchnia kontaktu i im bardziej różnia sie miedzy soba substancje.

Uzbrojeni w te informacje mozemy przewidziec co sie stanie w mieszaninie brudu, mydla i wody. Nie wchodzac w szczegóły, woda i brud sa bardzo różnymi substancjami chemicznymi. Energia powierzchniowa kontaktu brud-

woda jest duża. Dlatego woda nie chce wchodzić w trwały kontakt z brudem. Aby się o tym przekonać możemy wykonać kolejne proste doświadczenie. Weźmy metalową patelnię o płaskim dnie i wlejmy do niej cieniutką warstwę wody. Woda utworzy pełną taflę. Teraz wysuszmy patelnię i posmarujmy dno masłem. Jeśli znowu wlejemy wodę, zauważymy, że woda 'kurczy' się i zbiera w krople minimalizując powierzchnię kontaktu z tłustym spodem aby zminimalizować energię powierzchniową. Dociekliwi czytelnicy zapewne pragną w tej chwili zapytać dlaczego w takim razie woda nie utworzy wysokiego walca o niezwykle małej podstawie? Przecież takie rozwiązanie dawałoby najmniejszą możliwą energię powierzchniową. Nie dzieje się tak dlatego, że oprócz energii powierzchniowej, podobnie jak kamień, woda ma jeszcze energię potencjalną w polu grawitacyjnym. Ostateczny stan układu wynika z minimalizacji energii całkowitej, a więc w tym przypadku jest kompromisem między dążeniem do zmniejszenia energii powierzchniowej i potencjalnej.

W rozważanych przez nas układach energia powierzchniowa dominuje. Dlatego trudno jest umyć tłuste plamy czystą wodą. I tu przychodzi nam z pomocą podwójny agent czyli cząsteczka mydła. Podwójny - bo ma dwie, na stałe ze sobą związane, twarze - jedna podobna do wody, a druga do tłuszczu. Warstwa mydła od strony główek ma małą energię powierzchniową kontaktu z wodą, a od strony ogonków małą energię powierzchniową kontaktu z brudem (patrz ramka 1). Tak więc, aby zminimalizować energię powierzchniową, cząsteczki mydła otaczają i ukrywają przed wodą cząstki brudu, które w takiej powłoce mogą być uniesione z prądem wody.

Mydło i życie

Różnorodność żywych organizmów jest ogromna. Jednak wszystkie składają się z komórek. Same komórki również są różne. Mogą być małe lub ogromne, mogą zawierać jądro komórkowe, lub nie, ale wszystkie je łączy jedna

cecha wspólna. Wszystkie są otoczone błoną komórkową, która izoluje wnętrze komórki od otoczenia. Błona komórkowa tworzy swoistą torebkę. Mieszcza się w niej wszystkie organele. Nie jest to jednak zwykła torebka. Aby komórka mogła prawidłowo funkcjonować otaczająca ją błona musi posiadać bardzo specyficzne właściwości. Musi przepuszczać do środka potrzebne do życia substancje i wypuszczać produkty przemiany materii. Dodatkowo błona komórkowa musi mieć odpowiednie własności mechaniczne. Membrana musi podążać za wzrostem komórki i zmianami jej kształtu. Musi też być trwała. W przypadku uszkodzenia nie może pękać jak balon, tylko szybko zasklepić powstały otwór. Wszystkie te cechy posiada błona składająca się z lipidów - cząsteczek bardzo podobnych do cząsteczek mydła i mających takie same właściwości w roztworach wodnych.

Ponieważ lipidy są podobne do cząsteczek mydła - również mają wodolubną główkę i nie lubiące wody ogonki (najczęściej dwa), w roztworze wodnym poddane są konkurującym siłom. Najbardziej korzystnym energetycznie rozwiązaniem jest utworzenie tzw. dwuwarstwy, czyli błony składającej się z dwóch warstw lipidów ustawionych ogonkami do siebie (patrz ramka 2). Miliony lat temu w dostatecznie gęstym roztworze takich cząsteczek dwuwarstwa otoczyła pierwszą samoreplikującą się cząsteczkę chemiczną (DNA lub RNA) i oddzieliła ją w ten sposób od środowiska.

Dlaczego jednak dwuwarstwy lipidów 'sprawdziły się' i przetrwały zmiany ewolucyjne? Zawdzięczają to swoim niebywałym właściwościom. Ten sam mechanizm, który prowadzi do utworzenia się dwuwarstwy powoduje, że wszelkie pęknięcia błony szybko się zasklepiają. Kiedy błona zostaje przerwana, na jej krawędzi dochodzi do kontaktu wody z ogonkami węglowodorowymi, co jest niekorzystne energetycznie. Dlatego cząsteczki lipidów spontanicznie przesuwają się tak, by załatać dziury. Jeśli szczelina jest zbyt duża, błona dzieli się, tworząc dwie oddzielne komórki.

Środowisko wodne, w którym zanurzona jest dwuwarstwa przeciwdziała wychodzeniu cząsteczek lipidów z błony. Nic ich jednak nie powstrzymuje przed ruchem w płaszczyźnie warstwy. Ze względu na swobodny ruch cząsteczek w warstwie, mówi się, że błona lipidowa jest dwuwymiarowa cieczą (patrz ramka 2). Ma to ogromny wpływ na przepuszczalność błony. Przez taką dwuwymiarową ciecz bez trudu mogą się przecisnąć nawet bardzo duże cząsteczki, takie jak choćby białka, ale również enzymy, substancje odżywcze i produkty przemiany materii.

Regularne jest piękne

Przejdźmy teraz do bohatera naszego artykułu, czyli mydła. Zapomnijmy o brudzie i żywych komórkach. Zastanówmy się co się stanie gdy zmieszymy czyste mydło z wodą. Nie trudno przewidzieć, że zachowanie układu będzie zależało od stężenia mydła w wodzie. Zacznijmy od małych stężeń. Kiedy cząsteczek mydła jest mało, jedyne co mogą zrobić, by izolować ogonki od wody, jest utworzenie tzw. micel, czyli małych pileczek (patrz ramka 3). W ich środku chowają się ogonki, a powierzchnie pokrywają główki cząsteczek mydła. W miarę zwiększania stężenia mydła w wodzie, micel będzie coraz więcej. W końcu będzie ich tak dużo, że zaczną się ze sobą stykać. I w tym momencie rozpoczyna się prawdziwy szamponowy kalejdoskop. Dalsze zwiększanie stężenia mydła wymusza na układzie zmianę topologii - to znaczy przekonfigurowanie micel w twory o innej strukturze. Jedną z możliwości jest utworzenie tzw. struktury szesciokątnej. Składa się ona z równoległych rurek leżących gęsto jedna przy drugiej. W płaszczyźnie prostopadłej do ich długości tworzą szesciokątny wzór podobny do plastra miodu. Jeszcze inną możliwością jest utworzenie poukładanych jedna na drugiej dwuwarstw - takich jakie poznaliśmy w poprzednim rozdziale. Jednak najciekawsze nadal przed nami. Pod koniec lat 70. chemicy i fizycy odkryli, że dwuwarstwy detergentów tworzą nie

tylko płaskie powierzchnie, ale również *powierzchnie periodyczne o symetrii kubicznej*. Spróbujmy rozszyfrować tę skomplikowaną nazwę. Każdy z nas na pewno zachwycał się kiedyś mozaiką ułożoną z płytek czy kamieni. Najczęściej można wyizolować obszar, który zawiera wszystkie elementy wzoru na podłodze. Przesuwając taki obszar wzdłuż kierunków wyznaczonych przez jego krawędzie możemy odtworzyć całą mozaikę. Okazuje się, że dwuwarstwowe surfaktanty mogą ułożyć się w trójwymiarową mozaikę powtarzalną w trzech kierunkach. Dlatego powierzchnie te noszą miano periodycznych. Symetria kubiczna, oznacza, że komórka elementarna (najmniejszy powtarzalny obszar) jest sześcianiem. Istnieje wiele typów powierzchni periodycznych. Do najczęściej spotykanych w przyrodzie należą struktury P, D i G. Można je obejrzeć na rysunkach 1-3.

W rzeczywistości powierzchnie periodyczne, o których mowa, mają jeszcze jedną ciekawą cechę. Otóż są *minimalne*. Wyjaśnienie tego pojęcia zawarliśmy w ramce, tutaj wystarczy powiedzieć, że matematycy badają problem takich powierzchni od 130 lat. Jak dotąd odkryli tylko siedem powtarzalnych w trzech kierunkach powierzchni minimalnych o symetrii kubicznej. Dopiero zastosowanie komputerów pozwoliło znaleźć znacznie więcej takich powierzchni, o bardzo skomplikowanych motywach w komórce elementarnej. Kilka z nich przedstawiono na rysunkach 4-N. Powierzchnie periodyczne pojawiają się również w biologii. Wiadomo, że lipidy, z których składają się błony komórkowe, tworzą je w roztworach wodnych. Prawdopodobnie takie struktury obecne są wewnątrz żywych komórek oraz w chloroplastach, który jest odpowiedzialny za proces fotosyntezy. Poza walorami poznawczymi, powierzchnie periodyczne, poprzez swoją złożoność i wysoką symetrię są po prostu piękne.

Mydlana technologia - czyli o sitach molekularnych, szklach kontaktowych i okrecie w butelce

Mysle, ze wszyscy Czytelnicy, nawet ci nieobcy z pracami kuchennymi, poradziliby sobie z zadaniem oddzielenia ziaren grochu od kaszy gryczanej. Jednak juz zadanie oddzielenia maki od cukru pudru byloby niezwykle trudne. Czastki maki i cukru pudru sa setki razy mniejsze od ziaren grochu i sprzet jakim dysponujemy w kuchni nie pozwala na tak dokladna selekcje. Wyobrazmy sobie, ze ludzie stworzyli sita - zwane sitami molekularnymi - które pozwalaja rozdzielic czasteczki dziesiec milionów razy mniejsze od ziarna grochu. Odpowiednio male i regularne otwory maja wlasnie struktury periodyczne tworzone przez roztwory mydla. Niestety mydlo z woda jest plynne, a my potrzebujemy czegos takiego jak pumeks, tylko o otworach miliony razy mniejszych. Z pomoca przychodzi technologia opracowana w firmie Mobil Oil Corporation. Na pierwszy rzut oka jest ona bardzo prosta i stworzenie sita molekularnego mogloby sie udac w dobrze wyposazonej kuchni! Oto przepis: *przygotowujemy stezony roztwór mydla w wodzie, dodajemy SiO_4 (główny składnik piasku), mieszamy i odstawiamy na 48 godzin. Następnie z powstalej, sztywnej struktury odsaczamy wode, a sama strukture wkładamy na kilka godzin do rozgrzanego, wentylowanego piekarnika.* Jesli mielismy szczescie wyciagniemy nasze wlasne sito molekularne. Gdybys, drogi Czytelniku, zrobil to dziesiec lat temu, mialbys szanse na dobrze platna posade w laboratorium firmy Mobil i duze zyski z patentu. Naukowcy pracujacy wlasnie w tej firmie poswiecili kilkadziesiat lat badan opracowaniu tego procesu. Przesledzmy teraz dokladniej na czym on polega. Jak juz wiemy, czasteczki mydla w roztworze wodnym tworza trójwymiarowe struktury. W opisanym wyzej doswiadczeniu surfaktanty ukladaja sie w strukture szesciokatna, czyli zestaw przylegajacych do siebie rurek. Powierzchnia tworzona przez mydlo jest trójwymiarowa matryca, na której osadza sie krzemionka, która po pewnym czasie tworzy trwala, sztywna

strukture. Następnie odsaczana jest woda, a w piekarniku wypalane są łańcuchy węglowodorowe surfaktantów. Ostatecznie pozostają jedynie cienkie, krzemionkowe rurki tworzące w przekroju regularny, sześciokątny układ. Średnica rurek zależy od użytego surfaktantu i kilku innych czynników. Można ją regulować w dużym zakresie. Od jednej dziesięcio milionowej do jednej stu tysięcznej części centymetra.

Innym sposobem utrwalenia struktury powierzchni mydła - na przykład powierzchni periodycznej - jest wprowadzenie do roztworu tzw. monomerów. Są to związki organiczne, które zachowują się jak lepkie koraliki. W odpowiednich warunkach polimeryzują - czyli łączą się w długie łańcuchy nazywane polimerami. Otóż można sprawić, aby te koraliki osadziły się na powierzchni tworzonej przez główki surfaktantów, a następnie zainicjować reakcję polimeryzacji. Tworzące się łańcuchy będą leżały na powierzchni periodycznej, a po pozbyciu się surfaktantów otrzymamy elastyczny pumeks o niezwykle małych i regularnych porach. Okazuje się, że właśnie z takiego elastycznego pumeksu wykonywane są nowoczesne szkła kontaktowe. Konwencjonalnym materiałem do wyrobu soczewek szkieł kontaktowych są żywice polimerowe. Substancje te składają się z chaotycznie przeplecionych łańcuchów polimerowych. Wolne przestrzenie między łańcuchami wypełnione są wodą. Pory w żelu mają bardzo różną średnicę i nieregularny kształt. A co najgorsze są małe. Najgorsze dlatego, że przez małe pory nie mogą przemieszczać się duże cząsteczki organiczne, które są naturalnymi składnikami łez. Są one konieczne do utrzymania odpowiednich właściwości cieniutkiej warstwy roztworu wodnego (łez) na powierzchni oka. Kiedy ich brakuje warstwa wody pęka i wysycha powodując zmienione właściwości optyczne i brak, najprościej mówiąc, smarowania. Dodatkowo mała objętość porów powoduje niskie steżenie wody w soczewkach, a co za tym idzie mała przepuszczalność tlenu, którego potrzebują rogówki. Tymczasem szkła kontaktowe wykonane z materiałów powstałych z polimeryzacji powierzchni

periodycznych mają duże i regularne pory, które przepuszczają cząsteczki organiczne. Duża zawartość wody gwarantuje swobodny dopływ tlenu do gąłki ocznej.

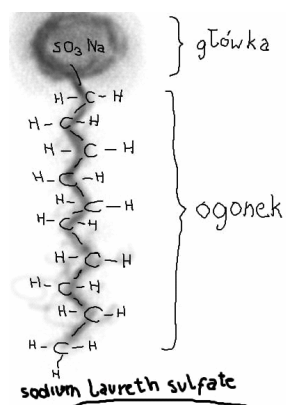
Kolejną, uderzającą własnością powierzchni periodycznych jest ich ogromna powierzchnia wewnętrzna. Wynosi ona od kilkadziesiąt do tysiąca metrów kwadratowych na gram substancji. Dzięki temu struktury te mają ogromne zastosowanie w katalizie reakcji chemicznych. Każda reakcja chemiczna polega na przemianie cząsteczek substratów w cząsteczki produktów. Inaczej mówiąc, atomy, z których zbudowane są cząsteczki substratów ulegają przekonfigurowaniu w cząsteczki produktów. Rozrywanie wiązań chemicznych wiąże się z pokonaniem bariery energetycznej. Jeżeli bariera jest wysoka, reakcja będzie zachodziła bardzo wolno. Można ją przyspieszyć dodając do mieszaniny reakcyjnej katalizator. Jest to substancja, która sama nie ulega przemianie, natomiast ułatwia rozerwanie cząsteczek substratów na atomy, lub grupy atomów. Dlaczego przydają się tu powierzchnie periodyczne? Otóż kataliza reakcji najczęściej przebiega na powierzchniach ciał stałych (zwłaszcza metali). W ściankach kanałów, z których zbudowane są omawiane w tym artykule struktury, można trwale osadzić różnorodne substancje będące katalizatorami wybranych reakcji. Po drugie, dzięki ogromnej powierzchni wewnętrznej struktur periodycznych cząsteczki reagentów wypełniające kanały mają szybki i niemalże równoczesny dostęp do katalizatorów. Wreszcie po trzecie, cząsteczki katalizatorów są trwale osadzone w strukturze, dzięki czemu po ukończeniu reakcji nie zanieczyszczają produktów. Ale to nie koniec. Kolejną, bardzo ważną, zaletą katalizatorów wbudowanych w powierzchnie periodyczne jest ich selektywność. W chemii przemysłowej bardzo ważne jest, aby w wyniku reakcji powstawała jedna, potrzebna substancja. Tymczasem po rozbiciu cząsteczek substratów, atomy, zwłaszcza w przypadku reakcji organicznych, mogą się ułożyć w wiele różnych cząsteczek produktów. Mały, i co ważne, ściśle

określony rozmiar kanałów ogranicza ilość możliwych produktów. Dzieje się tak dlatego, że większe cząsteczki po prostu by się w kanałach nie zmieściły!

Z aspektem czysto geometrycznym wiąże się kolejne zastosowanie mydlanych pumeksów. Otóż mogą służyć jako pojemniki na cząsteczki chemiczne. Istnieją złożone cząsteczki wyglądające jak kilkuramienne gwiazdy, które uzyskują sztywność dopiero po wprowadzeniu do ich centrum atomu metalu. Zanim to się stanie, ramiona mogą się dowolnie wyginać. Taka 'miękka' cząsteczka wprowadza się w kanały, a następnie do roztworu dodaje się potrzebne atomy. Cząsteczki sztywnieją wewnątrz kanałów i w tej formie nie mogą się już z nich wydostać. Są w nich uwięzione jak okret w butelce.

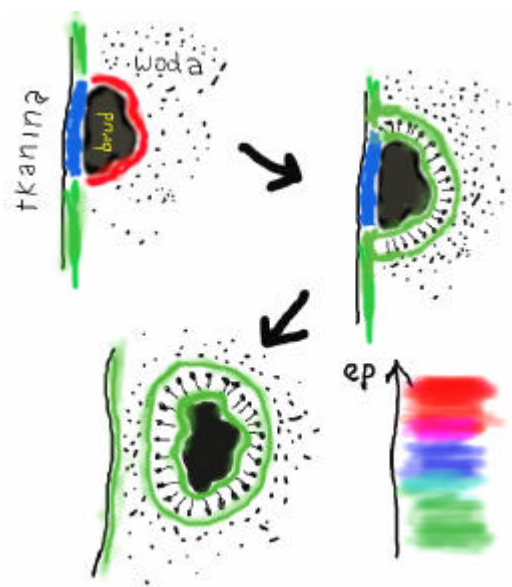
Powierzchnie periodyczne znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i techniki. Tworzą się w mieszaninach polimerów, stanowiąc o wyjątkowych właściwościach mechanicznych powstałych materiałów. Struktury powstałe z lipidów używane są do ukierunkowanego dozowania leków oraz do badań struktury białek. Spolimeryzowane powierzchnie periodyczne pokrywa się metalami tworząc niezwykle pojemne kondensatory i baterie. Jeżeli zainteresowaliśmy Cię, drogi Czytelniku, ta tematyka to z pewnością przy najbliższej okazji inaczej spojrzysz na zwykłe mydło, a być może w przyszłości sam opracujesz kolejne zastosowanie tworzonych przez nie struktur.

Ramka 1



Surfaktanty

Czasteczki mydła składają się z dwóch zasadniczo różnych części - wodolubnej główki i nie lubiącego wody ogonka. Na rysunku obok pokazana jest czasteczka substancji o przemysłowej nazwie *sodium laureth sulfate*. Nazwę tę znajdziecie państwo wśród składników większości płynnych środków czystości. W chemii podobne czasteczki nazywane są *surfaktantami* od angielskiej nazwy *surface active agent* czyli *substancja powierzchniowo czynna*. Wykonują swoje zadanie otaczając drobiny brudu i izolując je od wody. Dzięki temu czastki brudu odrywają się od czyszczonej powierzchni i mogą być splukane. Motorem takiego zachowania jest, naturalne dla każdego układu, dążenie do zminimalizowania swojej energii - w tym przypadku energii powierzchniowej. Ponieważ energia kontaktu mydło-brud i mydło-woda jest mniejsza od energii kontaktu brud-woda, czasteczki mydła wciskają się między brud i wodę tworząc swoisty mydlany pancerz.

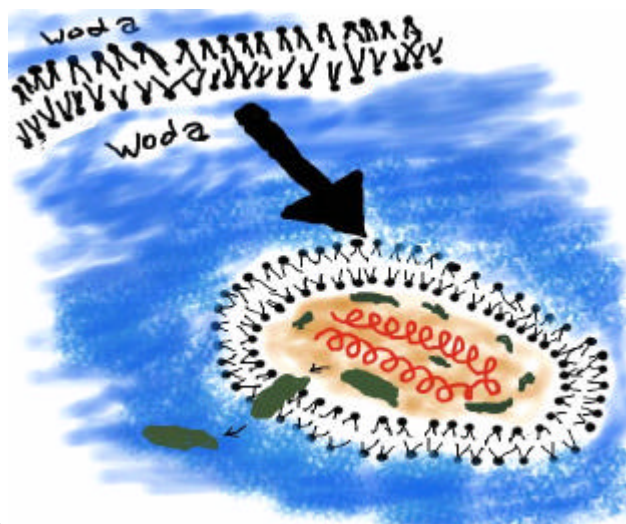


Ramka 2

Blona komórkowa

Lipidy to czasteczki organiczne niezwykle podobne do czasteczek mydła. W roztworach wodnych tworzą dwuwarstwy, z których zbudowane są błony

komórkowe. W kierunku poprzecznym do warstwy lipidy mają ograniczoną możliwość ruchu. A więc zachowują się jak cząsteczki ciała stałego - w którym oddziaływania międzycząsteczkowe są na tyle silne, że cząsteczki pozostają w swoich pozycjach. Tymczasem nic nie powstrzymuje ich przed ruchem w ramach warstwy. Mogą zamieniać się miejscami z sąsiadami, poruszać się, wirować i robić wszystko to, co robią cząsteczki cieczy. Dlatego dwuwarstwę lipidów nazywa się dwuwymiarową cieczą. Dzięki temu błona komórkowa szybko zasklepia powstałe w wyniku urazów mechanicznych otwory i przepuszcza nawet bardzo duże

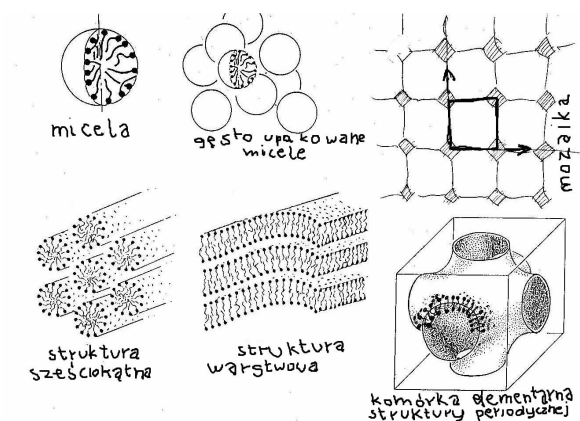


cząsteczki.

Ramka 3

Szamponowy kalejdoskop

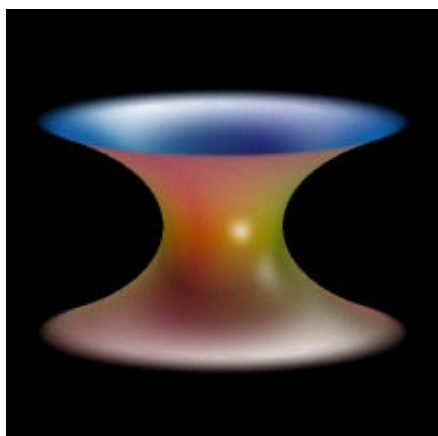
Cząsteczki surfaktantów w roztworach wodnych tworzą różnorodne struktury geometryczne. W przypadku małych stężeń mydła są to micelle. Przy większych stężeniach tworzy się struktura sześciokatna, warstwowa oraz powierzchnie periodyczne, które tak jak mozaika na podłodze, czy chodniku są powtarzalne w każdym z kierunków wyznaczonych przez krawędzie komórki elementarnej, czyli najmniejszego obszaru zawierającego wszystkie elementy wzoru.



Ramka 4

Powierzchnie minimalne

Powierzchnia minimalna to taka, która ma możliwie najmniejsza powierzchnie. Każdy może sam stworzyć taką powierzchnię w domu. Wystarczy przygotować roztwór mydła w wodzie, taki jak do robienia baniek mydlanych, i zanurzyć w nim drucianą ramkę. Kiedy wyjmemy ją z roztworu zauważymy na niej rozciągniętą błonę mydlaną, tworzącą właśnie powierzchnię minimalną, czyli taką, która łączy wszystkie krawędzie ramki i ma możliwie najmniejszą powierzchnie. Warto poeksperymentować wyginając ramkę - błona utworzy wtedy ciekawy kształt. Świetnym przykładem jest powierzchnia łącząca dwa równoległe okręgi - katenoida pokazana na rysunku obok.



Gdyby zamiast błony mydlanej na ramce rozpięta byłaby gumowa membrana, utworzona przez nią powierzchnia nie byłaby minimalna. Dlaczego? Otóż w

gumie tworzące ją cząsteczki mogą się wzajemnie przesuwac jedynie w ograniczonym zakresie. Zatem niemożliwa jest dowolna - wymagana zmiana kształtu. Łatwo to zrozumieć rozważając figury, które można utworzyć na przykład z kartki papieru. Odpowiednio nacinając kartkę możemy skonstruować stożek, jednak niemożliwe jest takie wygięcie kartki, aby utworzyła część sfery. Jeśli położymy papierowy stożek na kuli widzimy, że na szczycie stożka papieru jest za dużo, a po bokach za mało. Błona mydlana może dostosować się do dowolnego kształtu ponieważ jest płynna i cząsteczki mydła mogą się swobodnie przesuwać po powierzchni tworząc wymagane wypukłości. W przypadku błony mydlanej rozpiętej na drucianej ramce, ze względów energetycznych, najkorzystniejszym stanem jest struktura o możliwie najmniejszej powierzchni - powierzchnia minimalna. Struktury periodyczne tworzone przez cząsteczki mydła w roztworach wodnych należą właśnie do tej klasy powierzchni.

