

Od połowy dziewiętnastego wieku wiadomo, jak wygląda podstawowe równanie fotosyntezy. Nadeszła pora, by dodać do niego jeszcze jeden element – nanotechnologię – i na nowo zacząć zastanawiać się nad możliwymi rozwiązaniami.

Prądotwórcze bakterie

Mariusz Karwowski

Zmorą wszystkich amatorów morskich kąpiei są sinice. Latem potrafią naprawdę uprzykrzyć życie. Wystarczy kilka bezwietrznych, upalnych dni, aby te prymitywne jednokomórkowce dały o sobie znać. Ich zakwity powodują, że woda staje się mętna i zaczyna przypominać zupę szczawiową. To z powodu siniozielonego koloru, który nadają jej właśnie mnożące się w zawrotnym tempie sinice. O kąpaniu się można wtedy zapomnieć, i to nie tylko ze względów estetycznych, ale przede wszystkim zdrowotnych. Jednak to, co dla miłośników kąpiei jest przekleństwem, dla naukowców wręcz przeciwnie – stanowi wdzięczny temat do badań. I nie chodzi tu bynajmniej o możliwe sposoby poradzenia sobie z tym problemem. W każdym razie nie tylko o to. Kto wie, czy - szybciej niż w walce z tymi bakteriami - sukces nie przyjdzie... we współpracy z nimi. Na przykład w stworzeniu baterii słonecznych nowej generacji. Do tej pory pod tym chwytliwym hasłem, najogólniej określającym ogniwa dłużej pracujące i szybciej się ładujące, kryły się rozwiązania oparte na krzemie. Nikt nie wpadł na pomysł, by do tego celu wykorzystać energię słoneczną pozyskiwaną w procesie fotosyntezy przez rośliny, algi czy bakterie, choćby takie jak sinice. Wszystkie one zawierają chlorofil, który służy im do absorpcji kwantów światła, czyli fotonów. Jedyna różnica tkwi w zakresie ich wychwytywania. Rośliny i glony czerpią światło widzialne w najbardziej efektywnym zakresie, czyli od 400 do 700 nanometrów. Właśnie w tym paśmie znajduje się najwięcej energii słonecznej, którą można by wykorzystać. Tymczasem sinice absorbują podczerwień, a więc jedynie w zakresie powyżej 700 nanometrów. Żeby ten stosunkowo

wąski zakres zwiększyć, trzeba połączyć układ fotosyntetyczny z nanostrukturami stworzonymi w laboratorium. Wypełnią one naturalne dziury pochłaniania światła słonecznego.

– Powstanie hybryda, która z taką samą wydajnością absorbować będzie zakres widma od niebieskiego do czerwonego. To będzie taki stepping stone – kamień, po którym przejdziemy na drugi brzeg rzeki – tłumaczy prof. Sebastian Maćkowski z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

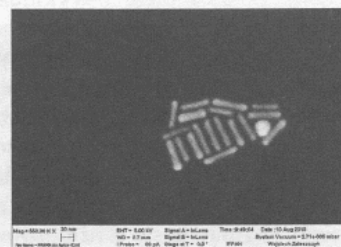
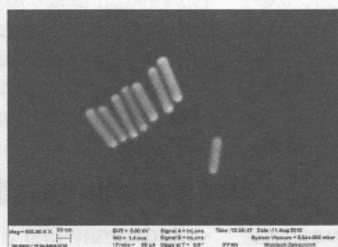
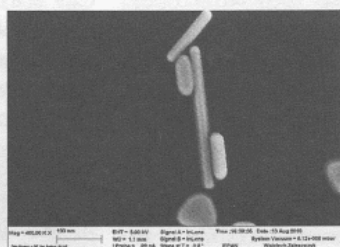
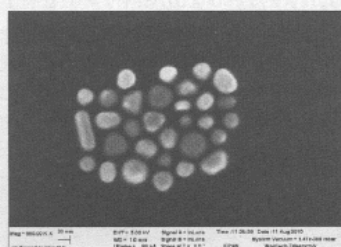
Natura do poprawki

Oczywiście, najłatwiej byłoby zająć się roślinami, które pochłaniają najwięcej światła słonecznego. Wówczas sztuczne struktury z nanomateriałów tylko by tę absorpcję wzmocniły. Problem tkwi jednak w tym, że fotosystemy znajdujące się np. w liściach zawierają kilkaset różnego rodzaju chlorofili, które ze sobą oddziałują. Te układy są więc dużo bardziej skomplikowane i trudniejsze do opisanego niż u prostych prokariotów, jakimi są sinice. One swoją niedoskonałość w absorpcji światła słonecznego rekompensują w pewien sposób prostą nad wyraz budową. A ową niedoskonałość zawdzięczają... ewolucji. Żyjąc w głębinach oceanów musiały znaleźć sposób na „złapanie” światła, którego po drodze nie przejmowałyby organizmy funkcjonujące na powierzchni, np. algi. Opracowały więc strategię przechwytywania podczerwieni. Większego wyboru zresztą nie miały. Światło widzialne do ich środowiska życia nie docierało. W pewnym sensie zostały przez naturę upośledzone. Naukowcy z Torunia zamierzają więc przyrodę niejako poprawić. Oczywiście na tyle, na ile jest to konieczne.

– Natura jest wprawdzie dobrze prosperującym przedsiębiorstwem, ale my się tym nie zadowolamy. Chcemy znaleźć optymalne warunki do zwiększenia prądu – chcemy pokazać, że ten prąd będzie większy, gdy stworzy się strukturę hybrydową. Bo jeśli weźmiemy sam fotosystem, otrzymamy jedynie to, co daje przyroda. Dlatego właśnie trzeba ten fotosystem „udekorować” nanostrukturami nieorganicznymi.

Metalowe wąsy

Już samo stworzenie takich nanostruktur jest nie lada problemem. W końcu „nano-” oznacza miliardową część całości. Jedną dziesiątą metra łatwo sobie wyobrazić, jedną setną – także. Ale jedną miliardową? Z pomocą zwrócono się do Nicka Kotova z Uniwersytetu w Michigan. Nie odmówił. Pierwsze nanokryształy półprzewodnikowe – głównie telurek kadmu i selenek kadmu – oraz nanocząstki metaliczne ze złota i srebra, pochodziły właśnie od niego. Teraz tworzy się takie i w Toruniu, w specjalnie do tego celu uruchomionym laboratorium. Powstają istne cuda, o różnej geometrii i wielkości, a co za tym idzie – odmiennych własnościach optycznych. Stosunkowo najprościej idzie z kulkami. Ale powstają też pręciki, trójkąci, a nawet... metalowe wąsy o średnicy 50 nanometrów i długości 50 mikrometrów. Wszystkie one, oglądane pod mikroskopem i ułożone obok siebie, przypominają misternie skomponowaną mozaikę. Różnorodność układów, które naukowcy są w stanie wytworzyć w laboratorium, daje sporo możliwości, jeśli chodzi o pole elektromagnetyczne, jego wzbudzenie, kontrolę... Zwłaszcza ta ostatnia jest nie-



Powstają istne cuda, o różnej geometrii i wielkości, oglądane pod mikroskopem i ułożone obok siebie, przypominają misternie skomponowaną mozaikę.



Fot. Mariusz Karwowski

Prof. Sebastian Maćkowski (trzeci od prawej) z zespołem

zwykle ważna. To słowo-klucz w nanotechnologii.

– *Technologia to jest coś, co kontrolujemy, a nanotechnologia to coś, co kontrolujemy w skali nano. Jeśli taki pręcik połączymy z układem biologicznym, to dobrze wiedzieć, co się wtedy będzie działo* – prof. Maćkowski pokazuje kompleks fotosyntetyczny z sinicy.

Na pierwszy rzut oka przypomina on beczkę stworzoną z „tańczących” chlorofilu. Oprócz nich są też karotenoidy, pełniące rolę protektorów tych chlorofilu. Ta ochrona jest o tyle ważna, że właśnie dzięki chlorofilom bakteria w pierwszym etapie fotosyntezy jest w stanie zebrać określoną ilość światła. Energia słoneczna przekazywana jest do centrum reakcyjnego fotoukładu, gdzie następuje wybicie elektronu. Jeżeli układy fotosyntetyczne otoczą się nanostrukturami, będą one automatycznie absorbować więcej energii – absorbują one na siebie jedną na drugą – a tym samym i elektronów w takim układzie hybrydowym będzie generowanych więcej. Po przyłożeniu do niego odpowiedniego napięcia elektrony będą stanowiły prąd elektryczny. W ramach czteroletniego projektu Welcome, finansowanego przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej, w Toruniu, za pomocą spektroskopii pojedynczych molekuł próbują łączyć między innymi wspomniane pręciki ze strukturami biologicznymi, tworząc układy hybrydowe. Możliwie jak najwięcej takich układów, bo chodzi o statystykę ich własności. Nie robią tego jednak metodą wrzucania do jednego kotła struktury białkowej, cząstek z metalu i z półprzewodników, mieszania tego wszystkiego i zastanawiania się, co jest dobrze, a co źle. Wybrali opcję „step by step”, czyli optymalizowania poszczególnych etapów, wykorzystywania na bieżąco zdobytej wiedzy. Polskim ba-

daczom pomaga prof. Sasha Govorov, specjalista-teoretyk układów hybrydowych z uniwersytetu w Ohio. Próbkę trafiają najpierw pod mikroskop fluorescencyjny, pod którym widać nawet świecenie obiektów mniejszych niż dziesięcionanometrowe. Po ich naświetleniu mierzy się emisję i analizuje różne jej własności. Takie widmo charakteryzuje się bowiem określoną energią, kształtem, czasem zaniku... Parametry te dostarczają wielu cennych informacji.

– *Naszą pracę nazywam inżynierią strukturalno-widmową, bo dopasowujemy te pasma tak, aby w pewnym momencie się zazębiły. Nanokryształy absorbują światło o długości fali do 400 nanometrów. Dla roślin, które chwytają światło widzialne i dla bakterii, które z kolei nieźle radzą sobie w podczerwieni, połączenie z taką nanostrukturą byłoby idealnym poszerzeniem zakresu widmowego – wyjaśnia prof. Maćkowski, dodając jednocześnie, że o ile rolę nanokryształów półprzewodnikowych będzie rozszerzenie obszaru pochłaniania światła, o tyle nanocząstki metaliczne wzmacniają – i to kilkakrotnie – już istniejącą absorpcję. Srebro ma wzmocnienie w okolicach światła niebieskiego (400-450 nanometrów), zaś złoto – od 550 w stronę czerwonego i jest wyjątkowo stabilne – nie utlenia się, słabo reaguje na siarczki, poza tym łatwo modyfikuje się jego powierzchnię. Srebro jest pod tym względem gorsze, ale z kolei jego synteza jest dużo bardziej niejednorodna, co pozwala uzyskać całą gamę różnych kształtów. Nie tylko kulek.*

– *Rośliny czy organizmy, które uczestniczą w fotosyntezie, wypracowały sobie wyrafinowane metody stabilizowania tych układów. Naszym zadaniem jest utrzymanie tej stabilności, gdy już dodamy do tego struktury stworzone w laboratorium.*

Chcemy bowiem, żeby układy naturalne absorbowwały lepiej i więcej.

Fotoprąd popłynie!

Toruńskim naukowcom sen z powiek spędza problem kontroli tak małych obiektów. A konkretnie kontrolowanie odległości między nanostrukturą a układem biologicznym. Właśnie ten parametr w największym stopniu decyduje o oddziaływaniu tych dwóch obiektów. Doświadczenie pokazuje, że powinny być blisko siebie – w odległości około 15 nanometrów – ale nie bliżej i nie dalej.

– *Inaczej całą energię, którą zaabsorbują chlorofil, wchłonie metaliczna kulka i odda jako ciepło. Metal ma wiele elektronów i jest w stanie przyjąć dowolnie dużo energii* – podkreśla prof. Sebastian Maćkowski.

Próbuje się więc wszystkimi możliwymi sposobami: monowarstwami złotych kulek, strukturą klinową... Z drugiej strony każdy ma świadomość, że kontrola ta nigdy nie będzie doskonała, bo zawsze natrafi się na taki punkt, poza którym własności nanostruktur pozostaną tajemnicą. Zupełnie inaczej niż w układach biologicznych. Tutaj jakakolwiek modyfikacja z zewnątrz pozwala mimo wszystko na zachowanie struktury. Białko z alg można złożyć z różnych części, a ono i tak zwinie się identycznie, jak w formie natywnej. Przyroda zachowuje więc pewną jednorodność. W przypadku nanoobiektów jest inaczej. A chciałoby się tak samo. Tymczasem powtarzalność wyników jest trudna do osiągnięcia. To z kolei powoduje, że zbudowanie wydajnego urządzenia opartego na układzie hybrydowym może stanowić nie lada problem. W Toruniu mierzą jednak wysoko.

– Mamy elektrody, łączymy je nano-drutem o szerokości 100 nanometrów, na którym umieszczamy duży fotosystem. Jego centrum reakcji pod wpływem światła generuje elektrony. Płyne prąd. Centrum reakcyjne jest tak skonstruowane, że w zasadzie nie absorbuje światła widzialnego, tylko podczerwień. Jeżeli bylibyśmy w stanie wzmocnić tę absorpcję, np. używając kulek z metalu, to będziemy mieli więcej światła, a co za tym idzie – więcej elektronów. Można pójść dalej i oprócz kulki dodać też półprzewodnik. Wówczas stworzymy strukturę hierarchiczną, w której półprzewodnik rozszerzy zakres światła, a kulka odpowiednio go zwiększy – opisuje toruński fizyk.

Idea, która narodziła się podczas jego stażu w Niemczech, jest dość innowacyjna. Dlatego, choć prace piętnastoosobowego zespołu mają charakter badań podstawowych, niewykluczone, że staną się podstawą aplikacji. Tak, jak choćby układy nanometaliczne do zastosowań w medycynie. Są one aktywne w podczerwieni, bo tylko takie światło przepuszcza ludzka tkanka. Strukturę ze złota, w środku której umieszczony jest lek przeciwko rakowi, wstrzykuje się pacjentowi i kiedy dotrze ona do chorej komórki, zaczyna się jej naświetlanie laserem. Złoto absorbuje w podczerwieni, a topiąc się – uwalnia lekarstwo, które działa dokładnie w tym punkcie, co trzeba. Chory nawet się nie spostrzeże. Takie lub podobne zastosowania już dzisiaj nikogo nie dziwią. A będzie ich z pewnością więcej, bo i zainteresowanie nimi wzrasta.

– Dopiero w ostatniej fazie naszego czteroletniego projektu planuję przyłączenie fotosystemu do jakiejś elektrody i zobaczymy, czy płynie fotoprąd. Jeśliby tak było, to całkiem realne wydaje się stworzenie na tej bazie baterii, chociaż mnie marzy się doprowadzenie do rozszczepienia wody i przetworzenie dwutlenku węgla w mrówczan, co będzie pierwszym krokiem, nie tyle do generowania prądu z urządzenia hybrydowego, co do wytworzenia biopaliwa. No, ale na razie nie jesteśmy nawet jeszcze na półmetku – zaznacza prof. Sebastian Maćkowski, podkreślając nie mniej ważny aspekt projektu – możliwość współpracy zaangażowanych weń młodych ludzi z wiodącymi grupami badawczymi na świecie. To niezwykle cenne doświadczenie, które już procentuje. Perspektywa realnego wykorzystania układów biologicznych, ot choćby do ogniw słonecznych najnowszej generacji, staje się bliższa niż kiedykolwiek wcześniej. Za piętnaście, może dwadzieścia lat... W każdym razie, jeśli nikt nie znajdzie sposobu na uporanie się z sinicami w kąpieliskach, to jest nadzieja, że te bakterie i tak do czegoś się przydadzą. □

Nauka kultu cargo

Marek Kosmulski

W czasie II wojny światowej amerykańskie samoloty lądowały na wyspach Pacyfiku, dostarczając zaopatrzenie dla stacjonujących tam żołnierzy. Kilka lat później zauważono, że mieszkańcy niektórych wysp budują obiekty przypominające lądowiska dla samolotów. To zjawisko antropologiczne określa się jako kult cargo. Prawdopodobnie tubylcy, którzy przed wojną mieli niewiele do czynienia z cywilizacją zachodnią i nowoczesną techniką, uznali lotników za przybyszy z nieba, którzy przywożą Amerykanom broń, żywność, wodę ognistą i inne użyteczne przedmioty. Uważali oni, że gdy tylko Amerykanie się wynieśli, wystarczyło zbudować lądowiska i czekać na przybyszów z nieba i ich dary. Takie rozumowanie ma pozory sensowności. Oczywiście tubylcy nie wiedzieli, że te samoloty ktoś zbudował, zatankował paliwo, wyszkolił pilotów oraz wyprodukował wzmiankowane towary i załadował je do samolotów, a przede wszystkim za to zapłacił. Popełnili więc typowy błąd, polegający na dopatrywaniu się związku przyczynowo-skutkowego bez dogłębnego zbadania sprawy. Sam kult cargo może się nam wydawać czymś głupim i naiwnym, natomiast analogiczne błędy popełniane są dość często, choć nie zawsze do końca wiadomo, czy intencje są równie szczerze, jak w przypadku kultu, od którego wzięły swoją nazwę.

Stosunkowo łatwo ubrać parę tysięcy osób w togi i birety, a kilkuset z nich nałożyć dodatkowo ozdobne łańcuchy i pelerynki z gronostajów. Można im jeszcze nadać dostojnie brzmiące tytuły oraz prawo wydawania przedmiotów przypominających dyplomy wyższych uczelni. Można wreszcie utworzyć tuzin central-

nych komisji, które będą to wszystko kontrolowały. Natomiast wiara w to, że powyższe działania same w sobie spowodują realny wzrost stopnia wykształcenia społeczeństwa lub zaowocują odkryciami naukowymi i innowacjami technicznymi jest naiwnością nie mniejszą niż tytułowy kult cargo. Obok wspomnianych gronostajów i dyplomów konieczne jest spełnienie kilku innych warunków, których nie da się osiągnąć w krótkim czasie działaniami o charakterze administracyjnym. Konieczni są przede wszystkim studenci autentycznie zainteresowani pogłębianiem swojej wiedzy, a nie tylko samym statusem studenta lub zdobyciem dyplomu. Studenci muszą także być wystarczająco sprawni intelektualnie, aby podołać studiowanym zagadnieniom. Nie wszyscy posiadają ten dar i sztuczne zwiększanie liczby studentów musi się odbyć kosztem obniżenia poziomu studiów. Potrzebni są nauczyciele, którzy odczuwają potrzebę przygotowania się w bibliotece i laboratorium zanim wejdą na katedrę. Potrzebni są także autentyczni naukowcy, traktujący poważnie słowa przysięgi doktorskiej, a więc przedkładający umiłowanie prawdy ponad materialny zysk i próżną chwałę.

Powyższy tekst nie jest diagnozą szkolnictwa wyższego w Polsce Anno Domini 2011, lecz wolnym przekładem wybranych fragmentów artykułu Richarda P. Feynmana (1918-1988) (*Cargo cult science, Eng Sci 37 (7) (1974), p. 10.*), noblisty i autora popularnej w Polsce książki *Feynmana wykłady z fizyki*. Artykuł powstał w czasach, kiedy dzisiejsi ministrowie i rektorzy byli studentami lub najwyżej młodymi asystentami, i nawet genialny Feynman nie mógł przewidzieć, co z nich wyrośnie.



Fot. Stefan Ciechan