



Fundacja na rzecz
Nauki Polskiej

Nauka w czasach przemian

Jak badania finansowane z Funduszy Europejskich pomagają chronić nas przed globalnymi zagrożeniami i wykorzystywać historyczne szanse



Fundusze
Europejskie
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita
Polska

NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



Nauka w czasach przemian

Jak badania finansowane z Funduszy Europejskich pomagają chronić nas przed globalnymi zagrożeniami i wykorzystywać historyczne szanse

© Copyright by Fundacja na rzecz Nauki Polskiej
Warszawa 2022

Wydawca: Fundacja na rzecz Nauki Polskiej
ul. Ignacego Krasickiego 20/22, 02-611 Warszawa
tel.: 22 845 95 01
e-mail: fnp@fnp.org.pl
www.fnp.org.pl

Autorzy zdjęć: Grzegorz Adach (strony: 17, 27, 29, 31, 33, 47, 53, 55, 59, 61, 65, 72, 74, 76, 78), Michał Jędrak (strony: 19, 23), Paweł Klein (str. 45),
One HD (strony: 12, 37, 39, 41, 43, 51, 66, 68, 70), Bartek Sadowski (str. 10), Magdalena Wiśniewska-Krasińska (strony: 4, 15, 25, 57)

Projekt graficzny, DTP: Grzegorz Adach

Publikacja współfinansowana ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego
w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój.



Spis treści

Wstęp	4
Badania naukowe w Polsce finansowane ze środków POIR	7
COVID-19. Pandemia to tylko początek. Walka z COVID-19 otwiera drogę do medycznych przełomów	9
Nowe materiały. Od nanoskali do megastruktur. Polscy naukowcy tworzą materiały przyszłości	22
Diagnostyka medyczna i innowacje medyczne. Zrozumieć, zdiagnozować, wyleczyć. Badania polskich uczonych rozwijają medycynę	36
Energetyka i ekologia. Energia na przyszłość	50
Technologie kwantowe. Superkomputery, szyfry i tajemnice Wszechświata. Polscy naukowcy przełamują kwantowe bariery	64
Mapa webinarów. Jak Fundusze Europejskie wspierają badania naukowe i innowacje	81

Wstęp

Można zauważyć, że do przełomowych zdarzeń, w tym odkryć naukowych, które przyniosły najwięcej korzyści społeczeństwu, często dochodziło w sposób niedający się przewidzieć i w niesprzyjających okolicznościach. Stres, globalne zagrożenia, niespodziewane, gwałtowne wydarzenia mają duży wpływ na nasz rozwój i czasami indukują zupełnie nowe wartości. Towarzystwo Maxa Plancka, które skupia dziś największe grono noblistów wśród organizacji europejskich, nigdy by nie powstało, gdyby nie amerykańska okupacja południowo-wschodnich Niemiec po II wojnie światowej. Amerykańskie badania nad bombą atomową, które w konsekwencji doprowadziły także do pokojowego wykorzystania energii atomowej, nie uległyby tak znacznemu przyspieszeniu, gdyby nie rozpoczęcie II wojny światowej przez Hitlera. Gdyby nie tragiczne tsunami wywołane trzęsieniem ziemi, które spowodowało uszkodzenie elektrowni jądrowej w Fukushima, świat nie zacząłby intensywnie pracować nad nowymi technologiami produkcji i magazynowania energii.



Prof. Maciej Żylicz, prezes Fundacji na rzecz Nauki Polskiej

Obecnie zmagamy się ze skutkami przebytej (mam nadzieję, że możemy już używać czasu przeszłego) pandemii COVID-19, ze zmianami klimatycznymi zachodzącymi w efekcie działalności człowieka, a także z kryzysem energetycznym spowodowanym m.in. przez wywołaną przez Rosję brutalną wojnę w Ukrainie. Czy w perspektywie tych aktualnych wyzwań dojdzie do przejścia fazowego i stworzenia nowej jakości w jakiejś społecznie ważnej dziedzinie? Trudno przewidzieć, ale można i trzeba nad tym pracować. Korzystając z Funduszy Strukturalnych w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój, Fundacja na rzecz Nauki Polskiej (FNP) zainwestowała ok. 1,2 mld zł w projekty badawcze z obszarów: nowych technologii z zakresu magazynowania energii, ekologii, energetyki, tworzenia nowych materiałów, technologii kwantowych (w tym na potrzeby narzędzi służących cyberbezpieczeństwu), polepszania komfortu życia, nowoczesnej diagnostyki, w tym schorzeń neurologicznych i schorzeń wywołanych immuno-autoagresją.

Przykładem niekonwencjonalnego działania Fundacji na rzecz Nauki Polskiej w reakcji na globalne nieprzewidziane zdarzenie było wsparcie zaangażowania polskich naukowców w walkę z pandemią COVID-19 udzielone wkrótce po jej rozpoczęciu. Niekonwencjonalne podejście polegało na tym, że zamiast uruchomienia nowego konkursu na granty dla naukowców pracujących nad projektami związanymi ze zwalczaniem pandemii, otworzyliśmy konkurs na nowe zadania badawcze poświęcone temu problemowi – dla zespołów naukowych, które już wcześniej uzyskały od FNP środki unijne na inną tematykę badawczą. Mieliśmy więc już wcześniej zweryfikowaną w procesie wyłaniania laureatów naszych konkursów grupę zespołów naukowych, które w oparciu o ważne wyniki badań uzyskane w swojej tematyce chciały w obliczu pandemii podjąć dodatkowe prace, które mogłyby bezpośrednio pomóc w walce z koronawirusem. Prof. Marcin Drąg z Politechniki Wrocławskiej od wielu lat badający proteazy opracował nową technologię szukania efektywnych i specyficznych inhibitorów tych enzymów. Opierając się na wynikach tych wcześniejszych badań,

jego zespół w ciągu paru miesięcy od zidentyfikowania nowego wirusa w Chinach zaproponował związki chemiczne, które efektywnie hamowały dwie proteazy kodowane przez wirusa SARS-CoV-2. Zablokowanie tych proteaz hamowało rozwój wirusa SARS-CoV-2 w zakażonej komórce niezależnie od jego wariantu genetycznego. Dzięki tym pionierskim badaniom zespołu prof. Drąga globalna firma biotechnologiczna wykonała badania kliniczne nad nowymi inhibitorami proteaz SARS-CoV-2 i uzyskała zgodę amerykańskiej Agencji Żywności i Leków na leczenie pacjentów zakażonych wirusem SARS-CoV-2 oparte na tej metodzie. Cały proces od zaproponowania inhibitora do rozpoczęcia leczenia pacjentów trwał niespełna dwa lata.

Z kolei zespół prof. Daniela Gryko z Instytutu Chemii Organicznej PAN zaprojektował i zsyntetyzował sondy fluorescencyjne, które selektywnie znakują zakażone wirusem komórki.

Zespół prof. Jacka Jemielitego z Uniwersytetu Warszawskiego był jednym z pierwszych, które rozpoczęły prace nad terapeutycznym wykorzystaniem cząsteczek mRNA jako szczepionek przeciwnowotworowych. Jeszcze przed pandemią SARS-CoV-2 doszło do sprzedaży licencji na modyfikowanie mRNA w taki sposób, by zwiększyć jego ekspresję i żywotność firmie, która później opracowała szczepionki mRNA anty SARS-CoV-2.

W ramach nowego zadania badawczego zespół prof. Jemielitego wyselekcjonował inhibitory dwóch metylotransferaz kodowanych przez SARS-CoV-2. Zahamowanie modyfikacji grupami metylowymi RNA wirusa powoduje zablokowanie jego rozwoju (końcowe etapy tego projektu zostały zrealizowane we współpracy z belgijską firmą biotechnologiczną).

Prof. Agnieszka Michota-Kamińska, która zdobyła finansowanie z FNP na opracowanie nowej technologii opartej o powierzchniowo-wzmocnioną spektroskopię Ramana, wykrywającej patogen-

ne bakterie, w ramach nowego zadania badawczego opracowała prototyp urządzenia wykrywającego obecność wirusa SARS-CoV-2 w płynach ustrojowych (np. ślinie).

Prof. Justyna Olko z Uniwersytetu Warszawskiego, która od lat badała grupy etniczne zamieszkujące Meksyk i posługujące się innymi niż otoczenie językami, uzyskała bardzo ciekawe wyniki badań nad funkcjonowaniem grup mniejszościowych (Kaszubi, Ślązacy, Łemkowie czy migranci zamieszkujący Kalabrię) podczas pandemii: jak reagowały one na stres związany z tym zagrożeniem, jak ich otoczenie (grupy większościowe) reagowały na ich zachowanie. Badania dotyczyły też tego, jak na pandemię COVID-19 reagowali uchodźcy z Ukrainy przebywający w Polsce. Ten projekt pokazuje niezwykle ważną wagę innowacji społecznych, które mogą być generowane przez dobre zespoły badawcze pracujące w zakresie nauk społecznych i humanistycznych.

Zapraszamy do lektury naszej publikacji – przedstawiamy w niej wymienione powyżej, a także wiele innych osiągnięć naukowych ponad 30 wybitnych uczonych, których badania były wspierane przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój finansowanego przez Unię Europejską. Już teraz widzimy, że są wśród nich takie, które pozytywnie zmieniają rzeczywistość i w znaczący sposób rozwijają naszą wiedzę o świecie.

Prof. Maciej Żylicz
prezes Fundacji na rzecz Nauki Polskiej



**| Badania naukowe w Polsce
| finansowane ze środków POIR**

The background features a light gray surface with numerous water droplets of various sizes. The scene is divided into several colored rectangular panels: a light gray panel at the top right, a light blue panel at the bottom right, and a light brown panel at the bottom left. The text 'COVID-19' is centered in the light gray area, preceded by a red vertical bar.

| COVID-19

Pandemia to tylko początek. Walka z COVID-19 otwiera drogę do medycznych przełomów

Polscy badacze wspierani środkami z Funduszy Europejskich przekazywanymi za pośrednictwem m.in. Fundacji na rzecz Nauki Polskiej są w czołówce walki z COVID-19. Powstające w polskich laboratoriach rozwiązania mogą dać nam narzędzia do walki nie tylko z obecną pandemią, ale i z szerokim wachlarzem innych chorób.

Kiedy w pierwszych dniach grudnia 2019 r. z chińskiego Wuhan napływały do nas doniesienia o nowej, tajemniczej chorobie, która zaczęła dotyczyć mieszkańców miasta, naukowcy nie czekali. Gdy 31 grudnia tego samego roku Światowa Organizacja Zdrowia została formalnie poinformowana o wykryciu nowego, niebezpiecznego wirusa, prace badawcze nad odnalezieniem jego potencjalnych słabych punktów już trwały. Także w Polsce.

Wirus SARS-CoV-2 okazał się bardzo trudnym przeciwnikiem. Szybko rozprzestrzeniający się i zmienny patogen pozostaje do dziś poważnym zagrożeniem. Ogromny wysiłek naukowców pozwolił w błyskawicznym tempie opracować innowacyjne szczepionki oraz terapie przeciwko nowej chorobie, znanej światu jako COVID-19. Dzięki tej pracy pandemię udało się wyhamować już po kilkunastu miesiącach.

Poszukiwanie słabych punktów wirusa

Jednym z pierwszych badaczy, którzy zajęli się rozpracowywaniem biologicznej maszyny stojącej za błyskawicznym rozprzestrzenianiem się wirusa SARS-CoV-2, był prof. Marcin Drąg. Chemik z Politechniki Wrocławskiej, laureat Nagrody FNP w 2019 r., do pewnego stopnia znał już przeciwnika. Wcześniej pracował w USA nad wirusem SARS, blisko spokrewnionym koronawirusem, który w latach 2002-2004 spowodował ponad 8 tys. zakażeń i ponad 700 zgonów. Część doświadczeń z walki z tamtą chorobą można było zastosować do zwalczania nadciągającej pandemii.

— Współpracuję z grupą prof. Rolfa Higenfelda z Niemieckiego Centrum Badań nad Infekcjami, który miał ogromne doświadczenie w wygaszaniu SARS-CoV-1. Przewidywaliśmy, że do czegoś



Prof. Marcin Drąg

podobnego może dojść i pojawi się inny bardziej niebezpieczny koronawirus, podczas gdy my nie mamy odpowiednich testów ani leków — tłumaczy prof. Drąg.

Wrocławskie laboratorium opracowało technologię pozwalającą na bardzo dokładne profilowanie proteaz, czyli enzymów hydrolizujących wiązanie między dwoma specyficznymi aminokwasami. W przypadku koronawirusa proteazy odpowiadają m.in. za aktywowanie białek wirusa oraz blokowanie „sygnałów alarmowych” wysyłanych przez zainfekowaną komórkę. Projekt badawczy, finansowany z Funduszy Europejskich Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój w ramach programu TEAM Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, pozwolił precyzyjnie ustalić, w jaki dokładnie sposób proteazy rozpoznają aminokwasy, które mają rozdzielić.

— Stworzyliśmy technologię pozwalającą na wskazywanie, które aminokwasy wiążą się, w których kieszeniach badanej proteazy. Obiecaliśmy Rolfowi, że zsyntetyzujemy bibliotekę do badania proteaz koronawirusów i wkrótce ją stworzyliśmy. On miał przywieźć nam próbki proteaz SARS i MERS tuż przed Bożym Narodzeniem 2019 r., i wtedy zaczęła się pandemia, a my posiadaliśmy już gotowe narzędzie do badań — wspomina chemik.

Prace naukowców z wrocławskiego laboratorium szybko przyniosły rezultaty. Wirus SARS-CoV-2 zawiera 29 różnych białek, w tym dwie proteazy: SARS-CoV-2-Mpro i SARS-CoV-2-P1pro. Są kluczowe dla prawidłowego funkcjonowania wirusa, bo bez nich nie jest on w stanie się namnażać. Zespół prof. Drąga przygotował dokładne profile obu z nich jeszcze w lutym 2020 r. Uчени wskazali ich słabe punkty, które mogłyby pomóc w stworzeniu leków blokujących aktywność tych proteaz, blokując tym samym rozwój wirusa. Dwa artykuły naukowe opublikowane przez zespół zostały pobrane

z bazy danych ponad 100 tys. razy. Jeden ze wskazanych przez zespół prof. Drąga aminokwasów stanowiących potencjalny klucz do zamka blokującego działanie wirusowych proteaz stał się podstawą rewolucyjnego leku na COVID-19 opracowanego przez firmę Pfizer.

— Pfizer zrobił nam wielki prezent, potwierdził nasz cel medyczny i wykorzystał wiedzę, którą wypracowaliśmy, by stworzyć jeden z najważniejszych leków w historii — podkreśla prof. Drąg. Co ważne, związki, które blokują działanie enzymów koronawirusa, nie wpływają na funkcjonowanie proteaz naturalnie występujących w ludzkich komórkach. Są przez to nie tylko skuteczne, ale także bezpieczne dla człowieka.

Odkrycia wrocławskiego zespołu mogą mieć jednak skutki wykraczające daleko poza obecną pandemię. Badacze wskazali, że tzw. centrum aktywne proteaz koronawirusa nie zmienia się, bez względu na mutacje całego wirusa. Prawdopodobnie dzieje się tak dlatego,

że jakiegokolwiek istotne zmiany w tym elemencie prowadziłyby do tego, że wirus traciłby zdolność do namnażania się. Oznacza to, że lek działający na COVID-19 powinien pozostać skuteczny bez względu na pojawianie się nowych wariantów tego wirusa. Powinien też działać na wszystkie inne koronawirusy tej klasy. To pozwoli nam zabezpieczyć się przed przyszłymi pandemiemi wywoływanymi przez pokrewne patogeny.

Zatrzymać maszynę do kopiowania

Zespół prof. Jacka Jemielitego z Centrum Nowych Technologii Uniwersytetu Warszawskiego także wziął na cel podstawowe reakcje chemiczne pozwalające wirusowi namnażać się w naszych komórkach. Badacze skupili się jednak na metylotransferazach. To enzymy, które modyfikując chemicznie RNA wirusa, przygotowują jego informację genetyczną do kopiowania.

Lek działający na COVID-19 powinien pozostać skuteczny bez względu na pojawianie się nowych wariantów tego wirusa. Powinien też działać na wszystkie inne koronawirusy tej klasy.



Prof. Jacek Jemielity

— Wirus to nic innego, jak pewna otoczka zbudowana z białek strukturalnych plus materiał genetyczny, dzięki któremu ten wirus może się namnażać, oraz białka niezbędne do ekspresji tego materiału genetycznego — tłumaczy prof. Jemielity. Po przedostaniu się do komórki gospodarza wykorzystuje ją do tworzenia kopii samego siebie. Zanim jednak do tego dojdzie, intruz musi wykorzystać pewne narzędzia, które przekonują komórkę do tego, by RNA wirusowe były potraktowane jak własne i kopiowane przez komórkową maszynę.

— Materiałem genetycznym wirusa SARS-CoV-2 jest RNA, ale to nie jest takie samo RNA, jak u człowieka. Musi zostać odpowiednio ukształtowane i przygotowane, aby mogło zostać przez maszynę człowieka przetłumaczone — precyzuje badacz. W tym celu wirusowe RNA musi zostać wyposażone w elementy strukturalne, które służą jako identyfikatory cząsteczek przeznaczonych do kopiowania. To proces przeprowadzany przez dwie wirusowe metylotransferazy, czyli białka nsp14 i nsp16. Modyfikują one wirusowe RNA tak, by uspić czujność naszego układu immunologicznego.

Metylotransferaza nsp14 buduje na jednym z końców cząsteczki RNA tzw. czapkę, zwaną także „kapem”. To struktura, która zabezpiecza RNA przed zniszczeniem i umożliwia rozpoczęcie procesu przepisywania informacji genetycznej na sekwencje aminokwasów w białkach (proces ten nazwany jest translacją). — Taka czapka jest rodzajem znaczka pocztowego, który wysyła informację genetyczną do fabryki białek, a z drugiej strony chroni cząsteczkę przed chemiczną degradacją. Bez czapki RNA ulega degradacji w kilka minut — tłumaczy badacz. Metylotransferaza nsp16 jest z kolei odpowiedzialna za taką modyfikację wirusowego mRNA, że komórka uznaje je za swoje i nie uruchamia alarmu.

Jeśli jeden z istniejących leków wykaze właściwości pozwalające na hamowanie działania wirusowych enzymów, ich zastosowanie w leczeniu nowej choroby będzie możliwe nawet po zaledwie kilku miesiącach.

Bez tych dwóch metylotransferaz, SARS-CoV-2 nie byłby w stanie skutecznie namnażać się w naszych komórkach. Jego RNA zostałoby rozpoznane jako obce, a układ immunologiczny dążyłby do uniemożliwienia syntezy wirusowego białka na jego bazie. Dzięki środkom z Funduszy Europejskich z POIR przyznanym przez FNP w ramach programu TEAM, zespół prof. Jemielitego szukał inhibitorów, które w selektywny sposób by hamowały właśnie te dwie metylotransferazy, nie wpływając jednocześnie na prawidłowe funkcjonowanie podobnych ludzkich enzymów. To trudne, bo metylotransferazy są często bardzo podobne do siebie.

— Stworzyliśmy metodę opartą o zjawisko fluorescencji, która pozwala bardzo szybko sprawdzić, które z niezliczonych związków chemicznych mają jakikolwiek potencjał, żeby te enzymy hamować — tłumaczy prof. Jemielity. Zespół przetestował 7 tys. potencjalnych substancji hamujących i znalazł 83 związki, które wydawały się obiecującymi obiektami do dalszych badań. Po kolejnych te-

stach ta grupa zawęziła się najpierw do 23 inhibitorów, które nie hamowały jednocześnie działania ludzkich enzymów, a następnie — po ostatecznej fazie testów w Belgii — do trzech bardzo mocnych kandydatów na lek. Ta sama metoda może w przyszłości pomóc szybko zidentyfikować substancje hamujące namnażanie innych wirusów. — Sama metodologia poszukiwania inhibitorów może okazać się dość uniwersalna. Możemy wziąć dowolną metylotransferazę z wirusa i sprawdzić szybko w bibliotece 7 tys. związków czy mają potencjał, by hamować jego rozwój i stać się lekami — tłumaczy prof. Jemielity. Co ważne, w ogromnej części są to związki dostępne już dziś na rynku i znane lekarzom. Jeśli jeden z istniejących leków wykaze właściwości pozwalające na hamowanie działania wirusowych enzymów, ich zastosowanie w leczeniu nowej choroby będzie możliwe nawet po zaledwie kilku miesiącach.

mRNA i leki przyszłości

Badania naukowe, których tempo bardzo przyspieszyła pandemia COVID-19, mogą mieć skutki daleko wykraczające poza walkę z koronawirusem. Technologia mRNA, wykorzystana do produkcji pierwszych szczepionek przeciwko SARS-CoV-2, daje nadzieję na opracowanie terapii wielu chorób, których leczenie dziś przekracza często możliwości medycyny. Zespół prof. Jemielitego był jednym z pierwszych w Europie, które zajęły się terapeutycznym wykorzystaniem cząsteczek mRNA. — mRNA to nasz komórkowy przepis na białko i ze swojej natury to cząsteczka bardzo nietrwała, która jednocześnie ma jednak bardzo duży potencjał — tłumaczy prof. Jemielity. — Inhibitory służą do hamowania aktywności enzymów odpowiadających za tworzenie białek, a wiele chorób powstaje, bo w komórkach właściwych białek nie ma.

W takim przypadku dostarczenie do komórek „przepisu” w postaci mRNA mogłoby pozwolić na wyleczenie wielu, nawet przewlekłych, genetycznie uwarunkowanych chorób. Jest jednak bariera, którą trzeba było najpierw pokonać: podobnie, jak wirusy modyfikują swoje mRNA by ukryć je przed naszym układem odpornościowym, tak i lecznicze mRNA musi zawierać elementy, dzięki którym organizm potraktuje je jak własne. Trzeba też dostarczyć cząsteczki mRNA do komórek bez degradacji. Obie te kwestie udało się w znacznym stopniu rozwiązać podczas prac nad szczepionkami przeciw COVID-19, co otwiera teraz drzwi do zupełnie nowych zastosowań tej technologii.

— Stworzenie szczepionek na mRNA to przełom dla tej technologii. Tworzenie kolejnych przeciw chorobom infekcyjnym będzie już stosunkowo proste — tłumaczy prof. Jemielity. — Kolejny etap to szczepionki przeciwnowotworowe. Za trzy do pięciu lat czeka nas leczenie genetycznych chorób rzadkich, jak mukowiscydoza, a to, co jest taką futurystyką — choć już prowadzone są badania — to medycyna regeneracyjna oraz wykorzystanie mRNA razem z technologią CRISPR-Cas9, czyli precyzyjną edycją genomu.

Polski zespół pracuje teraz nad technologiami pozwalającymi jak najskuteczniej dostarczać mRNA do komórek i wykorzystywać jak najmniejszą ilość jego cząsteczek w każdej dawce leku. Terapie oparte na mRNA mogą być w najbliższych latach jednym z najbardziej istotnych przełomów w medycynie, a badania prowadzone przez polskich uczonych podczas pandemii znacznie nas do nich przybliżyły.

Projektowanie klucza do wirusowego zamka

Z prof. Jemielitym ściśle współpracował prof. Marcin Nowotny z Międzynarodowego Instytutu Biologii Molekularnej w Warszawie, którego badania były również finansowane przez FNP w ramach programu TEAM ze środków pochodzących z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój. Zespół prof. Nowotnego zajmuje się określaniem trójwymiarowych struktur kluczowych biologicznie cząsteczek z dokładnością do poszczególnych atomów. Szczególną jego specjalnością jest odtwarzanie przestrzennych struktur białek, które przetwarzają kwasy nukleinowe.

— Poszukujemy inhibitorów za pomocą krystalografii białek — mówi prof. Nowotny. Krystalografia to metoda ustalania struktury cząsteczki za pomocą promieni rentgena przepuszczanych przez tworzone w laboratorium kryształy. — Generujemy kryształy białek, setki kryształów danego enzymu i nasączamy związkami, które potencjalnie mogą się z nimi łączyć. Te związki same w sobie nie są zazwyczaj inhibitorami, ale ich bardzo małe cząsteczki stanowią dobry punkt wyjścia do budowy takich inhibitorów. Skoro wiemy już, gdzie się kleją, w jakiej formie, w jakim ustawieniu, możemy rozbudować je, by stworzyć nowy, większy, lepszy inhibitor.

To jednak wymaga bardzo żmudnych eksperymentów. Współpracowniczka prof. Nowotnego, dr hab. Elżbieta Nowak, przeprowadziła serię eksperymentów na synchrotronie w Berlinie, dzięki czemu udało się odkryć kilkadziesiąt obiecujących substancji wiążących się z białkami wirusa. — Mamy w tej chwili zidentyfikowa-



Prof. Marcin Nowotny

nych nieco ponad 20 takich większych substancji. Szczęśliwie one są dostępne komercyjnie. Możemy je po prostu kupić i testować — mówi prof. Nowotny.

To jednak załedwie wstęp, bo cel, który wyznaczył sobie prof. Nowotny, jest bardzo ambitny. Chce odnaleźć substancje, które będą blokowały działanie chemicznych mechanizmów pozwalających na namnażanie nie jednego wirusa, ale całego ich spektrum. Analogicznie do tego, jak antybiotyki blokują procesy życiowe wielu rodzajów bakterii.

— To trudne, bo procesy przebiegające w bakteriach są dość jednorodne, podczas gdy wirusy są o wiele bardziej zróżnicowane — tłumaczy profesor. — To jest piekielnie trudne, a jednocześnie to taki Święty Graal tej dyscypliny. Zresztą prawdziwych leków antywirusowych wcale nie ma dużo. Na razie fajnie byłoby mieć na półce trochę różnych substancji chemicznych, które w razie pojawienia się kolejnej pandemii moglibyśmy bardzo szybko przetestować. Powiedzieć sobie: OK, mam nowego wirusa, ale mam też paletę możliwości jego zwalczania.

Jak błyskawicznie rozpoznać patogen

W przypadku przyszłych epidemii i pandemii kluczowa będzie diagnostyka. Szybkie rozpoznanie czynnika chorobotwórczego może decydować o życiu i zdrowiu pacjenta, ale również o dalszym rozprzestrzenianiu się choroby. Tu bezcennym sojusznikiem lekarzy może okazać się urządzenie, nad którym pracuje zespół prof. Agnieszki Michoty-Kamińskiej z Instytutu Chemii Fizycznej PAN w Warszawie.

Celem badań finansowanych z Funduszy Europejskich z POIR w ramach programu TEAM-TECH FNP jest opracowanie nowatorskiego, przenośnego urządzenia diagnostycznego, bazującego na technice powierzchniowo wzmocnionej spektroskopii Ramana (ang. SERS), służącego do czułego i szybkiego wykrywania bakterii chorobo-

twórczych i wirusów (w tym SARS-CoV-2). Ma ono być prostsze i tańsze od standardowych, wykorzystywanych dziś metod identyfikacji biochemicznej, immunologicznej czy molekularnej.

Opracowane przez polski zespół nanomateriały, bazy danych chorobotwórczych bakterii i analizy chemometryczne pozwolą zidentyfikować bakterie czy wirusy w ciągu załedwie 30 minut. Urządzenie FORMI oparte jest na spektroskopii ramanowskiej, a w szczególności na jednej z jej odmian, tzw. technice SERS, która umożliwi wykrywanie pojedynczych molekuł. Odkrywca spektrografii ramanowskiej, indyjski fizyk Chandrasekhara Venkata Raman już w 1930 r. otrzymał za nią Nagrodę Nobla, ale wykorzystanie jej w praktyce było trudne, bo technika ta daje zazwyczaj słaby, trudny do analizy sygnał. Aby w pełni wykorzystać jej możliwości, konieczne jest zastosowanie specjalnych materiałów — nanostruktur plazmonicznych wzmacniających słaby sygnał.

Stworzenie takich materiałów było jednym z celów zespołu prof. Michoty-Kamińskiej. W ramach programu TEAM-TECH udało się opracować nanostruktury plazmoniczne do badań techniką SERS, które zapewniają wysoką czułość, powtarzalność i stabilność rejestrowanych sygnałów ramanowskich. Brak takich materiałów ograniczał do tej pory możliwości stosowania techniki SERS w diagnostyce medycznej. — Od kilku lat pracujemy wyłącznie na opracowanych przez nas samych nanostrukturach, które są dla naszych zastosowań idealne — zapewnia prof. Michota-Kamińska. — Dają nam niesamowicie silne widma biologicznych układów od bakterii, przez grzyby i wirusy, aż po komórki rakowe. W ciągu kilkunastu sekund jesteśmy w stanie otrzymać obraz spektralny.

Analiza widm SERS pozwala na wyszukiwanie w ślinie, krwi czy innych płynach ustrojowych „spektralnych odcisków palca” poszczególnych patogenów. W przypadku bakterii uzyskane widmo pochodzi między innymi od białek tworzących ich ściany



Prof. Agnieszka Michota-Kamińska

komórkowe. Dzięki temu można nie tylko odróżnić ich poszczególne gatunki, ale i szczepy.

Grupa badawcza prof. Michoty-Kamińskiej także zajmuje się zastosowaniem techniki SERS do analizy próbek klinicznych, to jest śliny, krwi i wymazów z nosogardła pacjentów zakażonych wirusem SARS-CoV-2. Analizy danych spektralnych pozwoliły na ustalenie „odcisku palca” płynów zakażonych SARS-CoV-2, zmian molekularnych i wyraźnych markerów zmian fizjologicznych w chorobowo zmienionych płynach. Analizy te umożliwiły opracowanie modelu klasyfikacji do szybkiej identyfikacji i różnicowania grup zakażonych i niezakażonych wirusem.

W trakcie projektu zespół opracował pierwszą na świecie bazę danych patogenów bakteryjnych. Baza widm SERS zawiera obecnie ponad sto gatunków i 40 szczepów bakterii. — Nasza baza danych i algorytmy identyfikacji dają nam szybką odpowiedź, z jakim gatunkiem mamy do czynienia i jakie jest prawdopodobieństwo, że to właśnie ten patogen — tłumaczy badaczka. Prace jej zespołu są już na finiszu a przenośne, lekkie urządzenie jest w zasadzie gotowe. Zespół opracowuje jeszcze protokoły postępowania tak, by wyniki otrzymywane dzięki urządzeniu FORMI były jak najbardziej powtarzalne, a jego obsługa prosta i intuicyjna.

COVID-19 sprawił, że bardziej ufamy nauce

Pandemia COVID-19, a zwłaszcza zdecydowane i skuteczne działania podjęte przez naukowców i lekarzy oraz urzędników odpowiedzialnych za finansowanie badań i ochrony zdrowia przyniosły niemal na całym świecie dość zaskakujący, bardzo pozytywny skutek. W większości regionów wyraźnie wzrosło zaufanie, jakim obywatele darzą naukę.

Przeprowadzone przez Wellcome Global Monitor badanie wskazało, że w skali globalnej deklarowane przez uczestników sondażu zaufanie do naukowców wzrosło z 32 proc. w 2018 r. do 41 proc. w 2020 r. Dla porównania, w tym samym czasie zaufanie do rządów wzrosło o 3 pkt proc., a zaufanie do sąsiadów spadło o 5 pkt proc.

Siła tego efektu znacznie różniła się jednak w zależności od regionu. W Ameryce Północnej, Europie Zachodniej oraz Australii i Nowej Zelandii, których obywatele już wcześniej deklarowali bardzo duże, przekraczające 50 proc. zaufanie do nauki, po dwóch latach osiągnęło ono odpowiednio poziom 55, 59 i 58 proc. W Europie Wschodniej, która przed wybuchem pandemii była regionem najbardziej sceptycznym (z deklarowanym „mocnym” zaufaniem do nauki na poziomie zaledwie 23 proc.), sondaż przeprowadzony w 2020 r. wykazał, że poziom zaufania wzrósł do 36 proc. Jedyne regiony, w których w badanym

Opracowane przez polski zespół nanomateriały, bazy danych chorobotwórczych bakterii i analizy chemometryczne pozwolą zidentyfikować bakterie czy wirusy w ciągu zaledwie 30 minut.

okresie zaufanie do nauki spadło, były Afryka Subsaharyjska (z 28 do 22 proc.) oraz Rosja, Kaukaz i Azja Środkowa (z 33 do 32 proc.).

To, w jaki sposób poszczególne grupy społeczne, narodowe czy etniczne reagowały na wyzwania i zagrożenia związane z pandemią oraz na próby jej zatrzymania było jednak procesem niezwykle złożonym. Prof. Justyna Olko z Wydziału „Artes Liberales” oraz prof. Michał Bilewicz z Wydziału Psychologii Uniwersytetu Warszawskiego otrzymali w ramach programu TEAM FNP finansowanie na projekt badawczy „Językowe antidotum: żywotność językowa jako sposób budowy psychicznego dobrostanu, zdrowia i zrównoważonego rozwoju”, który badał m.in. to, w jaki sposób mniejszości etniczne i migranci odczuwali skutki pandemii.



Prof. Justyna Olko

— Od początku pandemii było wiadomo, że jednymi z najbardziej narażonych na jej negatywne skutki, zarówno na płaszczyźnie zdrowotnej, jak i społeczno-ekonomicznej, są grupy rdzenne, mniejszościowe, a także społeczności imigrantów — tłumaczy prof. Olko. Wynika to oczywiście z ich długofalowego narażenia na marginalizację i różne formy dyskryminacji, gorszego statusu ekonomicznego, utrudnionego dostępu do służby zdrowia oraz przeżytych wcześniej, a przekazywanych międzypokoleniowo traum. Badacze przyjrzeni się sytuacji Kaszubów, Łemków, Ślązaków i Włomowian oraz ukraińskich imigrantów w Polsce, mniejszości etnicznej Greko i migrantów zamieszkujących Kalabrię, a także grupom rdzennym w Meksyku. W przypadku tych ostatnich, śmiertelność w trakcie pandemii była niemal dwukrotnie wyższa niż średnia dla całego kraju.

— Nasze badania pokazały, że dla grup rdzennych w Meksyku COVID-19 był reminiscencją tego, co ich przodkowie przeżywali w okresie kolonialnym, gdy wskutek epidemii rdzenna populacja zmniejszyła się o 90 procent, a następnie podczas pandemii hiszpanki — tłumaczy badaczka. – COVID-19 był bodźcem do ponownego przeżywania historycznej traumy i wiktymizacji. Podobne procesy zaobserwowaliśmy wśród innych grup, takich jak Kaszubi czy Ślązacy, które w różnym stopniu postrzegały bycie stygmatyzowanym czy dyskryminowanym w czasie pandemii.

Poważnym problemem podczas pandemii COVID-19 były kwestie zdrowia psychicznego. W tym zakresie grupy mniejszościowe i imigranckie okazały się szczególnie narażone. — W tym czasie zauważyliśmy bardzo wysoki poziom uogólnionego lęku wśród badanych przez nas populacji (od 18 proc. u Łemków, po ponad 27 proc. wśród Ukraińców, Ślązaków i Kaszubów). Okazało się jednak, że silne więzi z innymi członkami danej grupy mniejszościowej czy imigranckiej stanowią bufor chroniący przed lękiem i poczuciem zagrożenia w czasie pandemii — twierdzi dr Michał Bilewicz, koordynujący psychologiczną część projektu.

Szybko okazało się, że spójność i sprawczość takich grup może okazać się bardzo skutecznym narzędziem do walki z pandemią. Zwłaszcza kiedy kluczowe informacje zaczęły do nich docierać w ich własnych językach. — Dla nich istotne nie było tylko indywidualne zagrożenie, ale zagrożenie dla grupy, jej kultury i języka. To, jak dalece pandemia zagrażała ich przetrwaniu — tłumaczy prof. Olko. — Konsekwentnie, we wszystkich badanych grupach okazywało się, że w porównaniu do przedstawicieli grup większościowych, te osoby zachowywały się bardziej racjonalnie, w większym stopniu przestrzegały restrykcji i były mniej podatne na teorie spiskowe. Chroniły nie tylko siebie, ale również innych członków społeczności. Odpowiedzialność społeczna za siebie, za starszych członków rodziny była i jest bardzo silna. To była powszechna solidarność, której czasami nam brakuje, a którą do dziś widać na przykład w Meksyku w zakresie ochrony przed zakażeniem.

Badania zespołu z UW wskazują więc, że mimo tworzenia zaawansowanych terapii i supernowoczesnych metod diagnostycznych, rozwijanych także w polskich laboratoriach, jednym z najważniejszych czynników w dbaniu o zdrowie społeczeństw bywa empatia i troska o słabszych.

The background features a light gray gradient with numerous water droplets of various sizes scattered across it. The page is divided into several colored rectangular panels: a light purple panel in the top right, a light blue panel in the bottom right, and a light brown panel in the bottom left. The text is centered in the white space between these panels.

| Nowe materiały

Od nanoskali do megastruktur. Polscy naukowcy tworzą materiały przyszłości

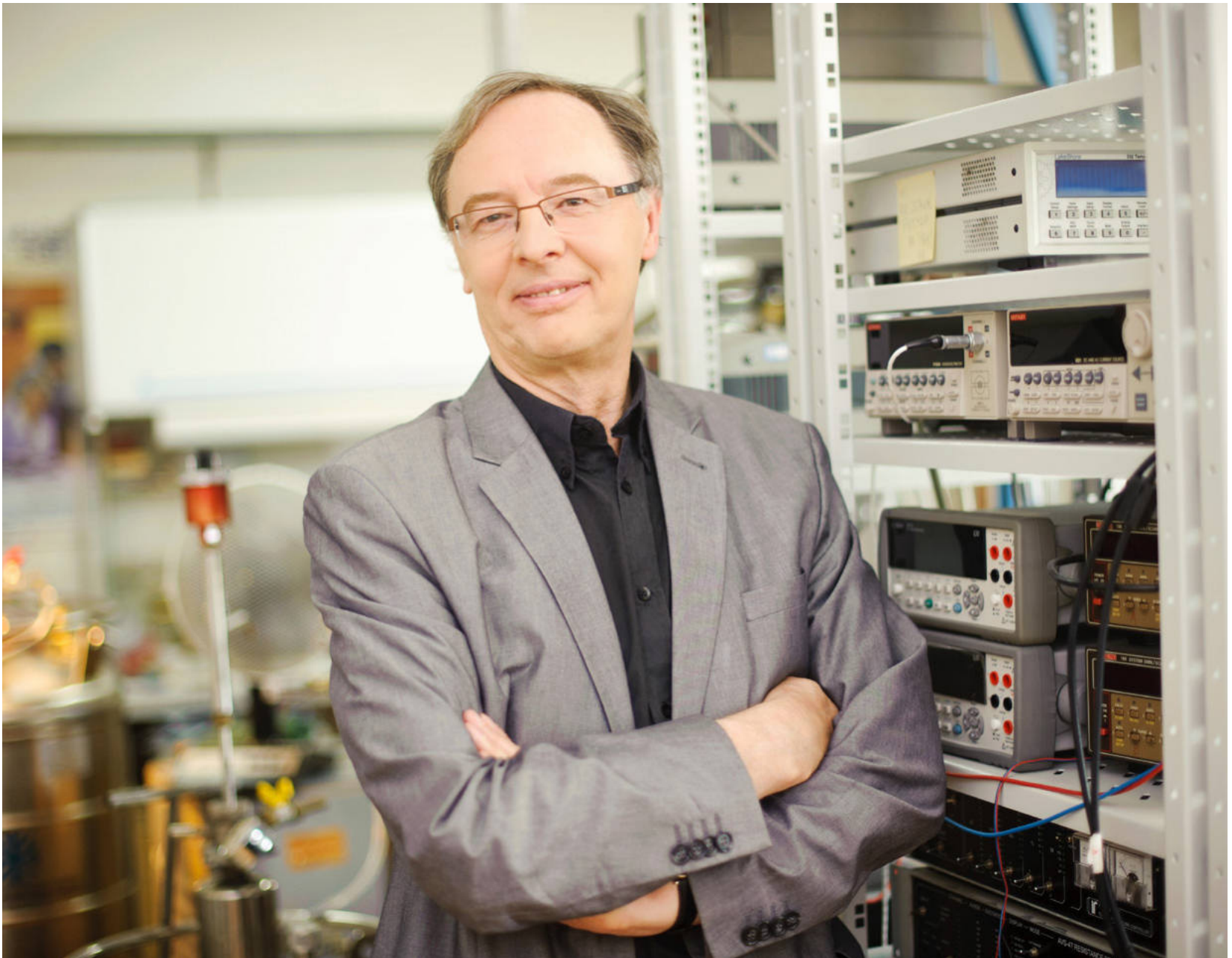
Od medycyny po reaktory jądrowe. Opracowywane w polskich laboratoriach materiały mogą otworzyć przed inżynierami i naukowcami zupełnie nowe, niedostępne im dotąd możliwości. Wspierani przez Fundusze Europejskie badacze wykorzystują egzotyczne właściwości materii w nanoskali, podpatrują naturę i usprawniają wykorzystywane od tysięcy materiały, by otworzyć przed nami nowe możliwości.

Trudno przecenić rolę, jaką w historii zmian cywilizacyjnych odegrały prace nad nowymi materiałami. Od pierwszych eksperymentów z obróbką kamienia, po supernowoczesne nanostruktury o niezwykłych właściwościach — nowe tworzywa zawsze dawały nam zupełnie nowe możliwości. Nic dziwnego, że średniowieczni alchemicy mieli obsesję na punkcie możliwości ich wytwarzania.

— Postęp technologiczny w dużej mierze zachodzi dzięki materiałom. Tak było zawsze w historii ludzkości. Stąd mieliśmy epokę brązu czy epokę żelaza — zaczyna rozmowę prof. dr hab. Tomasz Dietl. On sam pracuje nad tym, by następna epoka była epoką materiałów topologicznych.

Międzynarodowe Centrum Sprzężenia Magnetyzmu i Nadprzewodnictwa z Materią Topologiczną (częściej nazywane skrótem „MagTop”), kierowane przez prof. Dietla i prof. Tomasza Wojtowicza, finansowane ze środków Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój w ramach programu Międzynarodowe Agendy Badawczej Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, testuje materiały, które mogą zrewolucjonizować przechowywanie danych i m.in. energetykę, a nawet okazać się kluczowe w budowie komputerów kwantowych.

— Geometria mówi nam, jak właściwości brył zależą od ich kształtu, zaś topologia zajmuje się tymi ich cechami, które od kształtu nie zależą — tłumaczy prof. Dietl. — Na przykład obwarzanek ma jeden otwór bez względu na to, czy byłby okrągły, czy kwadratowy.



Prof. dr hab. Tomasz Dietl

Jeden obwarzanek można przekształcić w drugi bez rozrywania ich, zachowując topologię obiektu.

Topologiczna wstęga Möbiusa

Topologiczne właściwości materii mają ogromne znaczenie, szczególnie w nanoskali. W przypadku materiałów, których krawędzie czy powierzchnie są nawet kilkadziesiąt tysięcy razy mniejsze od przekroju ludzkiego włosa, mogą pojawiać się zupełnie nowe stany elektronowe. Dają one takim materiałom nowe właściwości, m.in. w zakresie przewodnictwa prądu, a do tego czynią je odpornymi na zakłócenia elektromagnetyczne. Badania nad zastosowaniem topologii do badań osobliwych stanów materii zostały w 2016 r. uhonorowane Noblem z fizyki.

— Uzyskaliśmy metody otrzymywania tych materiałów na światowym poziomie. Stosujemy również zaawansowane metody pomiarowe i mamy bardzo silną grupę teoretyczną — stwierdza fizyk. W MagTopie pracują specjaliści z 13 krajów.

Topologia struktury ma wielkie znaczenie w materiałach magnetycznych, gdzie kierunek momentów magnetycznych może układać się w kształt wstęgi Möbiusa. Takie układy są o wiele bardziej odporne na zakłócenia od tradycyjnych — w stosowanych dotychczas urządzeniach do magnetycznego zapisu danych gęstość zapisu ograniczona jest przez drgania atomów. Topologiczna wstęga Möbiusa mogłaby pozwolić nawet kilkakrotnie zwiększyć ilość zapisywanych danych. To ważne, biorąc pod uwagę, iż w 2022 r. ludzkość każdego dnia generowała 2,5 mld gigabajtów danych.

Materiały opracowywane przez ośrodek MagTop mogą znaleźć także zupełnie inne zastosowania. Badacze pokładają ogromne

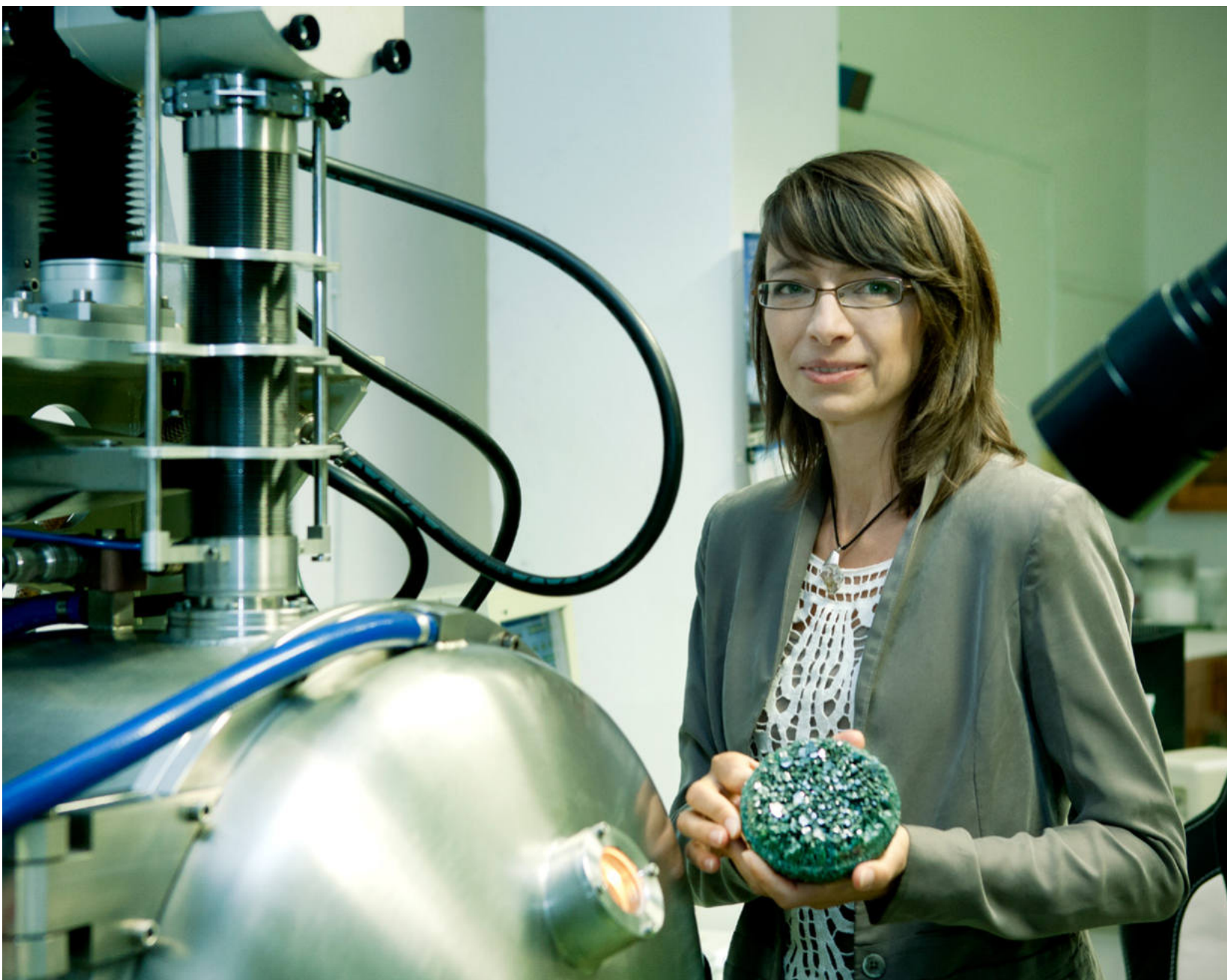
nadzieje w wykorzystaniu ich w energetyce, gdzie mogłyby pozwolić na istotne zwiększenie efektywności stosowanych przez nas urządzeń. — Będziemy się zastanawiali nie tylko, jak wytworzyć energię, ale też jak odzyskać tę straconą. Wydajność silników wynosi 20-30 proc., w najlepszym razie 50 proc. Reszta energii jest tracona w formie ciepła. Odzyskując choćby jej część, można uzyskać ogromne oszczędności — mówi prof. Dietl.

Topologiczne właściwości materii mają ogromne znaczenie, szczególnie w nanoskali. W przypadku materiałów, których krawędzie czy powierzchnie są nawet kilkadziesiąt tysięcy razy mniejsze od przekroju ludzkiego włosa, mogą pojawiać się zupełnie nowe stany elektronowe.

To może mieć ogromne znaczenie w procesie „zielonej transformacji” europejskiej gospodarki, bo obok rozwoju czystych źródeł energii odnawialnej, zwiększanie efektywności energetycznej jest jednym z zasadniczych celów polityki energetycznej Unii Europejskiej, w której łączny koszt energii — według badań BloombergNEF — do 2050 r. wyniesie 5,3 bln euro. To wciąż może jednak nie być najważniejsze zastosowanie opracowywanych przez MagTop materiałów.

Niewykluczone, że to właśnie opracowywane w laboratoriach ośrodka materiały topologiczne umożliwią powstanie pierwszych użytecznych komputerów kwantowych. — Komputer kwantowy, w przeciwieństwie do dziś używanych, działa troszkę jak maszyna analogowa i podobnie jak elektronika analogowa jest podatny na szumy i zakłócenia — stwierdza prof. Dietl. — Nasze materiały, dając tak zwaną ochronę topologiczną, mogą w znacznym stopniu zabezpieczyć urządzenie przed podobnymi zaburzeniami.

Komputery kwantowe, symulując układy milionów atomów, również mogłyby posłużyć do tworzenia nowych materiałów. To zupełnie przekracza możliwości nawet najpotężniejszych współczesnych superkomputerów i daje nadzieję, że projektowane od poziomu pojedynczych atomów materiały przyszłości uzyskiwałyby optymalne właściwości.



Dr hab. Dorota Anna Pawlak

Prof. Dietl podkreśla, że choć w nauce o materiałach sprawdza się zasada, że od pierwszego pomysłu do praktycznego zastosowania mija zazwyczaj 30 lat, to wiele rozwiązań opracowanych przez MagTop już jest wykorzystywanych w praktyce. Ośrodek współpracuje m.in. z firmą PREVAC, tworzącą urządzenia do wytwarzania ultrawysokiej próżni, KRIOSYSTEM zajmującym się zaawansowanymi instalacjami kriogenicznymi czy z VIGO System, światowej klasy producentem detektorów podczerwieni, który zbudował czujniki na potrzeby marsjańskich łazików.

Plazmoneiczne kryształy

Polscy naukowcy już od stulecia są w światowej czołówce badaczy nowych materiałów. Wystarczy wspomnieć, że rewolucyjna metoda otrzymywania monokryształów krzemu, opracowana przez wybitnego chemika prof. Jana Czochralskiego w 1916 r. stała się fundamentem procesu produkcji układów scalonych, a hodowane za jej pomocą kryształy krzemu wchodzą w skład niemal wszystkich urządzeń elektronicznych stosowanych na świecie.

Dr hab. Dorota Anna Pawlak, profesor Uniwersytetu Warszawskiego, kieruje Centrum Doskonałości ENSEMBLE3. Ośrodek, którego pełna nazwa to Centrum Doskonałości dla Nanofotoniki, Zaawansowanych Materiałów i Nowatorskich Technologii Wzrostu Kryształów, finansowany dzięki grantowi 30 mln euro w ramach programu Międzynarodowe Agendy Badawcze FNP (POIR 4.3) oraz programu Teaming for Excellence (Horyzont 2020), skupia się na opracowywaniu nowych materiałów produkowanych przy pomocy metod, które oparte są o koncepcje zawarte w pracach Czochralskiego.

— Działamy przede wszystkim w fotonice, czyli dziedzinie wykorzystującej fotony jako nośnik informacji — wyjaśnia badaczka.
— Tworzymy metamateriały, materiały plazmoneiczne, izolatory to-

pologiczne i realizujemy wiele innych nowych pomysłów. W zasadzie jako pierwsi zaczęliśmy podchodzić do nowych koncepcji materiałów poprzez kontrolowany wzrost kryształów. Nikt wcześniej nie próbował otrzymywać metamateriałów w taki sposób.

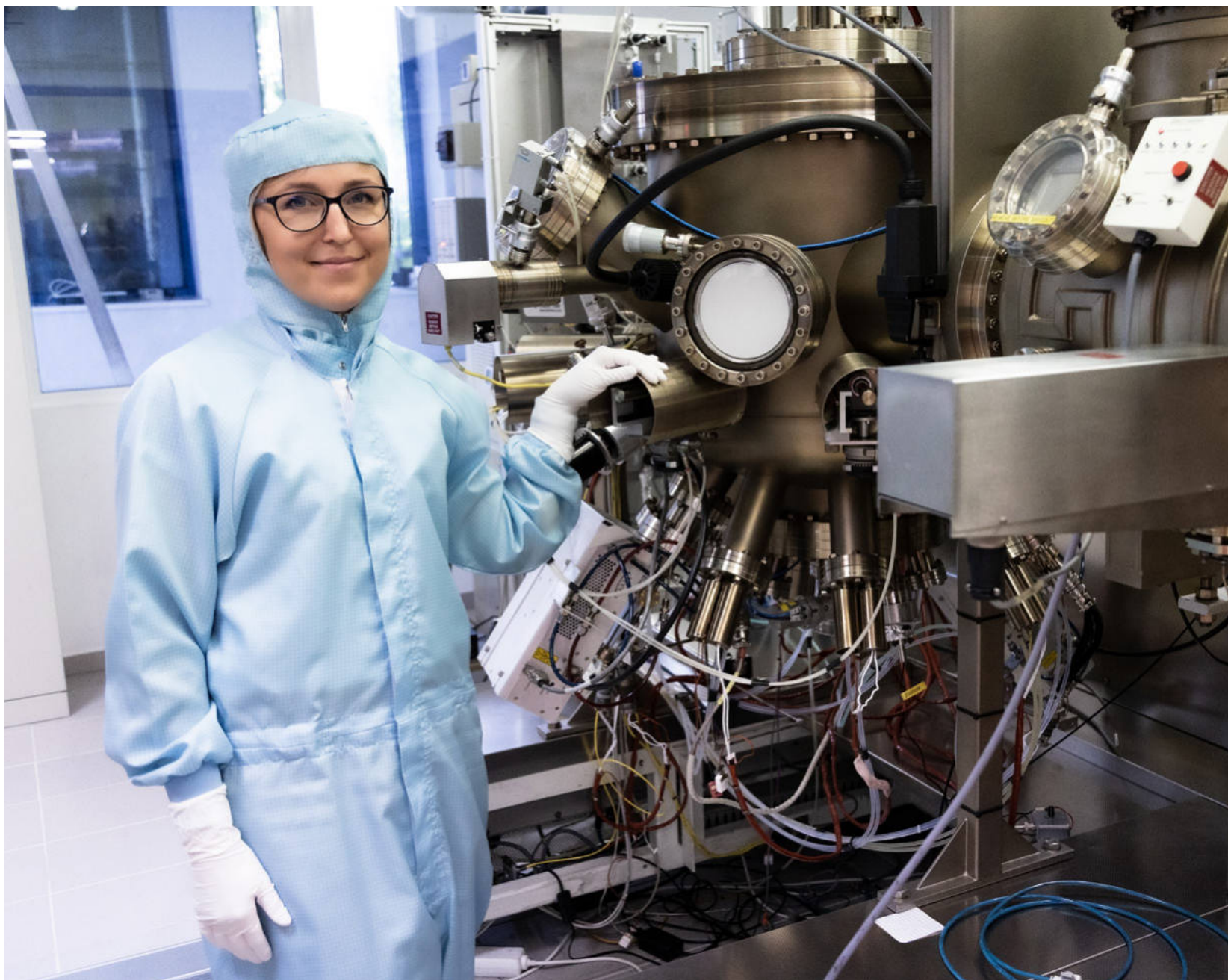
Metamateriały, czyli sztuczne materiały, o których właściwościach decyduje nie tylko skład, ale i struktura, wykazują wiele niezwykłych cech, pozwalających na tworzenie zupełnie nowych rozwiązań optycznych czy fotonicznych. Zespół prof. Pawlak pracuje m.in. nad materiałami, które mogą znaleźć zastosowanie w systemach bezpieczeństwa, telekomunikacji, systemach konwersji energii słonecznej, otrzymywaniu wodoru czy medycynie.

— Stosowane metody wzrostu kryształów są dobrze dopracowane i wykorzystane komercyjnie do otrzymywania materiałów na dużą skalę — podkreśla prof. Pawlak. — Jednocześnie pozwalają w bardzo prosty sposób zmienić właściwości kryształu poprzez niewielką zmianę jego składu, na przykład stosując domieszkowanie, czyli dodanie w procesie niewielkiej ilości wybranego pierwiastka. Używając tego samego materiału, ale z inną domieszką, możemy całkowicie zmienić jego właściwości, a tym samym diametralnie zmienić jego zastosowanie.

Pozwala to na tworzenie różnych ciekawych materiałów o szczególnych właściwościach, np. takich, które w sposób bardziej efektywny od istniejących dziś, przetwarzają promieniowanie słoneczne padające na ogniwa fotowoltaiczne zwiększając ich wydajność. Podobnych, potencjalnych zastosowań jest wiele, od szybkich i bezpiecznych systemów łączności po obrazowanie medyczne.

— Do otrzymywania tego typu materiałów wykorzystaliśmy znany od dawna w metalurgii efekt tworzenia struktur eutektycz-

Używając tego samego materiału, ale z inną domieszką, możemy całkowicie zmienić jego właściwości, a tym samym diametralnie zmienić jego zastosowanie.



Dr inż. Marta Sawicka

nych, gdzie słowo „eutektyk” z greckiego oznacza niskotopliwy — opowiada prof. Pawlak. — Powstające w trakcie takiej przemiany materiały, dzięki zjawisku samoorganizacji, pozwalają na uzyskanie tworzyw o różnej strukturze w skali mikro- i nano-, gdzie każda z faz jest małym monokryształem. W ten sposób możemy otrzymywać materiały warstwowe, włókniste, a nawet w kształcie na przykład serc. Stąd, gdy do piękna monokryształów dodamy piękno otrzymywanych mikro- i nanostruktur, czujemy się nie tylko jak naukowcy, ale też jak artyści.

Materiały eutektyczne są otrzymywane komercyjnie w dużych ilościach. Wykorzystywane są w różnego rodzaju stalach, gdzie zapewniają im właściwości mechaniczne, są używane jako środki ściernie, znajdują się nawet w czekoladzie. Dopiero zespół prof. Pawlak zaproponował badania tych tworzyw w kierunku zastosowań w metamateriałach, materiałach plazmowych, materiałach topologicznych czy do otrzymywania wodoru. — Dajcie nam zastosowanie, a zrobimy dla was materiał — podsumowuje prof. Pawlak.

Grubi żołnierze, chudzi żołnierze

Także dr inż. Marta Sawicka zajmuje się optycznymi zastosowaniami nowych materiałów. Badaczka z Instytutu Wysokich Ciśnień PAN w Warszawie, laureatka programu POWROTY FNP (POIR 4.4), realizowanego dzięki Funduszom Europejskim, pracuje nad materiałami, które stanowią podstawę konstrukcji źródeł światła laserowego z zakresu widzialnego.

Oparte na azotku galu (GaN) lasery i diody wykazują wyjątkowe właściwości optyczne. Służą do tworzenia zaawansowanych czujników, systemów zapisu danych, telekomunikacji światłowodowej, a nawet znajdują zastosowania w dermatologii czy systemach oświetlenia. Według szacunków think-tanku Fortune Business Insights już w 2027 r. rynek oparty na tej technologii urządzeń ma być wart globalnie 28,4 mld dol.

— Laser możemy sobie wyobrazić, jako kanapkę składającą się z warstw o różnym składzie chemicznym — tłumaczy badaczka. Najważniejszy jest środek, gdzie generowane jest światło, ale bez odpowiednich okładek nie uda się uzyskać akcji laserowej. Najczęściej „chlebem” w takiej kanapce laserowej są obecnie warstwy AlGaIn, składające się z atomów glinu, galu i azotu. Wiadomo jednak, że znacznie lepszym materiałem na okładki laserów mógłby być inny kryształ – InAlN, w którym zamiast atomów galu lokowane są atomy indu. Ponieważ ind ma niższy współczynnik załamania światła od galu, ten nowy kryształ będzie „mocniej trzymał” światło w środku naszej kanapki. Jak dotąd uzyskanie wysokiej jakości InAlN było niezwykle trudne.

— Patrząc na strukturę laserową pod mikroskopem elektronowym możemy zobaczyć, że w poszczególnych warstwach występują różne odległości między atomami. Decyduje o tym procentowa zawartość galu, indu i glinu w kryształach. Atomy w kryształach można porównać do żołnierzy stojących w szeregach. Jedni, jak atom indu, są grubszy, a inni, jak glin, chudsi — opisuje dr Sawicka. — Jeśli udałoby się ich równo wymieszać, to średnie odległości między nimi będą takie same jak w kryształach GaN, na czym nam zależy. Okazuje się bowiem, że gdy za dużo jest „chudych żołnierzy”, to materiał pęka, a jeśli zbyt wielu jest „grubych”, tworzą się defekty.

Stworzenie w sposób optyczny kryształu InAlN o dobrych optycznych właściwościach było jednak do tej pory bardzo trudne, bo wchodzące w jego skład pierwiastki mają zupełnie inne „preferencje” łączenia się w zadanej strukturze. — Atomy glinu wiążą się łatwo, a indu bardzo niechętnie. To prowadzi do tworzenia niejednorodnej struktury. Okazało się, że ci „chudzi” wolą pozostawać w grupkach otaczanych przez grubych. To sprawia, że struktura nie jest tak idealna, jak byśmy chcieli — tłumaczy dr Sawicka. — Próbuje się jednak różnych metod, aby kontrolować uporządkowanie atomów w wytwarzanych przez nas kryształach.



Dr hab. Bartłomiej Graczykowski

— Równolegle zdecydowaliśmy też rozwijać inny pomysł, a mianowicie chcemy stosować porowate okładki w naszych laserach. Tego typu rozwiązanie ma teoretycznie jeszcze więcej zalet, dlatego wierzymy, że warto iść w tym kierunku. Udało nam się pierwszy taki laser wytworzyć. Teraz przed nami znalezienie odpowiedzi na pytanie, czy porowaty GaN może być lepszym „chlebem” w kanapce laserowej niż AlGaIn czy InAlN — mówi dr Sawicka.

Ciepłe diody

Dr hab. Bartłomiej Graczykowski z Wydziału Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, laureat programów HOMING i FIRST TEAM Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, realizowanych dzięki środkom z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój, pracuje z kolei nad nanostrukturami, które pozwalają ściśle kontrolować przepływ dźwięku i ciepła. Mogą one posłużyć m.in. do bezpośredniej zamiany ciepła w prąd albo do przesyłania sygnałów wysokiej częstotliwości, co wspomogłoby transfer danych za pomocą technologii 5G.

— Mówimy o materiałach, które mają grubość, długość, bądź średnicę w zakresie nanometrów. To tylko troszkę wyżej niż poziom molekularny — wyjaśnia. W takich materiałach bardzo uwidaczniają się wszelkie właściwości powierzchniowe materiałów i pojawiają się w związku z tym zupełnie nowe właściwości fizyczne. Jednym z takich materiałów jest słynny grafen, zbudowany z dwuwymiarowej warstwy atomów węgla o grubości jednego atomu. Podobnych grafenowi materiałów odkryto już setki.

— My koncentrujemy się na spektroskopii laserowej, czyli badaniu, w jaki sposób światło oddziałuje z materią — wyjaśnia fizyk. Jego zespół opracował materiały do stworzenia diody ciepłej, która podczas przetwarzania informacji ma wykorzystywać ciepło, a nie ładunki elektryczne. Podobne diody mogłyby posłużyć do

konstrukcji prostych czujników, np. pomagających kontrolować stan żywności na sklepowych półkach. — W handlu żywnością często zdarza się, że nie jest ona transportowana we właściwej temperaturze. Prosty czujnik pokazywałby, czy dana temperatura została przekroczona choćby raz i na przykład przebarwiał opakowanie — mówi naukowiec. Podobne urządzenia mogłyby także stanowić podstawę do konstrukcji m.in. naklejanych na skórę w formie plastra termometrów.

Diody ciepłe to jednak niejedyny zastosowania, jakie dr Graczykowski widzi dla opracowywanych przez siebie materiałów. Pod-

czas stażu w Instytucie Maxa Plancka zainteresowały go właściwości polidopaminy, naturalnego polimeru wytwarzanego m.in. przez małże. Zwierzęta wykorzystują go jako klej, który pozwala im przytwierdzić się do powierzchni skał. Polidopamina ma jednak także wiele innych ciekawych właściwości. Bardzo dobrze absorbuje światło, wchłania duże ilości wody, a po oświetleniu zaczyna się zauważalnie kurczyć, uwalniając wodę do

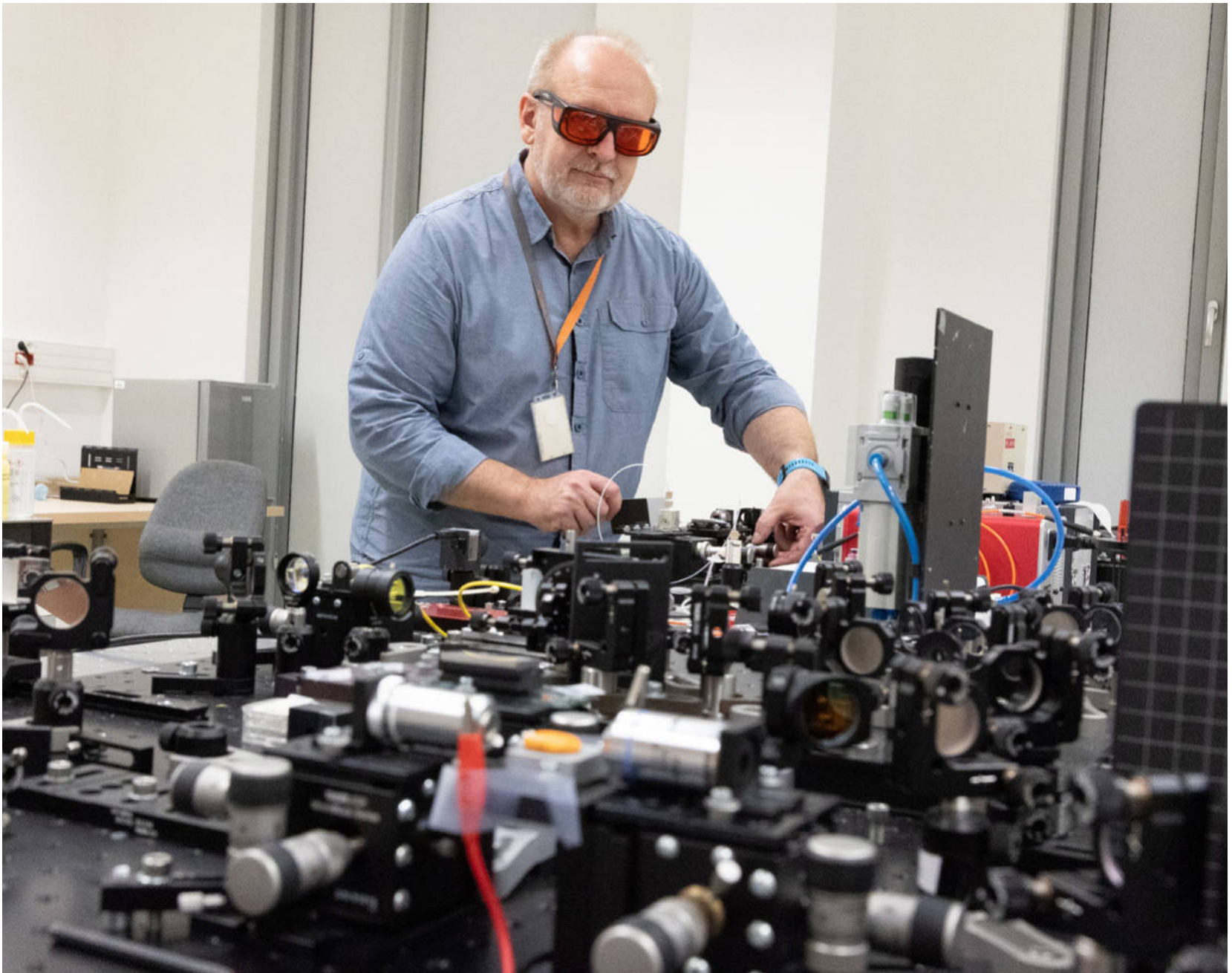
otoczenia. Oparte na niej materiały mogłyby znaleźć zastosowanie w branży tekstylnej czy w systemach precyzyjnie kontrolujących warunki środowiskowe w pomieszczeniach.

— Fakt, że dzięki polidopaminie jesteśmy w stanie przetworzyć światło na ruch, sprawia, że można ją wykorzystać do budowy zdalnie sterowanych mikromanipulatorów, zasilanych i działających z krótkimi czasami reakcji, bo już w ciągu milisekund — tłumaczy dr Graczykowski.

Nanodiamenty zajrzą w głąb komórek

— Nasze projekty są bardzo interdyscyplinarne. Łączymy wiedzę z odległych dziedzin, między innymi inżynierii materiałowej, fizyki atomów, magnetoptyki, biologii czy fotoniki — podkreśla

Zespół prof. Graczykowskiego opracował materiały do stworzenia diody ciepłej, która podczas przetwarzania informacji ma wykorzystywać ciepło, a nie ładunki elektryczne.



Prof. Ryszard Buczyński

prof. Ryszard Buczyński z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Konsorcjum, w ramach którego pracuje, otrzymało z Funduszy Europejskich w ramach programu TEAM-NET (POIR) finansowanie w wysokości ponad 18,5 mln zł. na badania nad wytwarzaniem i praktycznym zastosowaniem nanodiamentów. Liczące kilka nanometrów węglowe struktury mają bowiem właściwości, które potencjalnie pozwalają wykorzystać je do bezprecedensowo precyzyjnych pomiarów, ważnych np. w medycynie, a także do zwielokrotnienia przepustowości światłowodów, na których opiera się cała globalna telekomunikacja.

— Fizycy od wielu lat prowadzą badania nad tak zwanymi zimnymi atomami i ich właściwościami kwantowymi. To badania wymagające stworzenia warunków temperaturowych bliskich absolutnego zera, skomplikowanej aparatury i wielkich nakładów finansowych — mówi prof. Buczyński. — Okazuje się jednak, że nanodiament wykazuje wiele właściwości bardzo podobnych do zimnych atomów. Pozwalają one więc na wykorzystanie efektów kwantowych przy pomocy czegoś, co możemy wyprodukować, a następnie stosować w temperaturze pokojowej.

Konsorcjum, którego liderem jest Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, jasno wyznacza sobie cele. Jednym z nich jest m.in. opracowanie technologii wytwarzania nanodiamentów o specyficznych właściwościach — za to odpowiada grupa prof. Bogdanowicza z Politechniki Gdańskiej. Tak wyprodukowane nanodiamenty w postaci proszku mają być następnie stosowane do badania bardzo słabych pól magnetycznych, do modyfikowania właściwości szkła oraz do wytwarzania czujników biomedycznych.

Oparte na nanodiamentach czujniki pozwolą wykrywać pojedyncze obiekty biologiczne (wirusy lub białka). Mogą też mierzyć temperaturę wewnątrz pojedynczych komórek, pozwalając śledzić zachodzące w nich procesy. Wreszcie mogą też wykrywać pola magnetyczne generowane przez pojedyncze żywe komórki czy też znakowane magnetycznie molekuly leków.

— Nanodiamenty tworzą niezwykle czułe układy, oparte na spinowym momencie magnetycznym. Co to znaczy czuły? Będziemy w stanie wykrywać pojedyncze cząsteczki białek — wyjaśnia prof. Buczyński. Oparte na nanodiamentach czujniki pozwolą wykrywać pojedyncze obiekty biologiczne (wirusy lub białka). Mogą też mierzyć temperaturę wewnątrz pojedynczych komórek, pozwalając śledzić zachodzące w nich procesy. Wreszcie mogą też wykrywać pola magnetyczne generowane przez pojedyncze żywe komórki czy też znakowane magnetycznie molekuly leków.

Prof. Buczyński jest jednak najbardziej zainteresowany potencjalnym zastosowaniem diamentów w telekomunikacji. Właściwości szkła stosowanego dziś do produkcji światłowodów sprawiają, że trzeba w nich stosować źródła światła o ograniczonej mocy ze względu na tzw. pasożytnicze zjawiska nieliniowe. To z kolei ogranicza ilość danych, jaką możemy jednocześnie przesyłać za pomocą jednego włókna. Warszawska grupa sprawdza, czy domieszka nanodiamentów może pozwolić na stworzenie szkła o korzystniejszych właściwościach, co by pozwoliło na przesyłanie zdecydowanie większej ilości danych. Przy błyskawicznym rozwoju

Internetu i lawinowym wzroście ilości danych, które przesyłane są przez istniejące łącza, to potencjalnie bezcenne.

Stal inna, niż dotąd

Nie wszystkie tworzywa przyszłości są wymyślane od zera. Jednym z najważniejszych celów badań centrum NOMATEN, kierowanego przez prof. Mikko Alawę, jest stworzenie nowych wersji znanych już materiałów, ale obdarzonych niespotykanymi dotąd właściwościami. — Mamy zespół liczący około 25 ludzi i pracujemy zarówno nad



Prof. Mikko Alava

eksperymentami, jak i symulacjami nowych materiałów, takich jak nowe stopy, szkła metaliczne — wyjaśnia profesor.

Centrum NOMATEN zostało utworzone dzięki środkom europejskim z programu Teaming of Excellence i Międzynarodowe Agendy Badawcze FNP (POIR). Ośrodek, oparty na współpracy polskiego Narodowego Centrum Badań Jądrowych, fińskiego ośrodka badawczego Teknologian tutkimuskeskus VTT i francuskiej organizacji badawczej CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) ma skupić się na tworzeniu innowacyjnych i wielofunkcyjnych materiałów, zwłaszcza takich, które będą wykazywać odporność na ekstremalnie wysokie temperatury, korozję i promieniowanie.

— Z jednej strony już mamy materiały strukturalne do stosowania w wysokich temperaturach czy reaktorach jądrowych. Teraz musimy być pewni, że będą one w stanie wytrzymać ekstremalne warunki przez długi czas — wyjaśnia badacz. — Z drugiej strony mamy materiały na potrzeby przemysłu chemicznego, które muszą wytrzymać działalność czynników chemicznych, ciśnień i temperatur. Problemem jest to, że często trudno jest połączyć takie właściwości w jednym materiale, który będzie wytrzymały, odporny na pęknięcia, odporny chemicznie i jednocześnie dobrze znieśie wysokie temperatury.


Centrum NOMATEN bierze już udział w dużym, europejskim projekcie, mającym na celu opracowanie materiałów, które mogłyby stanowić podstawę konstrukcji reaktorów jądrowych nowych generacji. Unia Europejska uznała budowę takich reaktorów za jeden ze swoich priorytetów. Stworzenie materiałów o właściwościach pozwalających im dobrze znosić warunki panujące we wnętrzu czynnego reaktora jest jednak zadaniem bardzo trudnym.

Centrum NOMATEN bierze już udział w dużym, europejskim projekcie, mającym na celu opracowanie materiałów, które mogłyby stanowić podstawę konstrukcji reaktorów jądrowych nowych generacji.

— W laboratorium jesteśmy w stanie opracować materiały o znakomitych właściwościach, natomiast nierzadko prawdziwym wyzwaniem jest przełożenie tej wiedzy na produkcję w wielkiej skali — mówi prof. Alava. Z tego powodu naukowcy, którzy pracują nad materiałami, tak często zajmują się powłokami. Łatwiej jest pokryć coś cienką warstwą materiału niż stworzyć cały element z zaawansowanego tworzywa.

Konsorcja takie jak to, w ramach którego NOMATEN pracuje nad technologiami na rzecz przemysłu jądrowego, umożliwiają nie tylko opracowywanie nowych materiałów. Oprócz ośrodków naukowych są w nie zaangażowane także firmy, w tym polskie, które mogą szybko zacząć pracować nad wdrożeniem nowych materiałów do produkcji.

Nowoczesne materiały opracowywane w polskich laboratoriach dzięki błyskotliwości uczonych wspieranych grantami ze środków Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój, koordynowanych w Polsce między innymi przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej, mogą wpłynąć na wiele dziedzin naszego życia. Od wielkich, inżynierskich konstrukcji po niemal niedostrzegalne czujniki dbające o nasze zdrowie. Pewne jest, że świat przyszłości będzie korzystał z zupełnie innych materiałów niż dzisiejszy.

The background features a light blue and white color scheme with numerous water droplets of various sizes scattered across the surface. A vertical red line is positioned to the left of the main text. The background is divided into several colored rectangular sections: a light blue square in the top right, a light blue square in the bottom right, and a light brown square in the bottom left.

Diagnostyka medyczna i innowacje medyczne

Zrozumieć, zdiagnozować, wyleczyć. Badania polskich uczonych rozwijają medycynę

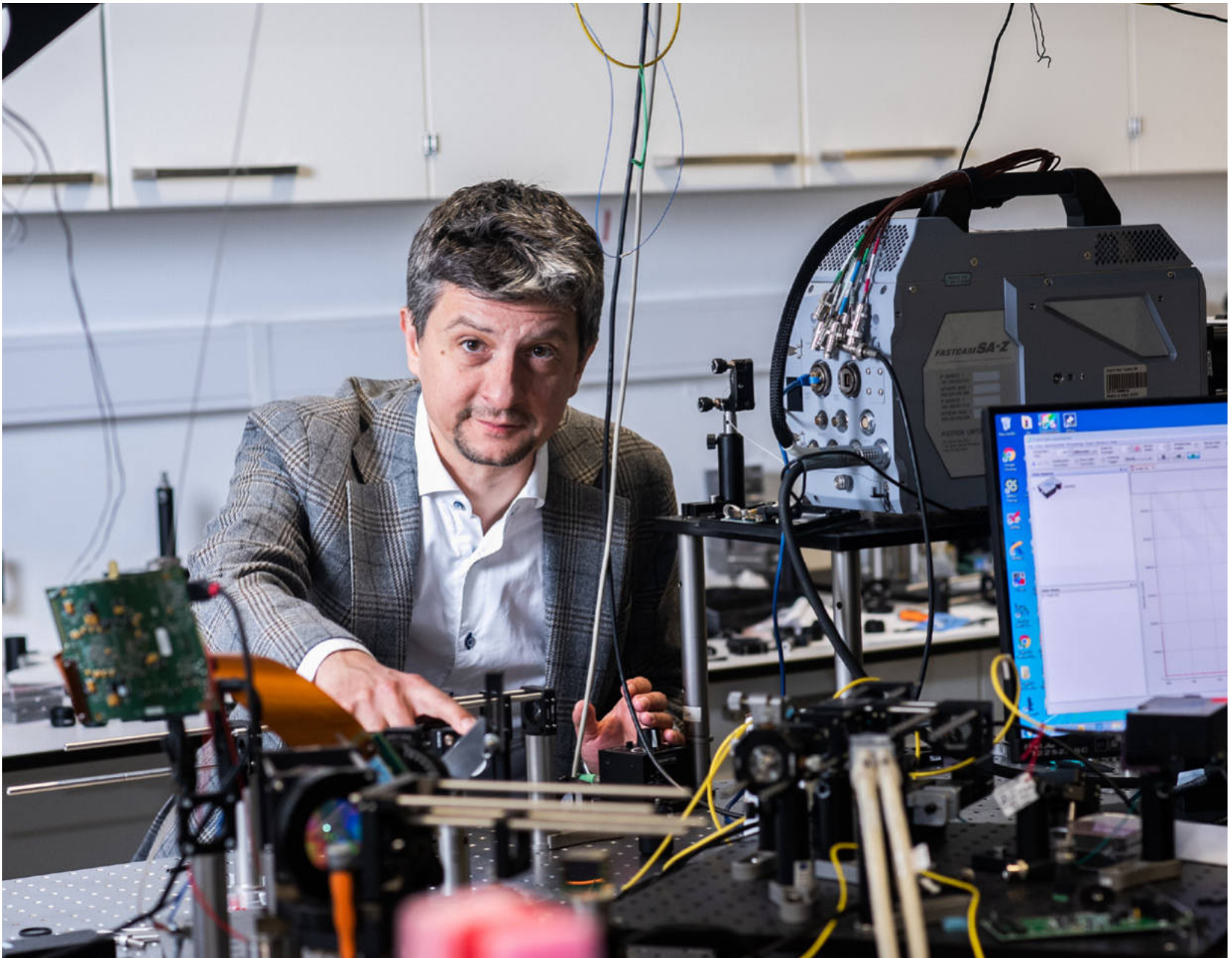
Od supernowoczesnych terapii wzroku, przez rozpracowywanie procesów stojących za rozwojem zarówno najpowszechniejszych, jak i najrzadszych schorzeń, aż po nowatorskie techniki, które umożliwiają walkę z chorobami przy pomocy rozwiązań wypracowanych przez samą naturę. To tylko część rezultatów badań z zakresu nauk medycznych finansowanych z Funduszy Europejskich przy współudziale FNP.

2,2 mld ludzi, jedna czwarta populacji Ziemi — tyle osób, według danych Światowej Organizacji Zdrowia, zapada na całym świecie na schorzenia oczu, powodujące ograniczenie lub całkowitą utratę wzroku. Tylko w Polsce zaćma, najpowszechniejsza na świecie przyczyna ślepoty, dotyka 800 tys. ludzi. Z danych NFZ wynika, że w samym tylko 2020 r. zdiagnozowano ponad 130 tys. jej nowych przypadków.

Choroby wzroku są powszechne, mimo że niewiele dziedzin medycyny ma tradycje tak długie, jak okulistyka czy chirurgia oka. Skuteczna walka ze schorzeniami wzroku pozostaje dużym wyzwaniem dla lekarzy i naukowców. — Chirurgia oka jest znana od kilku tysięcy lat — podkreśla prof. Maciej Wojtkowski z Instytutu Chemii

Fizycznej Polskiej Akademii Nauk. — Pierwsze znane zabiegi chirurgiczne to trepanacja czaszki i właśnie leczenie zaćmy, zazwyczaj przy pomocy ostrego przedmiotu, na przykład igły.

Paradoksalnie jednak, mimo bardzo długiej historii chirurgii oka, wiele stosowanych dziś technik opiera się na tych samych zasadach, co ich starożytne pierwowzory. Operowanie narządu tak delikatnego i tak małego, jak gałka oczna wymaga od lekarza ogromnej koncentracji i precyzji. Mimo to i tak wiąże się z wysokim zagrożeniem wystąpienia komplikacji po zabiegu i wciąż daje ograniczone rezultaty terapeutyczne. Przykładem takich operacji mogą być zabiegi usuwania błony przedsiatkówkowej czy witrektomia.



Prof. Maciej Wojtkowski

Wszechstronne podejście

Międzynarodowe Centrum Badań Oka (MCBO) ma pomóc w pokonywaniu wyzwań, jakie stoją przed okulistami. Powstanie ośrodka, utworzonego przez prof. Macieja Wojtkowskiego i prof. Krzysztofa Palczewskiego, było możliwe dzięki wynoszącemu niemal 35 mln zł finansowaniu pochodzącemu z Funduszy Europejskich z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój (POIR). Środki te zostały przyznane w ramach programu Międzynarodowe Agendy Badawcze, który realizowała Fundacja na rzecz Nauki Polskiej. MCBO to jeden z 14 ośrodków, które powstały w Polsce dzięki programowi MAB. W jednym miejscu gromadzi on uczonych z wielu dziedzin, od biochemii po robotykę, by dzięki ich współpracy opracować techniki pozwalające na skuteczne i tanie ratowanie oraz odtwarzanie ludzkiego wzroku.

— Skumulowana w ostatnich latach ogromna wiedza z biochemii i medycyny umożliwia globalne leczenie oka — wyjaśnia prof. Wojtkowski. — Poczynając od wiedzy o tym, w jaki sposób w oku działają konkretne białka, przez rozwój technik robotycznych pozwalających na bardzo precyzyjne działania w gałce ocznej, aż po terapie regeneracyjne czy genowe umożliwiające leczenie chorób genetycznych.

Mimo że ośrodek powstał niedawno — jego prace formalnie ruszyły 1 lipca 2019 r. — może się już pochwalić sukcesami. Skupieni w ośrodku badacze stworzyli dwie nowe techniki obrazowania, pozwalające lekarzom precyzyjnie wyszukiwać w strukturze oka sygnały świadczące o stanach patologicznych.

Pierwsza z nich to obrazowanie siatkówki ze wzbudzeniem dwufotonowym. Technika ta pozwala na weryfikację czy cząsteczki chemiczne biorące udział w procesie widzenia funkcjonują prawi-

Skumulowana w ostatnich latach ogromna wiedza z biochemii i medycyny umożliwia globalne leczenie oka. Poczynając od wiedzy o tym, w jaki sposób w oku działają konkretne białka, przez rozwój technik robotycznych, aż po terapie regeneracyjne czy genowe, umożliwiające leczenie chorób genetycznych.

łowo. — Specyficzne dla tych molekuł jest to, że można pobudzić je do świecenia przy pomocy bardzo krótkich fal ultrafioletowych — wyjaśnia badacz. Tu jednak pojawia się problem, bo tego rodzaju promieniowanie mogłoby zniszczyć przednie warstwy oka. Naukowcy musieli więc posłużyć się technicznym trikiem. — Jeśli oświetlimy te molekuly światłem podczerwonym, ale o wystarczająco krótkim impulsie, możemy sprawić, że będą „myślały”, że są oświetlane promieniowaniem ultrafioletowym.

W tym celu współpracująca z MCBO grupa dr hab. inż. Grzegorza Sobonia z Politechniki Wrocławskiej opracowała specjalny, przenośny laser zaprojektowany do prowadzenia badań siatkówki. Wdrożenie tego systemu pozwalałoby lekarzom badać sprawność receptorów wzrokowych w zasadzie na poziomie pojedynczych cząsteczek chemicznych.

Druga technika opracowana przez badaczy MCBO pozwala na analizę, czy poszczególne receptory reagują na światło dzięki wykorzystaniu niezwyklej właściwości tych komórek. — Zaobserwowano jakiś czas temu, że światłoczułe komórki w oku reagują na światło poruszając się - mówi prof. Wojtkowski. — Zmieniają swój kształt, wydłużają się lub skracają. Jeśli będziemy w stanie zmierzyć te zmiany, będziemy w stanie sprawdzić, czy dany receptor reaguje na światło, czyli po prostu czy działa.

To jednak wymaga zdumiewającej precyzji urządzeń stosowanych do pomiarów. Zmiany kształtu komórek są niezwykle subtelne, zazwyczaj mierzy się je w nanometrach, czyli milionowych częściach milimetra. Cały pomiar przeprowadzany jest jednak w żyjącym oku, które bez przerwy drga i wykonuje mniej czy bardziej gwałtowne ruchy. Badacze musieli więc opracować metodę, która bierze poprawkę na ruchy „makro” i analizuje precyzyjnie jedynie samą



Prof. dr hab. Agnieszka Błachnio-Zabielska

reakcję receptorów na promieniowanie. — Pokazaliśmy, że jesteśmy to w stanie zrobić i zmierzyć reakcję tych komórek na światło — stwierdza z dumą uczony. — To może być znakomita metoda pozwalająca zastąpić wykorzystywane dziś, ale niezbyt lubiane przez lekarzy, techniki diagnostyczne.

Nowe metody diagnostyczne stają się coraz ważniejsze, bo wraz ze starzeniem się społeczeństwa wzrasta liczba pacjentów, u których diagnozowane są choroby wzroku. Jedną z głównych przyczyn jego utraty czy pogorszenia się, pozostaje cukrzyca. Retinopatia cukrzycowa pozostaje najpowszechniejszą przyczyną utraty wzroku i w różnym stopniu dotyka około jednej trzeciej wszystkich diabetyków, a zaburzenia w przyswajaniu glukozy prowadzą do zaćmy czy jaskry wtórnej.

Co przeszkadza insulinie

Prof. dr hab. Agnieszka Błachnio-Zabielska z Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku prowadzi badania nad procesami, które mogą prowadzić do rozwoju cukrzycy. Badaczka otrzymała grant w ramach programu TEAM finansowanego ze środków Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój, a realizowanego przez FNP. Bada mechanizmy powstawania insulinooporności mięśni, która może stanowić wstęp do pełnej cukrzycy.

Insulinooporność to stan, w którym tkanki przestają prawidłowo reagować na insulinę. W przypadku mięśni szkieletowych, dotknięte insulinoopornością komórki przestają w sposób efektywny „pobierać” glukozę, choć powinna ona stanowić ich podstawowe źródło energii. — Mięśnie szkieletowe to tkanka, która intensywnie pracuje i potrzebuje dużej ilości energii — wyjaśnia prof. Błachnio-Zabielska. — W warunkach fizjologicznych, mięśnie szybko wychwytyują nadmiar glukozy z krwi dzięki działaniu glu-

koporterów, czyli białek ułatwiających jej przenoszenie do komórek. Ich działanie jest zazwyczaj stymulowane przez insulinę. Czasami jednak różne czynniki, na przykład akumulacja aktywnych biologicznie lipidów, blokuje działanie szlaku insulinowego i sprawia, że cały mechanizm działa zdecydowanie gorzej.

„Naszym celem jest odkrycie krytycznych punktów szlaku insulinowego, gdzie akumulacja konkretnych lipidów osłabia jego działanie. Chcemy też znaleźć biomarkery, które można wykorzystać do wczesnej diagnozy insulinooporności”.

Dokładny mechanizm odpowiadający za spadek aktywności pobierania glukozy nie jest dobrze znany. Wiemy, że mięśnie wychwytyują wolne kwasy tłuszczowe obecne w osoczu, a następnie wykorzystują je do syntezy lipidów. Wiele obecnych w komórkach lipidów pozostaje pasywna. Stanowią zapas energetyczny i nie wpływają bezpośrednio na funkcjonowanie organizmu. Część lipidów odgrywa również istotną rolę w funkcjonowaniu komórek. Działają m.in. jako przekaźniki sygnałów wewnątrzkomórkowych. W niektórych przypadkach ich nadmiar prowadzi jednak do zaburzeń prawidłowego funkcjonowania biologicznej maszyny. W tym przypadku do zaburzenia procesów mających na celu „wchłanianie” przez komórki glukozy.

Nie wiemy, które konkretnie lipidy odpowiadają za to zjawisko ani w jaki sposób przebiega sam proces. Badania prowadzone przez zespół białostockiego Uniwersytetu Medycznego mają ustalić ten mechanizm. — Naszym celem jest odkrycie krytycznych punktów szlaku insulinowego, gdzie akumulacja konkretnych lipidów osłabia jego działanie — tłumaczy badaczka. — Chcemy też znaleźć biomarkery, które można wykorzystać do wczesnej diagnozy insulinooporności.

Jednym ze sposobów na rozpracowanie tego mechanizmu jest „wyciszanie” genów odpowiedzialnych za syntezę różnych grup lipidów w mięśniach zwierząt. Usuwając poszczególne lipidy z komórek zwierząt i wywołując u nich insulinooporność, naukowcy



Prof. dr hab. Bożena Kamińska-Kaczmarek

chcą ustalić, które z tych genów są najsilniej powiązane z rozwojem tego zaburzenia. — Z naszych badań wynika, że główną rolę odgrywają ceramidy, a konkretnie ceramid zawierający w swojej strukturze kwas stearynowy — wyjaśnia profesor Błachnio-Zabielska.

— To bardzo ważna informacja, bo na jej podstawie możemy szukać środków terapeutycznych, hamując działanie enzymów uczestniczących w jego syntezie albo ograniczając ich ekspresję. Profesor podkreśla jednak, że to badania podstawowe, czyli takie, które pozwalają zrozumieć fundamenty zjawiska. Droga do opracowania potencjalnych terapii pozostaje długa.

Osobiste podejście do nowotworów

Prof. dr hab. Bożena Kamińska-Kaczmarek z Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN w Warszawie dąży do stworzenia rozwiązań pozwalających szybko i precyzyjnie diagnozować nowotwory mózgu. Badaczka, której projekt został sfinansowany z Funduszy Europejskich ze środków POIR w ramach programu TEAM-TECH Core Facility koordynowanego przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej, chce opracować platformę pozwalającą na kompleksową diagnostykę i stworzenie spersonalizowanych terapii schorzeń nowotworowych.

Platforma oparta na technikach sekwencjonowania genów nowej generacji (NGS), modelach komputerowych i specjalnie opracowanych algorytmach ma umożliwić szybkie sprawdzenie setek, czy tysięcy genów w próbce guza. Taka analiza może pozwolić nie tylko ocenić stopień złośliwości danego nowotworu czy przewidywać jego reakcję na terapię, ale też projektować proces leczenia pacjenta, tak by zmaksymalizować skuteczność terapii i zminimalizować jej skutki uboczne.

To dałoby o wiele większe szanse na skuteczne leczenie chorych na nowotwory mózgu. Dziś polski pacjent, u którego zdiagnozowany

zostaje złośliwy glijak, statystycznie żyje zaledwie 15 miesięcy i to pomimo interwencji chirurgicznych i agresywnej chemioterapii. Zastosowanie najnowocześniejszych narzędzi diagnostyki genetycznej daje szansę na zdecydowaną poprawę tych wyników, zwłaszcza w przypadku najmłodszych pacjentów. Jednym z celów projektu było stworzenie modeli komórkowych dziecięcych guzów, których specyfika nie jest jeszcze dobrze rozpoznana przez lekarzy.

Opracowywana przez prof. Kamińską-Kaczmarek platforma ma szansę na szybkie wdrożenie dzięki temu, że przy jej tworzeniu naukowcy ściśle współpracują z Instytutem Centrum Zdrowia Dziecka w Warszawie oraz Polskim Konsorcjum Leczenia Glijaków. To właśnie glijaki stanowią przedmiot innego, realizowanego przez prof. Kamińską-Kaczmarek, projektu badawczego. Praca, uhonorowana Nagrodą FNP 2021 w obszarze nauk o życiu i Ziemi, miała wykazać, w jaki sposób glijak „porywa” nasz własny układ odpornościowy i wykorzystuje go na własne potrzeby.

Badaczka wykazała, że nowotwór produkuje sygnały, które wpływają na znajdujące się w mózgu komórki tzw. mikrogleju, gromadzące się w guzie i zamiast zwalczać go, wspierają jego rozwój oraz ułatwiają tworzenie przerzutów. Prof. Kamińska-Kaczmarek udowodniła, że pod wpływem działania nowotworu mikroglej produkuje enzymy rozcinające „rusztowanie” łączące komórki, tzw. macierz międzykomórkową. To ułatwia komórkom nowotworowym przenoszenie się i rozprzestrzenianie wewnątrz tkanek mózgu. W guzie gromadzą się też inne komórki, makrofagi, które uniemożliwiają prawidłowe działanie układu odpornościowego.

Odkrycia polskiej badaczki pozwoliły już na opracowanie nowych, zaawansowanych terapii glijaka. Badania nad biologią mikrogleju mogą jednak mieć znaczenie dużo szersze niż zwalczanie najpowszechniejszego i najbardziej niebezpiecznego nowotworu mózgu. Mikroglej odgrywa bowiem rolę w chorobie Alzheimera i innych zaburzeniach neurologicznych. Jeśli dobrze zrozumiemy jego bio-



Prof. Wojciech Młynarski

logię, mamy szansę na skuteczną walkę także z tymi chorobami. Obecnie na Alzheimera choruje 2 proc. populacji w wieku 65-69 lat i aż 40 proc. 90-latków.

Zagłębienie w głąb mózgu

Sama choroba Alzheimera i procesy jej towarzyszące wciąż stanowią zagadkę dla uczonych. Trudno ustalić przyczyny szybkiej utraty pamięci dotyczącej wielu pacjentów, zwłaszcza że procesy odpowiadające za działanie naszej pamięci wciąż pozostają w ogromnym stopniu nieznane.

— Wiemy, które struktury są ważne dla pamięci, ale nie ma jednego miejsca, co do którego mielibyśmy przeświadczenie, że to właśnie tam pamięć jest zlokalizowana — wyjaśnia dr Michał Kucewicz pracujący na Politechnice Gdańskiej oraz na Wydziale Fizjologii i Inżynierii Biomedycznej Mayo Clinic w amerykańskim Rochester. — Prawie wszystkie części mózgu są w jakimś stopniu związane z tworzeniem wspomnień. Inne części mózgu odpowiadają na przykład za zapamiętywanie ruchu a zupełnie inne za wspomnienia dźwiękowe. Znalezienie jednego obszaru mózgu, który odpowiada za wszystkie funkcje pamięci, jest największym i nieco utopijnym wyzwaniem neuronauki.

Wiadomo, że istnieją krytyczne węzły, których uszkodzenie uniemożliwia prawidłowe funkcjonowanie pamięci. Dr Kucewicz prowadzi badania mające odkryć podstawowe procesy odpowiadające za formowanie się wspomnień i stymulację pracy mózgu. Otrzymał w tym celu finansowanie z Funduszy Europejskich ze środków pochodzących z POIR w ramach programu FIRST TEAM Fundacji na rzecz Nauki Polskiej. Celem jest dokładne zrozumienie, jak działa nasza pamięć, ale także tego, w jaki sposób ten pro-

ces może być zaburzony i jak można go stymulować elektrycznie w chorobach takich, jak Alzheimer.

— Nie rozumiemy do końca mechanizmów i genezy tej choroby, a co dopiero sposobu jej leczenia. Tak naprawdę żadna ze znanych mi dziś interwencji medycznych nie jest w stanie skutecznie przeciwdziałać jej rozwojowi — mówi naukowiec. — Mamy modele zwierzęce, ale one nie pokrywają się dokładnie z tym, co widzimy w ludzkim ciele. A samo dojście w głąb mózgu, by analizować zachodzące w nim procesy, jest bardzo utrudnione.

„Stymulując niewielką część mózgu przy pomocy prądu elektrycznego, jesteśmy w stanie sprawić, że pacjent zapamiętuje więcej słów niż bez stymulacji. Dzięki stymulacji u pacjentów z padaczką obserwujemy w ciągu roku czy dwóch poprawę rzędu 50 proc.”.

Laboratorium Elektrofizjologii Mózgu i Umysłu dr Kucewicza („Brain & Mind Electrophysiology Lab”), by zyskać bezprecedensowo głęboki dostęp do najbardziej podstawowych funkcji mózgu, skupia się na badaniach pacjentów cierpiących na przewlekłe padaczkę, chorobę Parkinsona czy Huntingtona. Ich terapia polega często na wszczepianiu elektrod w mózgu chorych, które rejestrują i pobudzają aktywność niektórych obszarów. Korzystając z tych elektrod, badacze mogą rejestrować pracę całego mózgu z niespotykaną rozdzielczością i szukać tych jego obszarów, które odpowiadają za formowanie i zaburzenia pamięci.

— Mamy już cele w mózgu, co do których wiemy, że odpowiadają na stymulację elektryczną — mówi badacz. — Stymulując niewielką część mózgu przy pomocy prądu elektrycznego, jesteśmy w stanie sprawić, że pacjent zapamiętuje więcej słów niż bez stymulacji. Dzięki stymulacji u pacjentów z padaczką obserwujemy w ciągu roku czy dwóch poprawę rzędu 50 proc.

Pierwsi pacjenci już korzystają z lekkich i przenośnych urządzeń do stymulacji, rozwiniętych we współpracy z amerykańskim Mayo



Dr Michał Kućwicz

Clinic z pomocą laboratorium dr Kućwicz. Trwają też przygotowania do pierwszych prób klinicznych. Sam dr Kućwicz pracuje już nad dalszymi usprawnieniami terapii, jej optymalizacją oraz stworzeniem systemów dynamicznie i inteligentnie sterujących działaniem urządzenia.

Odróżnić neutropenię

To rzadka, ale potencjalnie bardzo niebezpieczna choroba. Neutropenia polega na tym, że organizm wytwarza zdecydowanie za mało tzw. neutrofilów – białych krwinek odpowiedzialnych za walkę z niektórymi infekcjami, zwłaszcza bakteryjnymi. — W większości przypadków u takich pacjentów występuje wysokie ryzyko różnego rodzaju infekcji, w tym zagrażających życiu, takich jak posocznica czy zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych — tłumaczy prof. Wojciech Młynarski z Uniwersytetu Medycznego w Łodzi.

Przyczyn braku czy znacznie obniżonej liczby neutrofilów jest jednak wiele. Może to być konsekwencją chorób, chemioterapii albo wrodzonych mutacji genetycznych. To właśnie na badania wrodzonego niedoboru odporności prof. Młynarski otrzymał wsparcie z Funduszy Europejskich ze środków Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój w ramach programu TEAM-NET Fundacji na rzecz Nauki Polskiej.

Różnica między neutropenią nabytą a neutropenią wrodzoną jest istotna, bo ta ostatnia stanowi zagrożenie dla życia, podczas gdy neutropenia nabyta, na przykład wskutek przebytej choroby, jest zwykle stanem przejściowym, który wiąże się co prawda ze zwiększonym ryzykiem infekcji, ale nie stanowi zazwyczaj śmiertelnego niebezpieczeństwa. Obie odróżnić od siebie jest jednak niezwykle trudno. W związku z tym, by nie ryzykować, lekarze podchodzą bardzo ostrożnie do każdego, u kogo badania wykazały obniżenie liczby neutrofilów. W przypadku dzieci oznacza to wstrzymanie lub odroczenie szczepień ochronnych, które zabezpieczają je przed potencjalnie niebezpiecznymi chorobami.

— Zdarza się, że układ immunologiczny dziecka pracuje nieco dysfunkcyjnie i na przykład po infekcji zaczyna produkować przeciwciała niszczące neutrofile. Wzrasta w tym czasie ryzyko kolejnych infekcji, ale rzadko są to infekcje zagrażające życiu. Tego typu neutropenie nie powinny być powodem odraczania szczepień ochronnych u dzieci — mówi prof. Młynarski. Problem w tym, że lekarze, a zwłaszcza pediatrzy, nie mają jeszcze dostępu do narzędzi, które pozwoliłyby im łatwo stwierdzić czy mają do czynienia ze schorzeniem wywołanym zmianami genetycznymi, czy z przejściowym stanem. Rocznie w Polsce z powodu neutropenii nie jest szczepionych około 3 tys. dzieci.

Zespół prof. Młynarskiego postawił sobie za cel opracowanie prostego, skutecznego i taniego testu różnicującego obie neutropenie. — Nad jednym z takich narzędzi pracuje zespół naszego konsorcjanta z Politechniki Wrocławskiej, który zajmuje się enzymami, proteazami granulocytów. Ma zidentyfikować, czy istnieje jakiś specyficzny wzorzec ich aktywności i lokalizacji w przypadku neutropenii wrodzonej — tłumaczy badacz.

Opracowanie testu to tylko pierwszy krok. Drugim jest zidentyfikowanie wszystkich genów odpowiedzialnych za neutropenie wrodzone, bo dziś dokładna przyczyna występowania niemal połowy z nich nie jest znana. Trzeci, najbardziej ambitny cel, to opracowanie terapii genetycznej opartej na edycji genów przy pomocy techniki CRISPR-Cas9, która pozwoliłaby skutecznie leczyć nawet wrodzone neutropenie dzięki wszczępieniu pacjentom zmodyfikowanego szpiku kostnego wyhodowanego z ich własnych komórek macierzystych. — Przez cały czas będziemy analizowali cały genom pojedynczych komórek, żeby sprawdzić, czy lecząc neutropenię nie popsuliśmy czegoś innego — mówi prof. Młynarski.

Technika ta daje nadzieję na szybsze i tańsze leczenie pacjentów, którzy dziś często w ogóle nie mają szansy na terapię. Obecnie w leczeniu wrodzonej neutropenii wykorzystuje się bowiem



Dr hab. Katarzyna Donskow-Łysoniewska

przeszczepy szpiku kostnego, ale nawet 20 proc. pacjentów nigdy nie znajduje odpowiednich dawców.

Pożytki z pasożytów

Dr hab. Katarzyna Donskow-Łysoniewska w ramach programu, który realizowała w Samodzielnej Pracowni Parazytologii Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii w Warszawie także zajmowała się funkcjonowaniem układu odpornościowego, choć w jej przypadku chodziło nie o pobudzenie, a przeciwnie — o hamowanie jego nadmiernej aktywności.

Nadmierne pobudzenie układu odpornościowego może prowadzić do wielu groźnych schorzeń. Tylko alergię, które w pierwszej połowie XX w. dotykały zaledwie 1 proc. populacji, dziś są diagnozowane u ponad 40 proc. Polaków. Do chorób autoimmunizacyjnych zalicza się m.in. stwardnienie rozsiane. Istnieją jednak sposoby na ograniczenie nadmiernej aktywności układu odpornościowego. Niektóre z nich, w toku milionów lat ewolucji, opracowały nicianie jelitowe – niewielkie pasożyty naszego układu pokarmowego.

— To fascynująca kwestia — zachwyca się dr hab. Donskow-Łysoniewska. — Pasożytowi nie zależy na tym, by uśmiercić swojego żywiciela. Wprost przeciwnie, zależy mu na tym, by żył jak najdłużej. Nicianie jelitowe opracowały więc szereg metod, które pozwalają nie tylko być niezauważonym dla żywiciela, ale nawet hamować stan zapalny czy choroby o podłożu zapalnym. W tym układzie żywiciela może czerpać korzyść z tego, że ma pasożyta.

Nicianie „uspokaja” układ odpornościowy żywiciela, bo w innym przypadku sam mógłby paść jego ofiarą. Prowadzone są próby terapii, wykorzystujących całe, żywe nicianie wprowadzane do organizmów pacjentów. Badania kliniczne od wielu lat są w toku.

Budzą one wiele zrozumiałych pytań o etykę i bezpieczeństwo takiej terapii.

Zespół dr hab. Donskow-Łysoniewskiej wspierany Funduszami Europejskimi grantem w ramach programu TEAM-TECH Fundacji na rzecz Nauki Polskiej próbuje więc „podejrzeć” mechanizmy wykorzystywane przez nicianie i nauczyć się kopiować ich sztuczki bez narażania pacjentów na efekty uboczne spowodowane obecnością pasożyta w organizmie. — W grę wchodzi tysiące białek o różnych właściwościach immunoregulacyjnych. Jesteśmy na początku pewnej drogi pozwalającej te białka typować i poznać całe spektrum możliwości tych pasożytów — mówi badaczka, dodając: — Oczywiście jest, że są wśród nich zarówno białka o działaniu immunosupresyjnym, jak i aktywującym układ odpornościowy. Zajmujemy się typowaniem takich białek w oparciu o metodę „uczenia się od pasożytów”. W układzie eksperymentalnym obserwujemy, co się dzieje, jakie mechanizmy są indukowane i jakie białka pasożyta są z tym związane.

Szczególnie dobre efekty przyniosły badania związane ze stwardnieniem rozsianym. — Mamy także wytypowane białka odpowiedzialne za hamowanie procesów występujących w innych chorobach autoimmunizacyjnych — podkreśla dr hab. Donskow-Łysoniewska. — Badania, które prowadzimy, stanowią więc platformę poszukiwawczą, w której dzięki pasożytom odkrywamy różne białka o potencjale terapeutycznym. Wytypowane, bardzo interesujące białka, będziemy weryfikować w ramach kolejnych projektów badawczo-rozwojowych.

Może więc okazać się, że pasożyty okażą się najlepszymi nauczycielami lekarzy w walce z chorobami, które dziś stanowią dla medycyny ogromny problem.

Pasożytowi nie zależy na tym, by uśmiercić swojego żywiciela. Wprost przeciwnie, zależy mu na tym, by żył jak najdłużej.

The background features a grid of colored squares in shades of light blue, white, and grey. Scattered across the grid are numerous water droplets and bubbles of various sizes, some appearing to float or fall. The droplets are rendered with realistic shading and highlights, giving them a three-dimensional appearance. The overall aesthetic is clean and modern, typical of a professional presentation slide.

| Energetyka i ekologia

Energia na przyszłość

Opanowanie kryzysu klimatycznego wymaga głębokiego przemyślenia, w jaki sposób wytwarzamy, przechowujemy i wykorzystujemy energię. Badania naukowców wspieranych przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej dzięki środkom z Funduszy Europejskich z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój otwierają drogę do efektywnej, czystej i przyjaznej środowisku przyszłości.

Przestawienie całej globalnej gospodarki na czyste, nieemisyjne tory może być największym wyzwaniem stojącym przed ludzkością w XXI w. Ośrodek badawczy Bloomberg NEF szacuje, że przekształcenie jedynie europejskiego systemu energetycznego by był niskoemisyjny lub zeroemisyjny do 2050 r. będzie kosztować 5,3 bln euro. To ogromna kwota, ale stawka jest równie wielka. Chodzi o powstrzymanie zagrażających życiu i zdrowiu miliardów ludzi zmian klimatycznych, o czyste powietrze bez smogu czy wreszcie o niezależność energetyczną całej Wspólnoty Europejskiej.

Tyle że nawet największe inwestycje same z siebie nie przyniosą oczekiwanych rezultatów, jeśli nie będzie towarzyszyć im opracowywanie nowych technologii i ukierunkowany rozwój już funkcjonujących, związanych zarówno z produkcją energii, jak i jej przechowywaniem oraz wykorzystywaniem. Tu do gry wkraczają programy finansowane ze środków Unii Europejskiej.

Nie popiół, a diament

Jednym z unijnych filarów przemiany energetycznej ma być odejście państw europejskich od energetyki węglowej, która dziś zapewnia 37 proc. zapotrzebowania Wspólnoty na prąd. Ten proces

zajmie wiele lat. W międzyczasie naukowcy starają się opracować nowe technologie, które pozwalają wykorzystać półprodukty powstające po spalaniu węgla w taki sposób, by ogólny negatywny wpływ węglowej energetyki na środowisko był jak najmniejszy.

Jednym z głównych, ubocznych produktów spalania węgla są popioły lotne. To problem, z którym powinny radzić sobie filtry instalowane w kominach elektrowni czy elektrociepłowni. Tyle tylko, że „problem” może nie być właściwym słowem, bo — nieco paradoksalnie — odzyskane popioły lotne mogą być jednym z najcenniejszych produktów spalania węgla. W pewnych sytuacjach mogą mieć nie tylko dużą wartość gospodarczą, ale wręcz być wykorzystane do rekultywacji obszarów zdegradowanych środowiskowo.

— Popioły lotne powstające w wyniku energetycznego spalania węgla to nie odpady. To surowce drugiej generacji — wyjaśnia prof. dr hab. inż. Wojciech Franus z Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej, która jest liderem projektu FUNash finansowanego przez FNP kwotą 21 mln zł z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój w ramach programu TEAM-NET. Celem projektu, kierowanego przez prof. Franusa, jest



Prof. dr hab. inż. Wojciech Franus

właśnie zagospodarowanie popiołów lotnych w inżynierii środowiska, budownictwie i rolnictwie.

— Węgiel kamienny czy brunatny jest głównym paliwem używanym w elektrowniach i elektrociepłowniach, a obok części palnych zawiera również przerosty innych skał. Podczas procesu spalania z tych części niepalnych powstaje frakcja gruba — żużel, który opada na dno paleniska oraz frakcja drobna, tak zwane popioły lotne, które wynoszone strumieniem spalin wychwytywane są na filtrach. Potencjalnie użyteczny skład mineralny i chemiczny popiołów lotnych umożliwia wykorzystanie ich w różnych technologiach — wyjaśnia prof. Franus.

Największym odbiorcą popiołów lotnych są cementownie i zakłady produkcji betonu. Tak zagospodarowywanych jest obecnie około 60 proc. z 4 mln ton popiołów lotnych, wytwarzanych w polskich elektrowniach i elektrociepłowniach. Wspomniane kierunki wykorzystania popiołów w najbliższej przyszłości mogą być ograniczone z powodu coraz ostrzejszych przepisów dotyczących poziomu emisji zanieczyszczeń gazowych pochodzących z procesu spalania węgla. Z powodu tych ograniczeń wytwarzane aktualnie popioły zmieniają swój skład chemiczny (wzrost udziału niespalonego węgla) i coraz mniej nadają się do wykorzystania w przemyśle cementowo-betonowym. To nie oznacza jednak, że nie nadają się do wykorzystania gdzie indziej.

— W naszym projekcie założyliśmy, że popiół będzie substratem do produkcji materiałów porowatych z grupy zeolitów i mezoporo-watych krzemionek. Materiały te mają w swojej strukturze liczne kanały i komory, dzięki czemu mają korzystne i specyficzne właściwości związane z rozwinięciem powierzchni wewnętrznej cząstek

— tłumaczy prof. Franus. Wytworzone z popiołów lotnych zeolity mogą służyć na przykład jako sorbenty, pochłaniające płynne lub gazowe zanieczyszczenia. Mogą też być stosowane w rolnictwie jako nośniki nawozów, uwalniając mikro- i makroelementy przez długi czas użytkowania, dostarczając roślinom budulca do ich wzrostu, a jednocześnie chroniąc środowisko przed gwałtownym uwolnieniem wody ze struktury gleb.

Zespół prof. Franusa jest też bliski opracowania technologii wytwarzania zeolitów w produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych na skalę przemysłową. Dzięki nim nasze drogi stałyby się trwalsze, a ich kompozycja byłaby bardziej przyjazna środowisku.

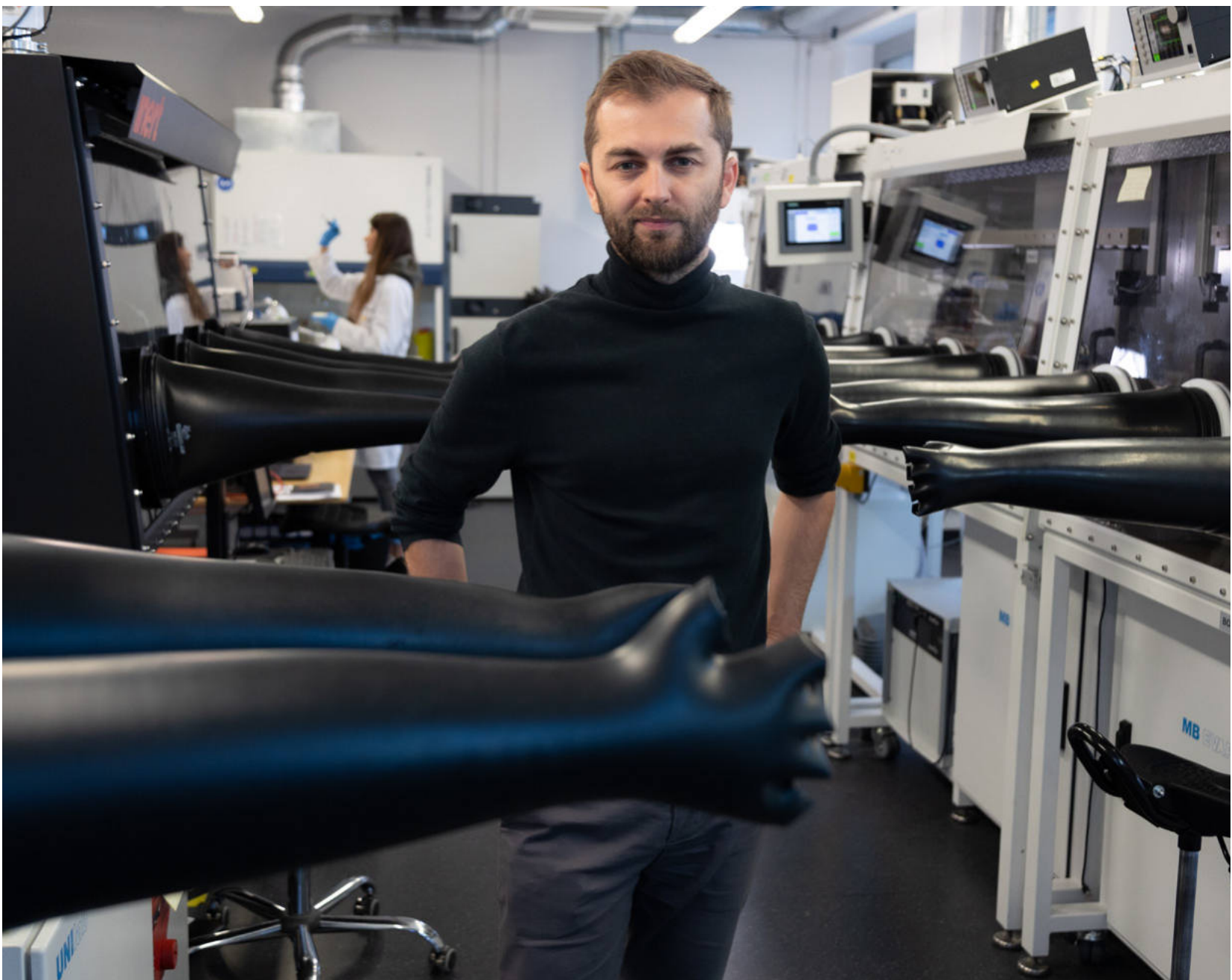
— W strukturze zeolitów w kanałach i komorach uwięziona jest woda, którą wykorzystujemy do efektu tak zwanego spienienia asfaltu, czyli zmniejszenia jego lepkości. W efekcie podgrzany asfalt bardzo dobrze otacza kruszywo i wypełnia różnego rodzaju wolne przestrzenie. W ten sposób możemy wypro-

dukować daną mieszankę w niższej temperaturze, co powoduje zysk ekonomiczny, ale jest to też korzystne dla środowiska, bo niższa temperatura produkcji to niższe emisje zanieczyszczeń do atmosfery i lepsze warunki pracy dla ludzi układających nawierzchnię — mówi prof. Franus. Pierwsza komercyjna linia do produkcji zeolitów z popiołów lotnych jest już niemal gotowa. Aktualnie trwają ostatnie prace związane z optymalizacją warunków syntezy tych cennych materiałów.

Perowskitowa perspektywa

Z czasem węgiel jako źródło energii ma jednak stracić na znaczeniu. Nowy raport organizacji branżowej SolarPower Europe wskazuje, że w samym tylko 2021 r. udział europejskiej energetyki

Wytworzone z popiołów lotnych zeolity mogą służyć na przykład jako sorbenty, pochłaniające płynne lub gazowe zanieczyszczenia. Mogą też być stosowane w rolnictwie jako nośniki nawozów, uwalniając mikro- i makroelementy przez długi czas użytkowania.



Dr Konrad Wojciechowski

słonecznej wzrósł o 34 proc., a do 2030 r. ilość energii generowanej w Unii Europejskiej za pomocą ogniw fotowoltaicznych ma wzrosnąć czterokrotnie.

Choć fotowoltaika już odnosi spektakularny sukces, jej rozwój może stać się jeszcze szybszy, jeśli tylko uda się opracować bardziej efektywne ogniwa. Dziś ponad 90 proc. obecnych na rynku rozwiązań opiera się na krzemie, ale tu tempo rozwoju spada. Istnieją jednak alternatywy jak np. perowskity. Perowskity, to rodzaj kryształów, nazwanych na cześć rosyjskiego geologa Lwa Perowskiego. Ich struktura sprawia, że dobrze pochłaniają energię słoneczną. To właśnie badania nad nimi uważane są za jeden z najbardziej obiecujących kierunków, który przyczyni się do powstania fotowoltaiki przyszłości.

Aby zrozumieć dlaczego, wystarczy spojrzeć na dotychczasowe osiągnięcia inżynierów i naukowców rozwijających technologie słoneczne. Po dekadach rozwoju, dominujące dziś na rynku krzemowe ogniwa osiągnęły efektywność przetwarzania energii na poziomie około 27 proc. Oznacza to, że wykorzystują i przetwarzają nieco ponad jedną czwartą padającej na nie energii słonecznej. Konkurencyjne ogniwa perowskitowe taką efektywność osiągnęły już po dekadzie prac nad technologią.

Niestety, perowskity mają wady. Problemem jest między innymi to, że wiele z nich zawiera toksyczny ołów. Do tego materiały zaliczające się do tej rodziny są stosunkowo nietrwałe i szczególnie wrażliwe na wysokie temperatury czy wilgotność. A to przecież czynniki, które są codziennością dla umieszczonych na zewnątrz ogniw fotowoltaicznych.

Jedną z czołowych firm opracowujących rozwiązania perowskitowe jest polska Saule Technologies, założona przez dr Olgę Ma-

linkiewicz. Dr Konrad Wojciechowski, dyrektor naukowy fundacji Saule Research Institute, w ramach programu FIRST TEAM FNP finansowanego z Funduszy Europejskich, diagnozował najważniejsze fizyczne problemy zmniejszające efektywność i żywotność perowskitowych ogniw.

W ramach prac badacze analizowali optymalną strukturę ogniw opartych na perowskitach, a także stworzyli też pierwsze kompletne, elastyczne ogniwo perowskitowe, które przeszło pełen pakiet testów wykazujących ich stabilność w okresie pięciu, 10 czy 15 lat. Rezultatem pracy zespołu jest szereg opublikowanych i cytowanych na świecie prac naukowych. Wkrótce może zostać uruchomiona produkcja pierwszych długotrwałych ogniw fotowoltaicznych zapewniających zdecydowanie lepszą niż klasyczne rozwiązania efektywność energetyczną.

Po dekadach rozwoju, dominujące dziś na rynku krzemowe ogniwa osiągnęły efektywność przetwarzania energii na poziomie około 27 proc.

Banki elektryczności

W przypadku energetyki odnawialnej samo zwiększenie efektywności generatorów nie rozwiązuje całego problemu. Obie najpopularniejsze techniki generowania odnawialnej energii, czyli energetyka wiatrowa i energetyka fotowoltaiczna, mają wspólny problem. W doskonałych warunkach generują często zdecydowanie więcej energii, niż jest w stanie wykorzystać sieć energetyczna. Należy jednak pamiętać, że idealne warunki nie są wieczne: bezwietrzna pogoda zatrzymuje wiatraki, a noc wyłącza z działania nawet najdoskonalsze ogniwa fotowoltaiczne.

Rozwiązaniem byłoby stworzenie banków energii — urządzeń czy instalacji pozwalających przechowywać elektryczność wtedy, gdy jest generowana w nadmiarze i uwalniać ją, gdy sieć potrzebuje większej mocy, niż są w stanie wygenerować źródła prądu. Podobne rozwiązania nie są nowe. Rolę taką od lat odgrywają elektrownie szczytowo-pompowe, których działanie polega na tym, że gdy



Dr Dominika Buchberger

w sieci jest nadwyżka mocy, zasilane elektrycznie pompy tłoczą wodę z jeziora czy rzeki do specjalnie przygotowanego zbiornika położonego na szczycie wzniesienia. Gdy mocy jest za mało, woda jest spuszczana w dół, a generatory wykorzystują energię z jej spadania do produkcji prądu.

Problem w tym, że choć technologia budowy podobnych elektrowni jest dobrze znana, a one same nie kryją w sobie żadnych inżynierskich niespodzianek, to da się je stosować tylko w ściśle określonych warunkach. Potrzebne są odpowiednie wzgórze i dostęp do wody. Budowa podobnych elektrowni jest bardzo obciążająca dla środowiska, które w toku ich konstrukcji ulega głębokim przekształceniom. Dziś w Polsce działa zaledwie sześć takich elektrowni o łącznej mocy 1,8 GW, dających możliwość magazynowania 9 GWh energii. Budowa trzech kolejnych jest na etapie wstępnych przygotowań. Stąd potrzeba opracowania innych metod magazynowania energii na wielką skalę. To wyzwanie, ale i szansa. Roczna wartość globalnego rynku magazynowania energii szacowana była w 2021 r. na 210 mld dol., a do końca dekady ma osiągnąć wartość 435,32 mld dol.

Najbardziej oczywistą z pozorów technologią, którą można byłoby wykorzystać do tworzenia magazynów energii o wielkiej skali, są ogniwa litowo-jonowe, powszechnie stosowane w urządzeniach elektronicznych. Wymagające stosowania rzadkich metali ogniwa są dziś zbyt drogie, by stosować je w energetyce powszechnie i na dużą skalę. Ogniwa litowo-jonowe są więc optymalne dla zastosowań w urządzeniach przenośnych, w tym medycznych i wojskowych.

Dr Dominika Buchberger z Pracowni Elektrochemicznych Źródeł Energii Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego, laureatka

programu HOMING Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, pracuje nad technologią, która może rozwiązać wiele problemów związanych z tymi ogniwami. Zajmuje się akumulatorami opartymi wyłącznie na stałych komponentach, które powinny zwiększyć gęstość energii, być tańsze, bezpieczniejsze i trwalsze od dzisiejszych baterii litowo-jonowych.

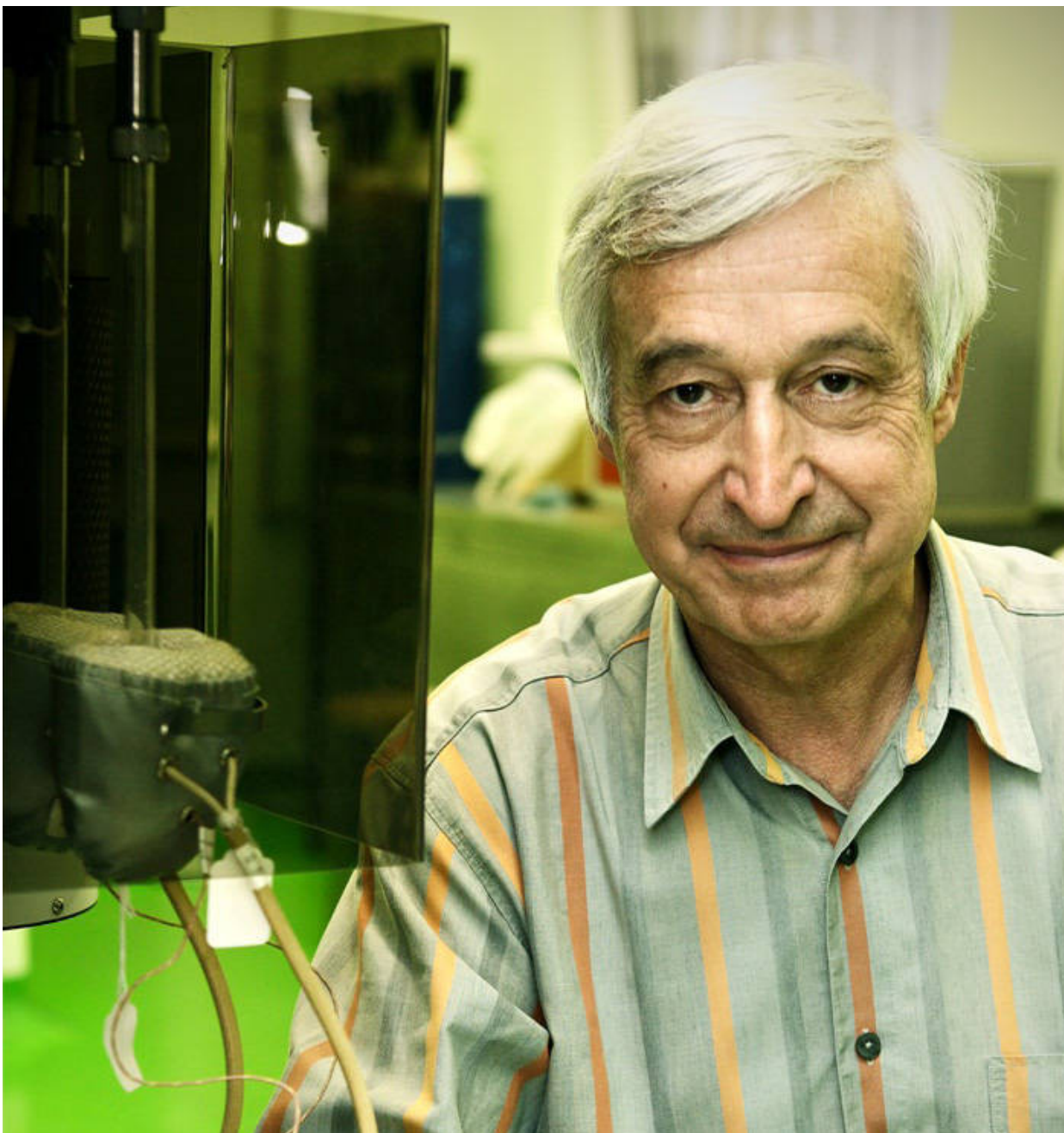
Elektrolit stały, wykorzystujący do przewodzenia jonów litu nie ciecze, a na przykład materiały ceramiczne, daje większe bezpieczeństwo, bo sprawia, że znika ryzyko wycieków. Jest też niepalny, a to pozwala wyeliminować wypadki związane z zapłonem baterii litowo-jonowych, i ma szczególne znaczenie w elektromobilności.

— Te ogniwa to dziś już światowy trend — mówi badaczka. — Elektrolit stały, wykorzystujący do przewodzenia jonów litu nie ciecze, a na przykład materiały ceramiczne, daje większe bezpieczeństwo, bo sprawia, że znika ryzyko wycieków. Jest też niepalny, co pozwoliłoby wyeliminować wypadki związane z zapłonem baterii litowo-jonowych, a to ma szczególne znaczenie w elektromobilności.

Projekt realizowany przez dr Buchberger ma na celu opracowanie metody wytwarzania stałej membrany przewodzącej jony litu

między elektrodami ogniwa. Ta technologia ma obniżyć koszt produkcji ogniwa przez wprowadzenie łatwiejszej obróbki materiałów, zmniejszyć grubość warstwy elektrolitu stałego oraz poprawić kontakt między elektrolitem a elektrodą. Program HOMING jest realizowany przez FNP ze środków Unii Europejskiej pochodzących z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój.

— Mamy już nowy, dużo szybszy i tańszy sposób na produkcję elektrolitu stałego, który jest tematem międzynarodowego zgłoszenia patentowego i dobrze cytowanych publikacji. Mamy też prototypy baterii typu solid-state z wykorzystaniem nowego sposobu nakładania jej poszczególnych warstw — zapewnia badaczka. — Jednym z problemów było to, że aby stworzyć taką baterię, trzeba właściwie dobrać związeki, z których wytwarzamy elektrody i elektrolit.



Prof. François Béguin

I tak na przykład te, które początkowo wybraliśmy jako najbardziej obiecujące, okazały się niekompatybilne lub zbyt trudne w obróbkę. W trakcie realizacji projektu zespół zdobył unikatową wiedzę specjalistyczną, dzięki której udało się zrozumieć oraz częściowo rozwiązać kilka trudności związanych z tą technologią.

Gra jest jednak warta świeczki, bo rynek baterii stanu stałego, szacowany w 2021 r. na 617 mln dol. ma w najbliższych latach rosnąć w tempie ponad 31 proc. rocznie i przekroczyć globalną wartość 7,5 mld dol. już w 2030 r.

Jeśli nie baterie, to co?

Zasadniczo istnieją dwa sposoby magazynowania energii elektrycznej. Akumulatory, które gromadzą energię dzięki reakcjom elektrochemicznym zachodzącym w ich wnętrzach, oraz klasyczne kondensatory elektrochemiczne, które przechowują energię powierzchniowo dzięki zdolności do utrzymywania ładunków elektrostatycznych.

W praktyce oznacza to, że są w stanie magazynować krótkotrwałe mniej energii, ale zarówno ładowanie, jak i uwalnianie energii zachodzi tu błyskawicznie, co pozwala szybko naładować urządzenie i szybko dostarczyć dużą ilość mocy.

To właśnie kondensatory mogą znaleźć zastosowanie m.in. w transporcie. Już dziś w kilku miejscach, na przykład w Kaosiung na Tajwanie czy w Saragossie w Hiszpanii, można spotkać tramwaje, które zamiast korzystać z rozciągniętych nad trasą linii elektrycznych, jeżdżą właśnie dzięki energii pobieranej z kondensatorów ładowanych podczas krótkich postojów na wzięcie na pokład pasażerów. — Taki tramwaj jest w stanie zmagazynować wystarczającą ilość energii do przejechania jednego czy kilku przystanków — wyjaśnia prof. François Béguin z Politechniki Poznańskiej,

dodając: — Po 20 sekundach ładowania ma już dostateczną ilość energii, by przejechać kolejny odcinek bez konieczności rozciągania nad ulicą małą estetycznych przewodów.

Podobne pojazdy są jednak wciąż rzadkością, bo stosowane w nich obecnie kondensatory są drogie i magazynują zbyt małą ilość energii, co ogranicza ich użyteczność. Zespół prof. Béguina pracuje nad najnowszą generacją hybrydowych kondensatorów. Łączą one w sobie cechy akumulatorów i kondensatorów konwencjonalnych: wykorzystują w konstrukcji jedną elektrodę opartą na technologii

podobnej do tej stosowanej w akumulatorach litowo-jonowych, podczas gdy druga działa tak, jak w kondensatorach konwencjonalnych. Są w stanie magazynować kilkukrotnie więcej energii niż tradycyjne kondensatory, zachowując przy tym ich zdolność błyskawicznego ładowania i uwalniania energii.

Zespół prof. Béguina pracuje również nad urządzeniem, w którym zamiast litu stosowany byłby sód, powszechnie występujący w soli kamiennej czy wodzie morskiej. To jednak wymaga opracowania kompatybilnych z nim materiałów tworzących resztę urządzenia. Badania są finansowane przez FNP ze środków pochodzących z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój w ramach programu TEAM-TECH.

— Przykładowo grafit, który jest wykorzystywany w bateriach litowych, nie jest odpowiednim materiałem do kompozycji z sodem. Nie możemy go wykorzystać w naszych kondensatorach hybrydowych. Musimy stosować inne materiały do budowy elektrody. Wiele problemów udało się rozwiązać i mamy już niewielkie urządzenie, które działa i daje osiągi porównywalne z osiąganymi systemu litowo-jonowego — mówi prof. Béguin.

Hybrydowe kondensatory są w stanie magazynować kilkukrotnie więcej energii niż tradycyjne kondensatory, zachowując przy tym ich zdolność błyskawicznego ładowania i uwalniania energii.



Prof. Mariusz Malinowski

Podobne kondensatory mogą mieć wiele zastosowań, czasami zastępując, a czasami uzupełniając pracę konwencjonalnych akumulatorów. Mogą być stosowane do uruchamiania silników diesla czy do wspomagania przyspieszania ciężkich, elektrycznych pojazdów, takich jak autobusy czy ciężarówki. Co ważne, w przeciwieństwie do akumulatorów litowo-jonowych, które często wymagają wymiany po zaledwie kilku tysiącach cykli ładowań, kondensatory opracowywane przez prof. Béguina mogą magazynować i uwalniać energię co najmniej milion razy.

Pracami badaczy zainteresowane są firmy z branży elektromobilności, m.in. firma Solaris, produkująca tramwaje i elektryczne autobusy.

Energetyczny router

Zanim jednak zupełnie przestawimy nasze sieci elektryczne na odnawialne źródła energii i energię jądrową i zanim całkiem zelektryfikujemy transport oraz inne dziedziny życia gospodarczego, przemysłenia wymaga cała struktura sieci elektroenergetycznej, dziś dostosowana do wielkoskalowej produkcji zupełnie innego zapotrzebowania konsumentów.

— Przy dynamicznie rozwijającej się energetyce, opracowaniu odnawialnych źródeł energii oraz sposobów jej magazynowania powstaje problem energooszczędnego przetwarzania energii. Układy energoelektroniczne, którymi się zajmują, są w stanie efektywnie zarządzać wytwarzaniem energii z odnawialnych źródeł. Nazywamy to inteligentnym transformatorem — mówi prof. Mariusz Malinowski z Instytutu Sterowania i Elektroniki Przemysłowej Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej.

Jego zespół — wspierany środkami z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój w ramach programu TEAM-TECH FNP — pracuje

nad inteligentnymi transformatorem, które byłyby w stanie zapewnić efektywnie dostęp do energii elektrycznej z wielu rozproszonych źródeł, przy zapewnieniu poprawnej pracy nawet podczas występowania silnych zaburzeń w sieciach elektroenergetycznych.

— Działa to trochę jak router energetyczny, który decyduje, jak ma przepływać energia pomiędzy poszczególnymi węzłami-odbiorcami, siecią i źródłami. Możemy w sposób optymalny kontrolować

przepływ energii elektrycznej tak, aby była utrzymana na poziomie minimalnym, co jednocześnie zmniejsza straty — wyjaśnia profesor.

To jednak tylko początek potencjalnych zastosowań nowego urządzenia. Fakt, że inteligentne transformatory pracują równie dobrze ze znanym z dzisiejszych sieci prądem przemiennym, co z prądem stałym sprawia, że mogą stanowić podstawę zmiany, która zbliża się coraz większymi krokami. Prąd przemienny pozwala na łatwe przesyłanie energii na wielkie odległości, ale wiele nowoczesnych technologii, takich jak komputery, diody LED czy panele fotowoltaiczne opiera się na prądzie stałym. Konwersja między jednym, a drugim wiąże się jednak zazwyczaj z utratą kilku procent energii.

— Następuje pewna transformacja sieci elektroenergetycznej w stronę prądu stałego, ale ona nie może następować gwałtownie, bo wciąż większość odbiorników bazuje na zasilaniu prądem przemiennym — wyjaśnia prof. Malinowski. — Taki transformator jest idealnym rozwiązaniem hybrydowym, które pozwala dołączać zarówno źródła, jak i odbiorniki prądu stałego i przemiennego. Możemy stosunkowo łatwo zacząć transformację energetyki opartej na prądzie przemiennym w energetykę opartą na prądzie stałym. To zaczyna się dziać. W Holandii powstają już pierwsze eksperymentalne domy zasilane w całości prądem stałym.

„Działa to trochę jak router energetyczny, który decyduje, jak ma przepływać energia pomiędzy poszczególnymi węzłami-odbiorcami, siecią i źródłami. Możemy w sposób optymalny kontrolować przepływ energii elektrycznej”.



Prof. Wojciech Macyk

Zespół opracował pierwsze prototypowe urządzenia. Pracuje też z partnerami przemysłowymi nad rozwiązaniami hybrydowymi łączącymi funkcjonalności transformatora inteligentnego i klasycznego. — W ten sposób łatwiej będzie przekonać do stosowania takich rozwiązań firmy odpowiedzialne za dostarczanie energii do odbiorcy końcowego — wyjaśnia badacz, dodając: — Hybrydowe rozwiązanie pokazuje wszystkie funkcjonalności pozwalające budować sieć elektroenergetyczną, w której wszystkie elementy będą komunikować się, podobnie jak sieć internetowa i będą pozwalały zapewnić najwyższą efektywność energetyczną i niezawodność.

Energia dla środowiska

W ostatecznym rozrachunku nowe źródła energii posłużą nam nie tylko do generowania elektryczności, ale mogą również zmienić wiele zupełnie nieoczekiwanych dziedzin życia. Prof. Wojciech Macyk z Wydziału Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego, którego badania są prowadzone w ramach programu TEAM Fundacji na rzecz Nauki Polskiej i finansowane z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój, opracowuje technologie pozwalające wykorzystać tzw. procesy fotokatalityczne. To reakcje redukcji i utleniania zachodzące w obecności światła, najczęściej słonecznego, i katalizatora, którym mogą być na przykład tlenki metali. Technologie fotokatalityczne mogą posłużyć do usuwania zanieczyszczeń z wody i powietrza, sterylizacji powierzchni, produkcji paliwa, a nawet niszczenia komórek nowotworowych. Zespół pracuje nad nowymi fotokatalizatorami charakteryzującymi się wysokimi wydajnościami.

— Opracowywane materiały pozwolą lepiej wykorzystać energię słoneczną chociażby w procesach jej konwersji w paliwa. Nasze cele staramy się osiągnąć stosując różne rozwiązania. Przykładowo, wykorzystujemy odpowiednio strukturyzowane materiały, tak zwane kryształy fotoniczne, umożliwiające wielokrotne, lokalne zwiększenie gęstości energii świetlnej. Innym podejściem jest

połączenie procesów fotokatalitycznych z katalitycznymi. Dzięki temu pożądane reakcje powinny zachodzić z wyższą wydajnością — stwierdza prof. Macyk. Fotokatalizatory opracowywane przez krakowski zespół mają pomóc w przeprowadzaniu złożonych i niezwykle istotnych reakcji chemicznych. Jednym z ich potencjalnych zastosowań jest wykorzystanie energii słonecznej do rozkładu wody – w toku tego procesu ma powstawać wodór. Może on być następnie stosowany jako źródło energii. Unia Europejska zakłada, że do 2050 r. to właśnie wodór będzie odpowiadał za zaspokojenie 24 proc. zapotrzebowania energetycznego Wspólnoty Europejskiej. Czyste, wodorowe technologie będą więc kluczem do osiągnięcia środowiskowych i energetycznych celów Wspólnoty.

The background features a light gray surface with numerous water droplets of various sizes. The scene is divided into several colored rectangular panels: a light gray panel at the top right, a light blue panel at the bottom right, and a light brown panel at the bottom left. The text is centered in the white area between the top and bottom panels.

| Technologie kwantowe

Superkomputery, szyfry i tajemnice Wszechświata. Polscy naukowcy przełamują kwantowe bariery

Obliczenia, pomiary, łączność – dzięki środkom z Funduszy Europejskich w polskich ośrodkach rozwijane są technologie kwantowe, które mogą zmienić wiele kluczowych dla naszej cywilizacji dziedzin i dać nam możliwości, o jakich dotąd trudno było choćby marzyć.

Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki w 2022 r. przyznano Alainowi Aspectowi, Johnowi Clauserowi i Antonowi Zeilingerowi za fundamentalne prace nad mechaniką kwantową. Badacze dowiedli, że takie zjawiska jak tzw. splątanie kwantowe, są jak najbardziej realne. Co więcej, ich prace wskazały drogę do technologicznego przełomu.

Podczas ceremonii ogłoszenia laureatów tegorocznej nagrody szef komitetu przyznającego nagrodę w dziedzinie fizyki Anders Irbäck wyjaśniał to zjawisko tak: „Splątanie kwantowe można porównać do maszyny, która wystrzeliwuje piłeczki o przeciwnych kolorach w przeciwnych kierunkach. Kiedy Bob łapie piłeczkę i widzi, że jest czarna, natychmiast wie, że Alice złapała białą (...) Mechanika kwantowa stwierdza jednak, że obie piłeczki były szare, dopóki ktoś nie spojrzał na jedną z nich – wtedy jedna z nich w przypadkowy sposób stała się białą, a druga czarna”.

Wedle bardziej precyzyjnej, naukowej terminologii splątanie kwantowe polega na tym, że istnieją pewne stany par cząstek, co do których wiemy wszystko o ich możliwych do określenia wzajemnych relacjach pewnych własności, a jednocześnie nic o tych własnościach dla każdej z nich z osobna. Na przykład dwa specyficznie splątane polaryzacyjnie fotony będą podczas pomiaru polaryzacji dawać wyniki przeciwne i to bez względu na to, jak są odległe. Jednocześnie foton, który poddamy pomiarowi jako pierwszy, da wynik fundamentalnie losowy, czyli całkowicie nieokreślony przez stan obu cząstek.

To, w połączeniu z innymi kwantowymi zjawiskami, umożliwi stworzenie kwantowych superkomputerów czy sensorów o bezprecedensowej czułości. Polscy badacze na tym polu już mają wielkie osiągnięcia i w wielu przypadkach przekuwają wyniki swoich badań na rozwiązania technologiczne.



Dr hab. Marcin Pawłowski



Prof. Marek Żukowski

Miliardy na kwanty

Według raportu „Quantum Technology Market by Computing, Communications, Imaging, Security, Sensing, Modeling and Simulation 2022-2027” firmy Research and Markets globalny rynek technologii kwantowych do 2027 r. osiągnie wartość 42 mld dol., z czego przeszło 16 mld dol. przypadnie wyłącznie rynkowi komputerów kwantowych.

Rozwój takich technologii jest jednym z naukowych priorytetów Unii Europejskiej. Inicjatywa Quantum Technologies Flagship zakłada, że w ciągu najbliższej dekady wspólnota wesprze prace europejskich badaczy nad technologiami kwantowymi kwotą miliarda euro. Podobny program – wart miliard dolarów rocznie – cztery lata temu powołały do życia Stany Zjednoczone, natomiast Chiny w 2017 r. rozpoczęły pracę nad największym na świecie centrum badań nad technologiami kwantowymi.

Wśród czołowych ośrodków zajmujących się opracowywaniem technologii kwantowych są także polskie laboratoria i centra badawcze. Zresztą historia dokonań polskich naukowców pracujących w tej dziedzinie jest długa i obejmuje niektóre z kamieni węgielnych kwantowych technologii jak wychwytywanie splątania czy uniwersalna metoda jego detekcji z pomocą tzw. świadków splątania.

Obecnie naukowcy wspierani przez programy Fundacji na rzecz Nauki Polskiej (FNP) ze środków z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój pracują nad kluczowymi problemami związanymi z technologiami kwantowymi i często są w światowej czołówce.

Świat bez podsłuchów

Wszystkie tajemnice świata – to stawka, o jaką idzie w badaniach prowadzonych przez dr. hab. Marcina Pawłowskiego z Uniwersyte-

tu Gdańskiego. Jego zespół pracuje nad technologiami, które mają zapewnić całkowitą poufność danych przesyłanych przez komputerowe sieci. — Zrobiliśmy sobie nawet bluzy z napisem Special Quantum Cybersecurity Unit, czyli Specjalny Zespół ds. Cyberbezpieczeństwa Kwantowego — mówi z rozbawieniem badacz.

Ekspertom od cyberbezpieczeństwa nie jest jednak do śmiechu. Wiedzą, że wielkimi krokami zbliża się poważny problem. Wszystko wskazuje bowiem na to, że używane dziś sposoby szyfrowania danych za kilka lat mogą stać się w zasadzie bezużyteczne. Dlatego opracowanie nowych, stuprocentowo bezpiecznych metod zabezpieczenia komunikacji stało się zadaniem o niezwykłej wadze.

Globalny rynek technologii kwantowych do 2027 r. osiągnie wartość 42 mld dol., z czego przeszło 16 mld dol. przypadnie wyłącznie rynkowi komputerów kwantowych.

— Kryptografia kwantowa w odróżnieniu od wszystkich innych ma matematyczny dowód, że jest autentycznie bezpieczna — tłumaczy dr Pawłowski. Jego zespół w ramach grantu uzyskanego w programie FIRST TEAM Fundacji na rzecz Nauki Polskiej opracował już urządzenie, które wykorzystuje reguły mechaniki kwantowej. Poza tym, że w sposób niemożliwy do złamania

dla osoby postronnej szyfruje informacje, również wykonuje autotesty, wykrywając próby przechwycenia danych i usterki, które mogłyby doprowadzić do niewystarczająco mocnego szyfrowania.

— Można sobie wyobrazić, że rozmawiamy przez chińskie telefony za pośrednictwem amerykańskiej sieci, ale ani Amerykanie, ani Chińczycy nie będą w stanie nas podsłuchać — wyjaśnia naukowiec. Dostępne dziś na rynku terminale do szyfrowania danych nie są stuprocentowo bezpieczne, bo zawsze istnieje możliwość, że ich twórcy wbudowali w nie „tylne drzwi”, którymi mogą podglądać przesyłane za ich pomocą dane. Rozwiązaniem byłaby kontrola nad całym procesem budowy urządzenia, włącznie z nadzorem nad każdym, najmniejszym jego komponentem. W praktyce jed-



Prof. Paweł Horodecki

nak nawet największe supermocarstwa miałyby problem z osiągnięciem takiego poziomu kontroli.

Rozwiązanie opracowane przez gdański zespół eliminuje ten problem i daje możliwość szyfrowania na poziomie, który dziś jest w zasadzie nieosiągalny. — Urządzenie, które można podpiąć pod router, jest już gotowe. Takie, które zmieściłoby się w telefonie komórkowym jeszcze nie, bo część potrzebna do samotestowania jest względnie duża, więc jej miniaturyzacja zajmie zapewne jeszcze około pięciu lat — wyjaśnia dr Pawłowski i dodaje: — Pracujemy także nad o wiele bardziej zaawansowanymi problemami, takimi jak całkowicie bezpieczna dystrybucja kluczy kryptograficznych oraz zminiaturyzowane kwantowe generatory liczb losowych. W obu przypadkach mamy już patenty i zaczynamy się rozkręcać.

Kwantowy klucz do tajemnic

— Za pomocą metod kwantowych między dwiema stronami można stworzyć na żądanie klucz kryptograficzny o dowolnej złożoności — tłumaczy prof. Marek Żukowski, który również pracuje nad kwantowymi metodami zabezpieczania komunikacji. Klucz kryptograficzny to ciąg znaków umożliwiających zaszyfrowanie i odszyfrowanie danych. W przypadku braku właściwego klucza, danych nie można odczytać. Problemem w tym przypadku mogłoby być przechwycenie klucza przez niepowołaną osobę, ale i na to jest rozwiązanie. — W ramach kreacji przy pomocy technik kwantowych dwóch kopii klucza nikt nie może go podsłuchać, bo kopie są kreowane, a nie przesyłane — podkreśla profesor.

Stworzone przez prof. Żukowskiego Międzynarodowe Centrum Teorii Technologii Kwantowych (ICTQT) wspierane przez FNP w ramach programu Międzynarodowe Agendy Badawcze kwotą 35 mln zł ze środków Programu Operacyjnego Inteligentny

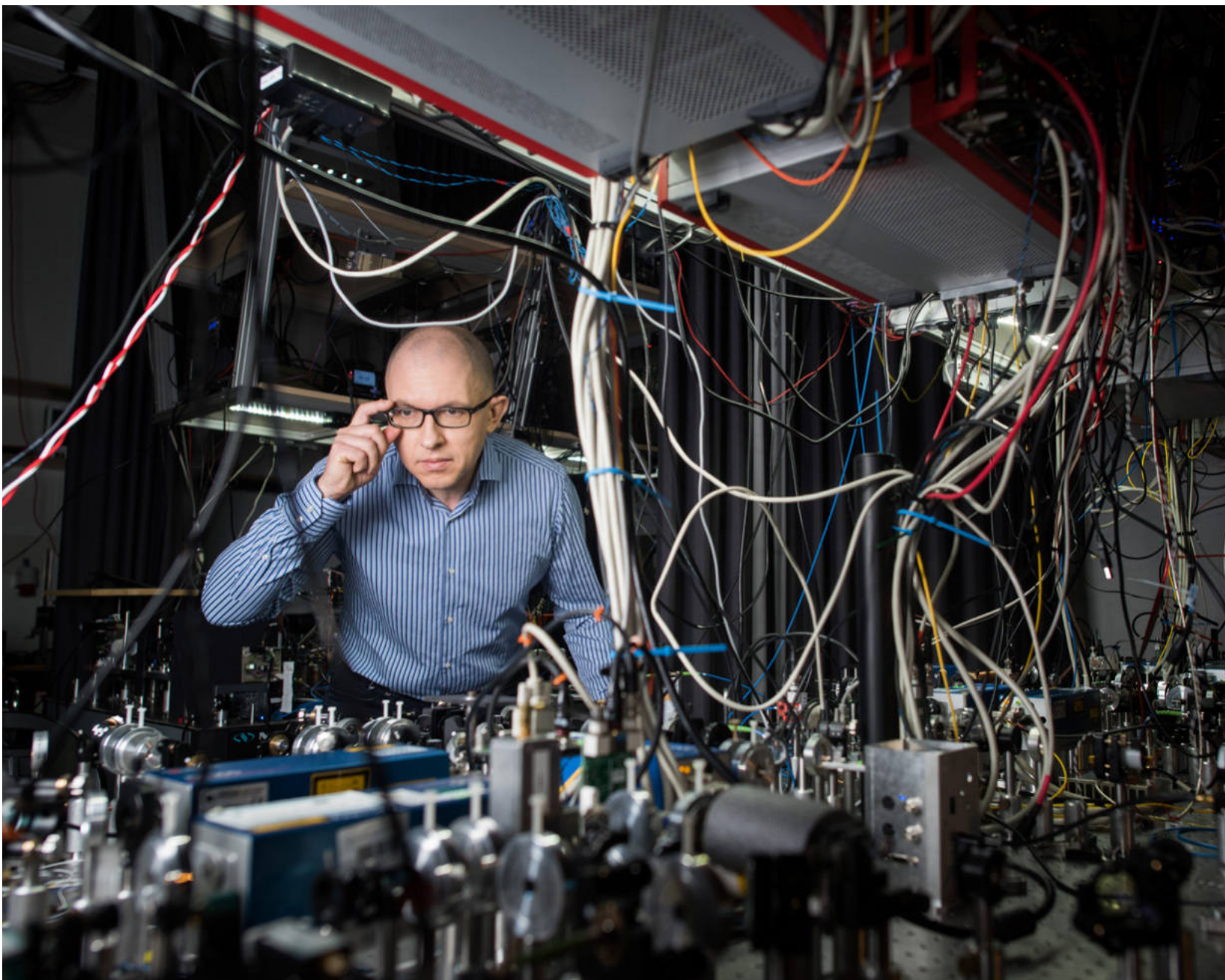
Rozwój jest jednym z czołowych ośrodków opracowujących naukowe podstawy kwantowych technologii, a sam profesor w 2013 r. został laureatem Nagrody FNP, uznawanej za najważniejsze wyróżnienie naukowe w Polsce. Strategicznym partnerem ICTQT jest centrum naukowe IQOQI-Wienna, którego założycielem jest Anton Zeilinger. Uniwersytet Gdański współpracuje z Zeilingerem od 1990 r. Najważniejsze rezultaty tej współpracy z lat 90. były omawiane w części laudacji Nagrody Nobla poświęconej jego dokonaniom.

Naturalnie w przyszłości kwantowy opis praw fizyki może zostać wzbogacony o nowe, nieznane reguły, podobnie jak po fizyce Newtona nastąpiły mechanika kwantowa i teoria względności.

Zespół ICTQT opatentował także technologie generowania liczb losowych. Generatory liczb losowych są jedną z podstaw konwencjonalnych technologii kryptograficznych, które opierają się na nich w celu tworzenia trudnych do złamania kluczy. Budowane dotąd generatory miały istotne ograniczenie: liczby nigdy nie były tak naprawdę losowe, a znając albo rozpracowując algorytm sterujący, można było z góry przewi-

dziedzieć wynik pracy generatora. To sprawia, że oparte na takich rozwiązaniach systemy mogą zawodzić. Tylko generatory kwantowe dają gwarancję całkowitej losowości liczb. Dzieje się tak dlatego, że same prawa przyrody, zapisane w matematycznych formułach, tę losowość gwarantują.

Naturalnie w przyszłości kwantowy opis praw fizyki może zostać wzbogacony o nowe, nieznane reguły, podobnie jak po fizyce Newtona nastąpiły mechanika kwantowa i teoria względności. Dlatego też zespół prof. Pawła Horodeckiego, który jako współwnioskodawca projektu brał udział w procesie zakładania ICTQT, bada m.in. odporność kwantowej generacji klucza kryptograficznego i losowości wobec ewentualnych nowych zjawisk fizycznych. Badacze niedawno wykazali, że umiarkowana kwantowa kontrola gwarantuje proste i bezpieczne wytworzenie bitu klucza dla trzech użytkowników, nawet gdyby hipotetyczny włamywacz miał dostęp



Prof. Konrad Banaszek

do urządzeń działających w oparciu o pewną klasę praw fizyki, których jeszcze nie znamy.

— Dzięki pracy ostatnich noblistów wiadomo, że kwantowe splątanie wyklucza istnienie cech indywidualnych cząstek przed pomiarem — owych „kolorów kwantowych piłeczek”. Ta właściwość oraz jej pochodne sprawiają, że mechanika kwantowa jest kryptograficznie zdumiewająco silna, tak jakby wręcz wykraczała poza swoje prawa — podsumowuje prof. Horodecki.

Od kosmosu do wnętrza mózgu

Utworzone przez prof. Konrada Banaszka Centrum Optycznych Technologii Kwantowych (QOT) na Uniwersytecie Warszawskim jest jednym z czołowych europejskich ośrodków zajmujących się technologiami kwantowymi. QOT, którego strategicznym partnerem jest Uniwersytet Oksfordzki, zostało dofinansowane przez FNP kwotą 35 mln zł w ramach programu Międzynarodowe Agendy Badawcze ze środków POIR.

— Polska zawsze była silna w matematyce czy fizyce teoretycznej. To dało bardzo dobre podstawy, by zająć się kwantową teorią informacji — wyjaśnia prof. Banaszek. — Dziś w znacznym stopniu dzięki wsparciu ze strony funduszy strukturalnych nie mamy czego się wstydzić, jeśli idzie o nasze laboratoria. Jesteśmy w stanie prowadzić badania na tym samym poziomie, co zespoły z Europy Zachodniej, USA czy Chin.

W ramach QOT działa pięć zespołów. Prof. Banaszek, dyrektor Centrum, kieruje zespołem pracującym nad zastosowaniem technologii kwantowych w łączności optycznej. Ma ona działać nawet na odległości tak wielkie, jak te które dzielą Ziemię od innych planet Układu Słonecznego. — W tej chwili wąskim gardłem w badaniach innych obiektów kosmicznych jest ilość danych, które można

przekazać na Ziemię. Większość łączności odbywa się w oparciu o sieci radiowe. Nie da się jednak takich sygnałów modulować zbyt szybko, bo częstotliwość fal nośnych jest stosunkowo niska, a jednocześnie ulegają one dyfrakcji i tylko niewielki ich ułamek trafia na Ziemię. Przejście na częstotliwości optyczne pozwoliłoby na lepsze ukierunkowanie wiązki i zakodowanie w niej większej liczby informacji — mówi prof. Banaszek, dodając: — Wyjście poza konwencjonalne technologie pozwoli na stworzenie niewielkich, prostych i efektywnych nadajników, które pozwolą zwiększyć liczbę przesyłanych danych.

Dziś w znacznym stopniu dzięki wsparciu ze strony funduszy strukturalnych nie mamy czego się wstydzić, jeśli idzie o nasze laboratoria. Jesteśmy w stanie prowadzić badania na tym samym poziomie, co zespoły z Europy Zachodniej, USA czy Chin.

Funkcjonujące w ramach QOT laboratorium urządzeń kwantowo-optycznych, kierowane przez dr. Michała Parniaka, pracuje nad wykorzystaniem technologii schłodzonych atomów, zwłaszcza atomów rubidu. Dzięki ich specyficznym właściwościom można wykorzystać je do zapisu i przetwarzania informacji. Zdaniem badaczy w przyszłości takie rozwiązania mogą posłużyć do budowy „kart sieciowych” dla komputerów kwantowych, umożliwiając tym urządzeniom komunikowanie się ze sobą. Ta sama technologia może również pozwolić na budowę precyzyjnych czujników, służących na przykład do badań biomedycznych czy szybkiej łączności bezprzewodowej.

Działające w QOT laboratorium dr. Wojciecha Wasilewskiego prowadzi z kolei prace nad technologiami, które w niezbyt odległej przyszłości mogą posłużyć do budowy prawdziwych komputerów kwantowych. Zespół stworzył m.in. kwantowe pamięci o rekordowych parametrach oraz pracuje nad przetwarzającymi tak zapisane informacje procesorami kwantowymi.

Laboratorium Kwantowej Informacji i Wnioskowania Statystycznego, kierowane przez dr. Jana Kołodyńskiego, skupia się na wyko-



Prof. Marek Kuś

rzystaniu efektów kwantowych do poprawy czułości pomiarowej i budowy nowej generacji sensorów. Mogłyby one na przykład znacząco uprościć badania neurologiczne. Tam, gdzie dziś stosowane są złożone i drogie urządzenia wymagające schłodzenia do temperatury ciekłego helu, sensory kwantowe mogłyby działać w temperaturze pokojowej, umożliwiając dokładniejsze badania. Bardziej precyzyjne czujniki mogą także pomóc w pomiarze pola grawitacyjnego, a to z kolei może mieć znaczenie na przykład podczas poszukiwania złóż surowców czy prognozowania wybuchów wulkanów. Prace zespołu dr. Kołodyńskiego publikowało m.in. „Nature Communications”.

Inny prestiżowy magazyn, „Physical Review Letters”, opublikował natomiast niedawno wyniki prac piątego zespołu QOT, kierowanego przez dr. Alexandra Streltsova. Naukowcy dowiedli, że tak zwane liczby zespolone – uważane często za twór czysto matematyczny – są niezbędnym składnikiem mechaniki kwantowej, a sformułowanie mechaniki kwantowej bez nich nie może wyjaśnić wszystkich zjawisk kwantowych.

Widmo kwantowych komputerów

Postępy prac nad kwantowymi komputerami wywierają presję na badaczy, którzy zajmują się kwantową kryptografią. Powstanie prawdziwego kwantowego komputera może bowiem sprawić, że cała konwencjonalna kryptografia stanie się w zasadzie bezużyteczna – prawdziwy komputer kwantowy będzie w stanie błyskawicznie łamać szyfry, których zwykłe komputery nie złamałyby przez stulecia.

— Kiedy pojawią się komputery kwantowe cała istniejąca kryptografia idzie do kosza. Będziemy musieli zmienić systemy kryptograficzne w setkach miliardów urządzeń — wyjaśnia dr Pawłowski,

dodając: — W dodatku szyfry można złamać później, czyli nagrać łączność teraz i odczytać, kiedy pojawi się odpowiednia technologia. Jeżeli ktoś zarejestrował na przykład szyfrowaną rozmowę telefoniczną Władimira Putina z Emanuelem Macronem, to wkrótce po pojawieniu się komputera kwantowego będzie można ją po prostu odsłuchać.

Same komputery kwantowe są jednak wciąż dalekie od doskonałości. Mimo szumnych zapowiedzi wciąż nie istnieje urządzenie, które by można było nazwać pełnoprawnym komputerem kwantowym. Na drodze stoi wiele przeszkód. — To, co jest w tej chwili dostępne, to raczej próba pokazania w stosunkowo małym układzie, że rzeczywiście mechanika kwantowa pozwala na przyspieszenie pewnych operacji — wyjaśnia prof. Marek Kuś. Jego zespół wspierany grantem FNP ze środków POIR w ramach programu TEAM-NET, opracowując teoretyczne podstawy budowy komputerów kwantowych, skupia się na testowaniu oprogramowania i tworzeniu algorytmów usprawniających ich działanie.

Dziś jednym z zasadniczych problemów z konstrukcją kwantowych komputerów jest to, że podstawowe jednostki, z których składają się takie urządzenia, tzw. kubity, szybko tracą swoje kwantowe właściwości. I to często, zanim zdołają przeprowadzić jakiegokolwiek użyteczne obliczenia. — Układy kwantowe mają tendencję, by w oddziaływaniu z otoczeniem stawać się coraz bardziej „klasycznymi”. Tymczasem komputer musi oddziaływać z otoczeniem, bo musimy informację z komputera wydobyć. To jest główna tematyka naszych badań. Chcemy odpowiedzieć, w jaki sposób przy obecnych zasobach ustabilizować kubity, czyli zapobiec ich tak zwanej dekoherencji lub przynajmniej ograniczyć jej zgubny wpływ — tłumaczy prof. Kuś.

Kiedy pojawią się komputery kwantowe cała istniejąca kryptografia idzie do kosza. Będziemy musieli zmienić systemy kryptograficzne w setkach miliardów urządzeń.



Prof. Magdalena Stobińska

Komputer kwantowy ma działać na zupełnie innej zasadzie niż współczesne komputery oparte na mikroprocesorach. Podczas gdy konwencjonalne komputery operują bitami, czyli informacją zapisaną przy pomocy ładunków elektrycznych interpretowanych jako zera i jedynki, komputer kwantowy opiera się na wspomnianych kubitach, które nie są po prostu zerem lub jedynką, ale dzięki tzw. superpozycji mogą być zerem i jedynką jednocześnie. Zamiast analizować dane sekwencyjnie, superpozycja umożliwia dwóm kubitom jednocześnie badanie czterech scenariuszy, a trzem kubitom – ośmiu. Moc urządzenia rośnie wykładniczo wraz ze wzrostem liczby kubitów.

Komputery kwantowe nie są lepsze od tradycyjnych we wszystkich zastosowaniach – tradycyjne mikroprocesory co najmniej równie dobrze nadają się do przeglądania Internetu czy obsługi arkuszy kalkulacyjnych, jednak w przypadku analizy wielkich zbiorów danych czy problemów optymalizacyjnych mają być w stanie prowadzić obliczenia tysiące razy szybciej. A to daje nadzieję na duży postęp w wielu dziedzinach.

— Jeśli mamy kilka możliwości realizacji danego procesu, musimy stwierdzić, który jest najbardziej korzystny pod względem zasobów czy czasu — mówi prof. Kuś, podkreślając, że w grę wchodzi zarówno problemy technologiczne, jak i czysto naukowe: — Dobrym przykładem jest zarządzanie ruchem ulicznym w mieście czy lotniczym nad terytorium danego kraju. Normalne komputery nie nadążają z analizą tych danych w czasie rzeczywistym.

Ludzkość codziennie produkuje około 2,5 egzabajtów danych – to 2,5 mld terabajtów. Analiza wszystkich tych informacji przy pomocy konwencjonalnych komputerów jest po prostu niemożliwa. Tylko komputery kwantowe mogą pomóc przetworzyć tak wielkie ilości danych, co może przynieść korzyści na przykład w lepszym zarządzaniu gospodarką czy zdrowiem publicznym. Na razie jednak to kwestia przyszłości. Prawdziwy komputer kwantowy, by być w stanie przetwarzać użyteczne ilości danych, powinien mieć co

najmniej kilka tysięcy kubitów. Największe istniejące dziś maszyny dysponują najwyżej 250 kubitami. IBM zapowiada, że w ciągu dwóch lat stworzy komputer kwantowy o tysiącu kubitów.

Nie tylko komputery

Zespół prof. Magdaleny Stobińskiej, zamiast tworzyć „kwantowy mikroprocesor”, czyli uniwersalną maszynę, która może służyć do wielu różnych typów obliczeń, skupia się na projektowaniu kwantowych układów stworzonych do wykonywania konkretnych zadań. — Zajmujemy się kwantowymi obliczeniami, na przykład transformatami, szczególnie dobrze nadającymi się do analizy danych oraz do symulacji kwantowych, które pozwalają nam przewidzieć istnienie nowych ciekawych materiałów — tłumaczy prof. Stobińska. Jej zespół otrzymał finansowany z POIR grant FNP w ramach programu FIRST TEAM i współpracuje z wieloma ośrodkami na całym świecie, w tym z NASA i Europejską Agencją Kosmiczną (ESA). — Z ESA współpracujemy nad zastosowaniem hybrydowych sieci neuronowych do przetwarzania wielowymiarowych obrazów z satelitów do obserwacji Ziemi — wyjaśnia badaczka.

Prof. Stobińska podkreśla, że ogromną rolę w jej badaniach odgrywają kontakty z innymi ośrodkami naukowymi, m.in. Uniwersytem Oksfordzkim, Imperial College London czy Sorboną, ale także z biznesem. — Interdyscyplinarność i międzysektorowość są kluczowe i bardzo o nie dbam. Współpraca z biznesem otwiera drzwi i wpuszcza wiele świeżego powietrza, pozwala stosować badania do realnych problemów — mówi badaczka.

Opracowane przez warszawski zespół rozproszone protokoły kwantowe już wkrótce będą stosowane w długodystansowej metrologii, komunikacji kwantowej i obliczeniach. Połączenie fotoniki i nanotechnologii powinno także otworzyć drzwi do superczułych kamer na podczerwień czy tanich, precyzyjnych sensorów chemicznych lub biologicznych, które mogłyby na przykład monitorować zanieczyszczenia.



Dr Radek Łapkiewicz

Kwantowe podglądanie przyrody

Zespół dr. Radka Łapkiewicza z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, laureata programu FIRST TEAM Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, wykorzystuje kwantowe technologie do podglądania przyrody w jej najmniejszych detalach. Opracowane przez niego rozwiązanie pozwala przełamać bariery, które jeszcze niedawno wydawały się być absolutnymi granicami naszych badawczych możliwości.

– Tradycyjna mikroskopia fluorescencyjna ma ograniczoną rozdzielczość. Jest to tzw. ograniczenie dyfrakcyjne, które oznacza, że nie jesteśmy w stanie rozróżnić dwóch obiektów, które są bliżej, niż połowa długości fali światła, czyli zwykle ok. 250 nm – tłumaczy dr Łapkiewicz. – Dzięki pomiarowi korelacji par fotonów emitowanych z próbki możemy poprawić rozdzielczość mikroskopu dwukrotnie. Okazuje się, że nawet niewielka poprawa rozdzielczości może mieć praktyczne znaczenie, np. umożliwiając charakteryzację kształtów kolców dendrytycznych, które odgrywają kluczową rolę w procesach uczenia się i uzależnień.

Zastosowanie efektów kwantowych w obrazowaniu biologicznym to prawdziwy przełom. Dotychczasowe techniki kwantowe stosowane w obrazowaniu wymagały przygotowania skomplikowanych stanów światła, którymi oświetlano próbkę. Technika opracowana przez zespół Laboratorium Obrazowania Kwantowego na Wydziale Fizyki UW wspólnie z zespołami prof. Yarona Silberberga i prof. Dana Orona z Instytutu Weizmanna w Izraelu wykorzystuje kwantowe właściwości światła emitowanego przez samą próbkę.

Istnieje wiele technik mikroskopowych oferujących rozdzielczość znacząco przekraczającą ograniczenie dyfrakcyjne, ale zwykle wymagają one istotnych modyfikacji układów doświadczalnych lub specjalnego przygotowania próbek. Rozwiązanie przygotowane

Dzięki pomiarowi korelacji par fotonów emitowanych z próbki możemy poprawić rozdzielczość mikroskopu dwukrotnie.

przez zespół Laboratorium Optyki Kwantowej na Wydziale Fizyki UW wspólnie z zespołami z Instytutu Weizmanna w Izraelu jest tańsze i znacznie łatwiejsze w użyciu. Co ważne, jest ono kompatybilne z istniejącymi mikroskopami: wystarczy wymienić w mikroskopie detektor na miniaturową kamerę czułą na pojedyncze fotony (macierz detektorów pojedynczych fotonów), by zyskać zdecydowaną poprawę możliwości obserwacji.

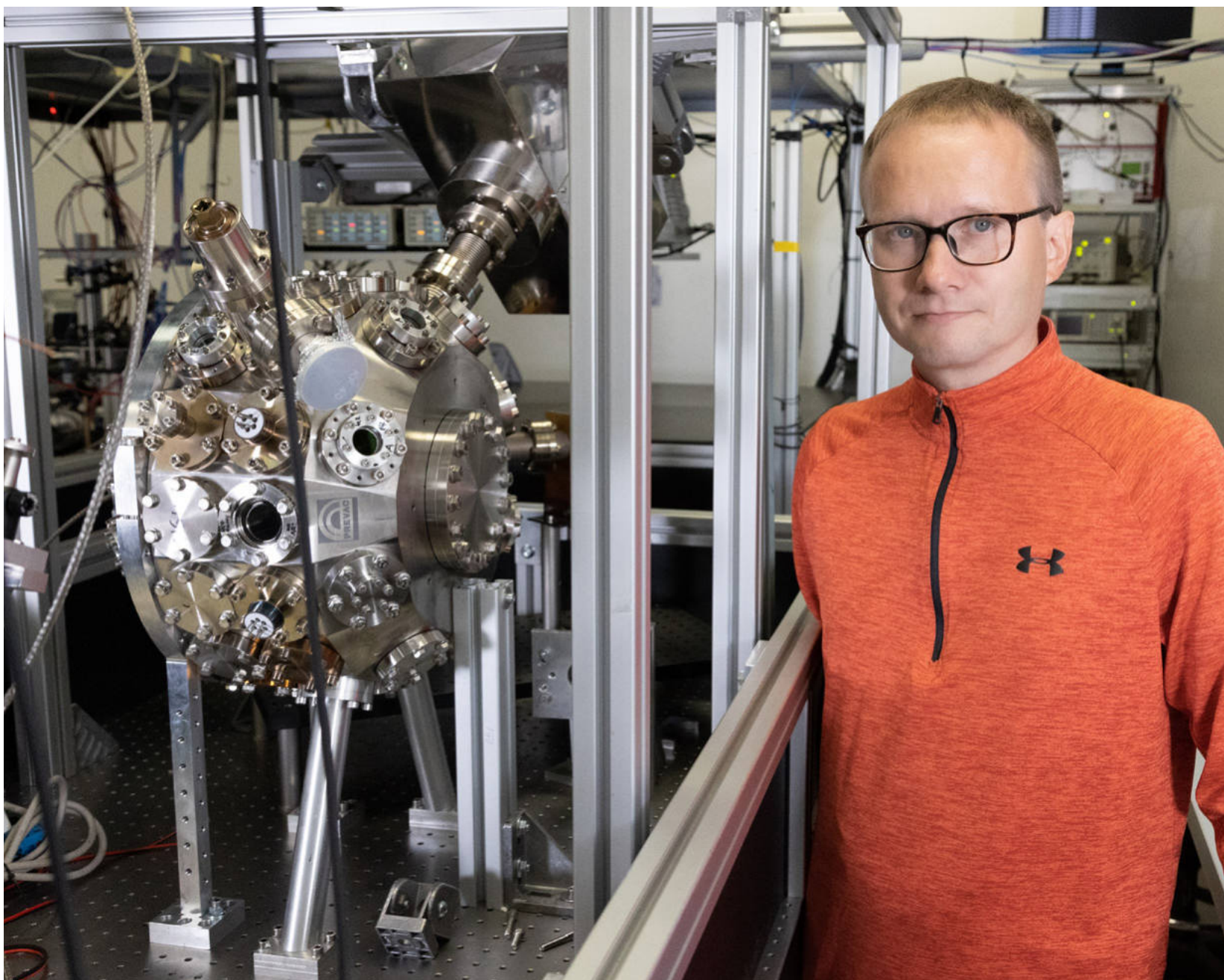
– Staramy się zastosować naszą wiedzę i doświadczenie do rozwiązywania praktycznych problemów w bio-obrazowaniu. Dużo rozmawiamy z biologami i budujemy narzędzia, które ułatwią im pracę w laboratorium i umożliwią zebranie danych, których nie uzyskaliby używając komercyjnie dostępnych urządzeń – mówi fizyk, dodając: – Ciekawe jest też to, że

choć szukamy zastosowań, używamy fundamentalnych właściwości światła takich jak np. niepodzielność pojedynczego fotonu.

Zegary i trzęsienia ziemi

Odpowiedzi na wielkie pytania z użyciem technologii kwantowych poszukuje także dr hab. Michał Zawada, profesor Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Laureat programu TEAM FNP stworzył globalną sieć składającą się z superprecyzyjnych instrumentów, które pozwalają mierzyć najbardziej zagadkowe zjawiska astronomiczne. Chodzi o optyczne zegary atomowe, 40 tys. razy bardziej precyzyjne od konwencjonalnych zegarów atomowych.

— Każdy zegar ma dwie najważniejsze części, jedną oczywistą i jedną nieoczywistą. Oczywista to wahadło. Nieoczywista to zegarmistrz, który mówi ile wahaniec to jedna sekunda — wyjaśnia dr Zawada. — W optycznym zegarze atomowym zegarmistrzem są atomy, a wahadłem światło lasera.



Dr hab. Michał Zawada

Precyzja optycznych zegarów jest tak wielka, że jakiegokolwiek zaburzenia w ich pracy pozwalają wykrywać inne zjawiska, np. położony w Paryżu zegar jest w stanie z łatwością wykrywać fale uderzające w brzeg Kanału La Manche. Sprzężenie rozmieszczonych na świecie zegarów atomowych mogłoby otworzyć przed badaczami zupełnie nowe możliwości w makro i mikroskali. Dr Zawada wierzy, że takie pomiary mogłyby pomóc w poszukiwaniu nowej fizyki, wykraczającej poza ograniczenia obowiązującego modelu standardowego, na przykład zmienności stałych fizycznych czy w poszukiwaniu ciemnej materii. Mogą jednak mieć także dużo bardziej „przyziemne” zastosowania, choćby w pracy geologów, którzy za pomocą superczułej sieci zegarów mogliby próbować przewidywać trzęsienia ziemi czy wybuchy wulkanów.

Wielkie nadzieje, wielkie problemy

Na przełom w technologiach kwantowych czekaliśmy od dziesięcioleci i wiele wskazuje na to, że wreszcie zbliża się on wielkimi krokami. Postępy dokonane w innych technologiach w ostatnich dwóch dekadach pozwoliły bowiem inżynierom sprawnie manipulować materią w skali, która do niedawna wydawała się zupełnie niemożliwa do osiągnięcia.

— Fizyka kwantowa działa na poziomie pojedynczych cząstek elementarnych i technologia musiała zrobić duży postęp, żebyśmy byli w stanie z niej w pełni korzystać – tłumaczy dr Pawłowski, dodając: — Erwin Schrödinger powiedział, że eksperymenty na pojedynczych cząstkach to jak posiadanie ichtiozaura w zoo. Możemy o tym gdybać, ale to nigdy się nie wydarzy. Tymczasem teraz z pojedynczą cząstką jesteśmy już w stanie zrobić wszystko. Biologia też idzie do przodu, więc kto wie, może ichtiozaura także się doczekamy?

Pracy przed badaczami jest jeszcze bardzo wiele. Zwłaszcza przed tymi, którzy skupiają się na tworzeniu podstaw pod kwantowe komputery. — Uważam, że ciągle brakuje nam jakiegoś przełomowego pomysłu — uważa prof. Kuś. — Jest kilka pomysłów tech-

nologicznych, jak skonstruować taki komputer i są dwa podejścia do problemu: jeden związany z badaniami superzimnej materii, pozwalającej umieszczać poszczególne atomy w sieci oraz drugi, optyczny, polegający na wykorzystaniu światła laserowego. Ale który zwycięży, dziś nikt tego nie wie.

Pewne jest jednak, że w komunikacji, w obliczeniach i w nowoczesnych technikach pomiarowych już wkrótce technologie kwantowe staną się nieodzownym narzędziem badaczy i inżynierów. A polscy naukowcy robią już dziś wielkie kroki na drodze do kwantowej przyszłości.



**Fundusze
Europejskie**
Program Regionalny

Środki z Funduszy Europejskich wspierają naukowców z Ukrainy

Informujemy beneficjentów
o możliwości pokrycia
kosztów zatrudnienia
pracowników B+R z Ukrainy
w trwających projektach
w Działaniu 4.4

Dowiedz się więcej: www.fnp.org.pl



Mapa webinarów. Jak Fundusze Europejskie wspierają badania naukowe i innowacje

Podczas cyklu spotkań wybitni naukowcy zaprezentowali najnowsze wyniki badań z zakresu zielonej energetyki, diagnostyki medycznej czy nowych materiałów. Przedstawiono również osiągnięcia w obszarze walki z COVID-19 oraz usługi badawcze oferowane biznesowi. Uczestnikami webinarów byli między innymi eksperci wypowiadający się na łamach niniejszej publikacji. Nagrania stanowią uzupełnienie wiedzy na tematy podejmowane w wydawnictwie, a często przestrzeń internetowych dyskusji umożliwiła ich pogłębienie. Wydarzenia odbyły się w grudniu 2022 roku.



Badania, prezentowane podczas cyklu webinarów, były współfinansowane ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój.

Programy:
Międzynarodowe Agendy Badawcze, FIRST TEAM, HOMING,
POWROTY, TEAM, TEAM-NET, TEAM-TECH,
współfinansowane są ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego
z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój.





Fundacja na rzecz
Nauki Polskiej

www.fnp.org.pl