Krakowscy fizycy z UJ podbijają rankingi natureINDEX

prof. dr hab. Ewa Gudowska-Nowak
Dziekan Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ

Od 2015 roku Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego (WFAIS UJ) funkcjonuje w oparciu o nowe budynki i bogatą infrastrukturę badawczą na Kampusie 600 Lecia Odnowienia UJ. Zastrzyk finansowy związany z pozyskaniem unijnych funduszy strukturalnych oraz realizacją około 130 grantów finansowanych z budżetu państwa zaowocował innowacyjnymi badaniami w zakresie nanostruktur, biomateriałów, informacji kwantowej, astrofizyki i spektroskopii molekularnej. Filarem działalności WFAIS w najbliższych latach będzie zatem dbałość o wewnętrzną samodyscyplinę, utrzymanie wysokiej jakości kształcenia i prowadzonych prac badawczych. W planach mamy otwarcie „akademickiego programu studiów", oparte na ofercie dydaktycznej wybranych przedmiotów w języku angielskim, z możliwością zatrudnienia profesorów wizytujących z zagranicy. Umiędzynarodowienie projektów dydaktycznych nie tylko wzmocni jakość kształcenia na Wydziale skutkując tworzeniem wyspecjalizowanych kadr i edukacją elit, ale też ułatwi współpracę z wieloma partnerskimi uczelniami Europy i świata. Jednocześnie zacieśniać będziemy strategiczną współpracę naszego Wydziału z najlepszymi analogicznymi wydziałami w Polsce. Wymiana wielostronnych poglądów i budowanie spójnej wizji rozwoju centrów naukowych w Polsce powinny posłużyć potwierdzeniu potencjału rozwoju społecznego tkwiącego w nauce.

Znaczący dla tworzenia uniwersyteckiej społeczności naukowej jest odpowiedni system zarządzania. Przyjęty na Wydziale system akademicki, w którym przyjęliśmy zasadę delegowania wszystkich pracowników do czasowego pełnienia różnych funkcji, przynosi wymierne efekty w postaci usamodzielniania się młodych naukowców i wzrostu ich przedsiębiorczości. Integracja Wydziału i Uczelni ze środowiskiem wymaga także intensyfikacji naszych kontaktów z przedsiębiorcami i lokalnymi pracodawcami.

Z uwagą wsłuchujemy się w opinie społeczności akademickiej, która oczekuje od nas wsparcia w budowaniu kompetencji miękkich. Lokalizacja na nowym kampusie, w bezpośrednim sąsiedztwie Wydziału Zarządzania i Komunikacji Społecznej z pewnością pozwoli na szybkie nawiązanie współpracy w zakresie wspólnej organizacji zajęć o charakterze szkoleniowym dedykowanych grupie studentów mających ambicje poznania psychologicznych technik zarządzania.

Wiodącym nurtem obecnie prowadzonych na WFAIS prac teoretycznych i eksperymentalnych są zarówno projekty z zakresu badań podstawowych, jak i zagadnienia multidyscyplinarne, wykorzystujące nasze doświadczenie i wiedzę do współpracy z biologami, kognitywistami czy lekarzami, np. w analizie sieci dynamicznych lub przetwarzaniu danych pochodzących z sygnałów neuronalnych. Takie otwarcie z pewnością miało wpływ na pozycję Uniwersytetu Jagiellońskiego w ostatnich rankingach czasopism z grupy "Nature" - w odniesieniu do ubiegłych 4 lat UJ aż o 34 % podniósł swój indeks klasyfikujący „wschodzące gwiazdy nauki". Jesteśmy liderem wśród innych europejskich uczelni, przy czym w kategorii tej, nauką kreującą wskaźniki nowych technologii jest właśnie fizyka reprezentowana na naszym Wydziale. Wyprzedziliśmy tym samym wiele renomowanych instytucji, co jest dla nas olbrzymim powodem do dumy.

www.fais.uj.edu.pl

Złożoność mózgu

dr Jeremi Ochab
Zakład Teorii Układów Złożonych, Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego WFAIS UJ

Fizycy z Zakładu Teorii Układów Złożonych Instytutu Fizyki WFAIS UJ włączają się w nurt badań neuropsychologicznych od ponad dwóch lat prowadząc wspólne badania z Instytutem Psychologii Stosowanej UJ i Małopolskiego Centrum Biotechnologii. Ich celem jest opracowanie nowych metod matematycznych i informatycznych pozwalających wyłapywać i odczytywać z zapisu aktywności mózgu istotne informacje.

Mocno zaangażowany w zgłębianie tej problematyki jest **dr Jeremi Ochab**, który w ramach konkursu SONATA 9 realizuje projekt dotyczący „Zastosowania teorii układów złożonych do wielowymiarowej analizy fluktuacji sygnału EEG mózgu człowieka".

Młody naukowiec poprzez swoje badania zamierza znaleźć zależności pomiędzy zapisami EEG, a zachowaniami człowieka. Jak informuje nas sam zainteresowany - *Dzięki finansowaniu z NCN, we współpracy z Zespołem Zakładów Fizyki Teoretycznej, Centrum Badań Systemów Złożonych oraz Zakładów Biofizyki tworzę na Wydziale Fizyki UJ nowe laboratorium EEG. W naszych badaniach chcemy skupić się na wyłapaniu z olbrzymiej ilości sygnałów mózgowych informacji, które potwierdzą współpracę różnych części mózgu lub wskażą jak statystyczne zachowania w skali grup komórek neuronalnych są powiązane ze statystycznym zachowaniem ludzi.* Aparaturę do badań mózgu którą Wydział otrzymał w ramach grantu NCN, doktor Ochab, wspólnie z kolegami z wydziałowej informatyki, zamierza wykorzystać jako interfejs mózg – komputer. Tymczasem trwają przygotowania do pierwszego własnego eksperymentu: *we współpracy z Instytutem Psychologii Stosowanej UJ i Małopolskim Centrum Biotechnologii, z pomocą interdyscyplinarnych narzędzi – np. teorii grafów, teorii informacji, fizyki statystycznej, teorii macierzy przypadkowych – chcemy odkryć czy z fal mózgowych możliwe jest odczytanie informacji o popełnieniu błędu, zanim człowiek sobie to uświadomi lub wręcz zanim ów błąd zostanie popełniony* – wyjaśnia fizyk. Do swoich badań dr Ochab zaprasza ambitnych studentów z różnych lat i z różnych kierunków studiów UJ, by wspólnie swoją wiedzą mogli przyczynić się do rozwijania diagnostyki chorób neurodegeneracyjnych i chorób psychicznych.

Migracje komórek

dr hab. Zenon Rajfur
Zakład Fizyki Materiałów Organicznych, Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego WFAIS UJ

Zastosowaniem fizyki na potrzeby medycyny zajmują się także naukowcy z grupy **dr hab. Zenona Rajfura** z **Zakładu Fizyki Materiałów Organicznych (ZFMO)** na Wydziale FAIS UJ. Uczeni zajmują się obecnie poznawaniem mechanizmów molekularnych regulujących proces szeroko rozumianej migracji komórkowej, której zaburzenie skutkuje powstawaniem stanów chorobowych. Jak wyjaśnia dr Rajfur: *migracja komórek jest jednym z fundamentalnych i niezwykle złożonych procesów biologicznych, z którym związanych jest wiele ważnych zjawisk biologicznych: rozwój morfogenetyczny zarodka, gojenie ran, procesy immunologiczne czy rozwój systemu nerwowego. Zaburzenia w mechanizmach regulacyjnych migracji komórek, które obecnie badamy, przyczyniają się do powstawania stanów patologicznych, w tym m.in. chorób układu krążenia, osteoporozy, artretyzmu, chronicznych stanów zapalnych czy procesów nowotworowych, a w szczególności metastazy (przerzutowania) nowotworów.* Wyniki prac naukowych wykonywanych w grupie dr hab. Zenona Rajfura mogą prowadzić do opracowania nowych, bardziej efektywnych leków i terapii przeciwnowotworowych, czy antymetastatycznych. Naukowcy udowodnili już wpływ mechanicznych czynników środowiskowych otoczenia na proces migracji. *Proces mechanotransdukcji polega na przetwarzaniu bodźców/sygnałów mechanicznych z otoczenia komórki, takich jak elastyczność/sztywność otoczenia, wymiarowość podłoża, czy dostępność molekuł sygnalizacyjnych na biochemiczną regulację stanu żywych komórek, bądź tkanek. Dotychczas prowadzono badania na podłożach sztywnych (szkło, plastik), jednak gdy odeszliśmy od utartej ścieżki dowiedliśmy, że migracja komórek keratynocytowych silnie zależy od elastyczności podłoży. To duży przełom w badaniach, który może znacznie przyspieszyć prace nad opracowaniem skutecznych leków przeciwnowotworowych* – tłumaczy krakowski biofizyk.

Ważnym aspektem prowadzonych w ZMFO UJ prac jest łączenie zaawansowanych metod optycznych - wysokorozdzielczej mikroskopii konfokalnej, trakcji komórkowych i szczypiec optycznych – z metodami bioinformatycznymi oraz wielopoziomowej korelacji otrzymanych danych eksperymentalnych. Prowadzenie takich wieloparametrowych badań przynosi grupie krakowskiej pionierskie wyniki naukowe pozwalające na znaczny postęp w badaniach biofizycznych procesów życiowych.

SERIOUS GAMES

dr hab. Paweł Węgrzyn
Zakład Technologii Gier (ZTG WFAIS UJ)

Równie ciekawie prezentuje się obszar zainteresowań **Zakładu Technologii Gier** (ZTG UJ) związany z informatyką stosowaną. Obecnie zespół pod kierownictwem **dr hab. Pawła Węgrzyna** zajmuje się symulacjami fizyki i sztucznej inteligencji oraz projektowaniem naturalnych interfejsów użytkownika i wykorzystaniem narzędzi informatyki afektywnej w grach oraz w aplikacjach poszerzonej i wirtualnej rzeczywistości. Grupa ZTG bada wskaźniki identyfikacji emocji, aby w przyszłości móc je dobrze interpretować w celu zaplanowania nowych metod komunikacji człowieka z inteligentnymi maszynami za pomocą gestów, słów, mimiki twarzy, ruchów sylwetki, sczytywania sygnałów pochodzących z ciała i mózgu. *Od kilka lat interesuje nas analiza sygnałów emocjonalnych w aplikacjach czasu rzeczywistego* – mówi dr hab. Węgrzyn. *Można wykorzystać je do profilowania użytkownika, jak i do sterowania aplikacjami – poziom gry lub innej aplikacji, jej intensywność, nastrój, czy akcja automatycznie dopasowują się do odczytywanego w danej chwili stanu emocjonalnego gracza lub klienta. Koncentrujemy nasze badania w obszarze gier poważnych (**Serious Games**), których głównym celem nie jest rozrywka, ale praktyczne wsparcie różnych obszarów: zarządzania kryzysowego, edukacji, obronności, marketingu czy zdrowia i medycyny.* Dla ostatniej z wymienionych w ZTG stworzono całą paletę aplikacji mających zachęcić pacjentów do nieprzyjemnej terapii, odwrócić uwagę od bólu, pomóc się z nim oswoić oraz takich, które diagnozują u osób starszych kłopoty z pamięcią jednocześnie oferując pomoc terapeutyczną poprzez szereg ćwiczeń. Bieżącymi projektami grupy pod kierownictwem dra hab. Węgrzyna są symulatory włosów, algorytmy rozpoznawania gestów, modele systemów afektywnych, wirtualny model serca.

Zespół ZTG gromadzi specjalistów od modelowania systemów fizycznych i sztucznej inteligencji oraz przeprowadzania szybkich obliczeń komputerowych z udziałem procesorów kart graficznych, ale poruszane w ZTG zagadnienia często wykraczają daleko poza kompetencje informatyków i fizyków - tworzenie gier poważnych oraz algorytmów do automatycznego rozpoznawania emocji wymaga współpracy interdyscyplinarnej angażującej środowiska naukowców i praktyków z różnych środowisk – humanistów, psychologów, neuropsychologów, a także lekarzy. Zakład Technologii Gier rozszerza współpracę w środowisku międzynarodowym i pozostaje w ścisłej współpracy z pracownikami naukowymi Collegium Medicum UJ, Wydziału Zarządzania i Komunikacji Społecznej UJ, Wydziału Polonistyki UJ i Wydziału Filozofii UJ. Współpracuje także z wieloma firmami.

TEORIE i STATYSTYKI

dr hab. Bartłomiej Dybiec
Zakład Fizyki Statystycznej, Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego WFAIS UJ

Fizycy z UJ zajmują się także fizyką teoretyczną. Szczególne osiągnięcia ma w tej dziedzinie **Zakład Fizyki Statystycznej**. Fizyka statystyczna zajmuje się badaniem układów składających się z bardzo wielu elementów, których dokładne opisanie jest bardzo trudne lub niemożliwe. Krakowscy uczeni z sukcesem stosują i rozwijają metody statystyczne, które mogą być z powodzeniem używane w opisie wielu układów. Jak wyjaśnia **dr hab. Bartłomiej Dybiec**: *paradoksalnie wysoka skuteczność takiego podejścia opiera się na strukturze rzeczywistych układów - składają się one z bardzo wielu elementów, których ilość pozwala z powodzeniem stosować metody statystyczne i twierdzenia graniczne.*

Modele sieciowe, którymi także zajmują się teoretycy z ZFS IF UJ, odgrywają coraz większą rolę w badaniu układów złożonych, których przykładami mogą być układy społeczne lub epidemiologiczne. Dr hab. Bartłomiej Dybiec wskazuje, że *trudność w ich opisie determinują nie tylko liczne istniejące powiązania między jednostkami z których złożone są wspomniane układy, ale także ich nieustanna ewolucja*.

Poza typowymi obiektami badań podejście krakowskich naukowców znajduje zastosowanie w opisie i badaniu modeli epidemiologicznych i socjofizycznych. Pomimo tego, że składają się one z bardzo wielu różniących się miedzy sobą jednostek, układy te charakteryzuje wiele wspólnych, często przewidywalnych makroskopowych własności i zachowań. Dr Dybiec, oprócz prac poświęconych tym zagadnieniom, wspólnie z kolegami z Niemiec, Danii, Anglii i Szkocji zajmuje się także nierównowagową fizyką statystyczną, badaniem dyfuzji anomalnej i zjawisk indukowanych szumami.

Kontrolowane reakcje termojądrowe

prof. dr hab. Marcin Wójcik - Zakład Doświadczalny Fizyki Komputerowej, Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego WFAIS UJ

Krakowscy fizycy z Uniwersytetu Jagiellońskiego wyspecjalizowali się także w poszukiwaniu bardzo rzadko zachodzących oddziaływań cząstek elementarnych z materią detektorów oraz w wykrywaniu niezwykle mało prawdopodobnych reakcji jądrowych. Szczególne osiągnięcia ma w tym zakresie **Zakład Doświadczalny Fizyki Komputerowej,** którym kieruje **prof. Marcin Wójcik**. Osiągnięcia i wkład grupy krakowskiej w poznawanie tajemnic fizyki doceniają środowiska międzynarodowe poszukujące rozwiązań ukierunkowanych na badanie termojądrowego źródła energii słonecznej. **Uzyskanie kontrolowanej reakcji termojądrowej w celu pozyskania energii na skalę przemysłową jest celem wielu eksperymentów laboratoryjnych.**

Znaczący wkład grupy krakowskiej w międzynarodowym eksperymencie GALLEX, w którym po raz pierwszy w historii potwierdzono teorię spalania wodoru jako głównego źródła energii słonecznej, zaowocował zaproszeniem do udziału w znacznie trudniejszym eksperymencie BOREXINO w podziemnym laboratorium włoskiego Gran Sasso, którego celem był pomiar widm energetycznych neutrin słonecznych. Wyniki opublikowano w prestiżowym czasopiśmie naukowym Nature. Według standardowego modelu cząstek, neutrina nie posiadają masy. Natomiast wyniki eksperymentu BOREXINO można jedynie zinterpretować zakładając różną od zera masę neutrin – wyjście poza model standardowy. Zakończone kolejnym sukcesem wielokierunkowe badania prowadzone przez eksperymentatorów z Instytutu Fizyki UJ, przyniosły grupie prof. Wójcika renomę i zaproszenia do kolejnych ważnych przedsięwzięć: GERDA, SOX, NEXT oraz JUNO. To tylko niektóre z ważniejszych, skupionych na przełomowych odkryciach projektów, poszukujących fizyki spoza standardowego modelu cząstek, w których mają lub będą mieć swój wkład fizycy z UJ.

Unikatowa specjalizacja grupy krakowskich eksperymentatorów kierowanej przez prof. Wójcika, przed kilkoma laty włączyła się także do prac nad poszukiwaniem cząstek ciemnej zimnej materii, na której istnieje wskazują wyniki obserwacji galaktyk i klastrów galaktyk. Próby wykrycia hipotetycznych cząstek ciemnej materii podejmowane są przy użyciu detektora kriogenicznego napełnionego ciekłym argonem w eksperymencie DarkSide. *Początkowo używaliśmy detektorów o masach 10 i 50 kg argonu. Obecnie prowadzimy prace zmierzające do uruchomienia w podziemiach włoskiego laboratorium detektora o masie 20 ton ciekłego, izotopowo wzbogaconego argonu. W najbliższych latach, detektor ten będzie najbardziej czułym instrumentem do wykrywania cząstek ciemnej zimnej materii* – wyjaśnia prof. Wójcik.

Garażowy sposób na urzeczywistnianie pomysłów

dr Jakub Mielczarek - Zakład Teorii Układów Złożonych, Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego WFAIS UJ

Uważam, że żyjemy w świecie kryzysu znaczenia pomysłu – mówi **dr Jakub Mielczarek, Adiunkt w Zakładzie Teorii Układów Złożonych, WFAIS, UJ.** *Wynika to z olbrzymiej różnorodności technologicznej i naukowej obserwowanej w dzisiejszym świecie. Każdy nowy dzień przynosi nam setki nowych publikacji i rozwiązań technologicznych. W trakcie półgodzinnej burzy mózgów można wygenerować przynajmniej kilka, jakby się wydawało, świetnych pomysłów. Wymyślenie czegoś nowego, przez skojarzenie dwóch nie łączonych wcześniej faktów nie jest trudne w czasach nadprodukcji informacji. W konsekwencji, generowanie fajnych pomysłów przestaje być wystarczającą pożywką dla ambicji, a prawdziwym wyzwaniem i zadaniem trudnym jest podjęcie się realizacji ambitnego pomysłu.* **Garaż Złożoności** to miejsce na WFAIS, dające możliwość rozpoczęcia swojej przygody w urzeczywistnianiu pomysłów. A jest to zadanie niełatwe, wymagające samozaparcia, dyscypliny i cierpliwości, czyli deficytowych w obecnym galopującym świecie wartości.

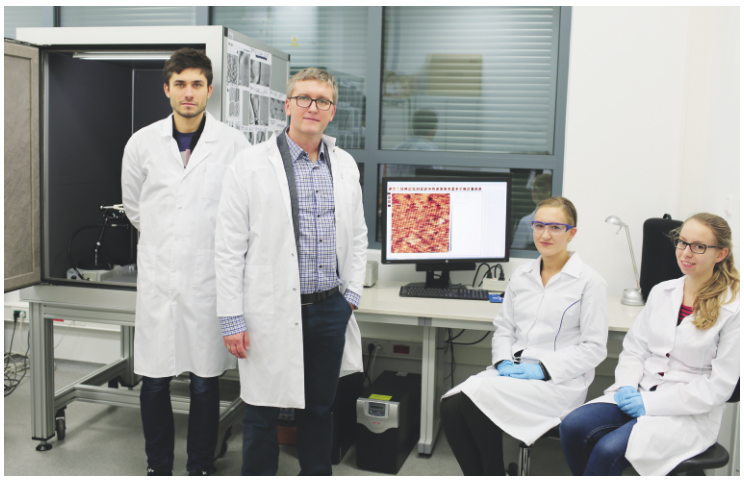
W ramach Garażu Złożoności, stawiamy sobie za cel wypracowanie ścieżki selekcji i realizacji wartościowych koncepcji, która prowadzi aż do osiągnięcia realnych korzyści społecznych pomysłu – mówi dr Mielczarek. Wspólnie ze studentem **Grzegorzem Gazdowiczem** opracowali pe3Dish. *To rozszerzona wersja szalek Petriego przeznaczona do hodowli trójwymiarowych kolonii komórkowych. Układ wyposażony jest w system mikroprzepływowy, pozwalający na ciągłe doprowadzanie substancji odżywczych do komórek. Dzięki temu, mogą one tworzyć długotrwałe konfiguracje nie podlegające obumieraniu* – wyjaśnia współautor wynalazku.

Poza badaniami na styku fizyki i biologii, aktywność w Garażu Złożoności kierowana jest, między innymi, ku kosmosowi. Zespół zaangażowany jest ostatnio m.in. w projekt budowy powstającej w Polsce analogicznej bazy kosmicznej M.A.R.S. (Modular Analog Research Station), której otwarcie planowane jest na wiosnę 2017 roku. W Garażu Złożoności przygotowywany jest również projekt astrobiologicznej misji z wykorzystaniem balonu stratosferycznego.

dr Eryk Czerwiński
Zakład Fizyki Jądrowej, Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego WFAIS UJ

Zrozumieć Wszechświat

O atrakcyjności fizyki jako nauki podstawowej świadczą też badania prowadzone przez grupę kierowaną przez **dr. Eryka Czerwińskiego,** które skupiają się na badaniu i testowaniu symetrii dyskretnych oraz mechaniki kwantowej, która według aktualnego stanu wiedzy razem z teorią grawitacji pozwala opisać otaczający nas Wszechświat. *Od wszystkich współczesnych teorii fizycznych wymaga się, aby były zachowane po zastosowaniu symetrii CPT, czyli jednoczesnego złożenia: symetrii ładunkowej (C) - zamiany cząstki na antycząstkę, symetrii parzystości (P) - zamiany wszystkich współrzędnych na przeciwne (Wszechświat widziany w lustrze) oraz symetrii odwrócenia w czasie (T) - rozumianej np. jako porównanie prawdopodobieństwa zajścia odpowiednich procesów i procesów do nich przeciwnych, nie mylić z odwróceniem czasu, które na dzień dzisiejszy nie wydaje się możliwe. Wspomniane badania prowadzimy z wykorzystaniem splątanych kwantowo mezonów K, czyli najlżejszych cząstek elementarnych zawierających kwark dziwny* – wyjaśnia dr Czerwiński. *Mezony te mają m.in. właściwość, która pozwala im na natychmiastową znajomość stanu swojego kwantowo splątanego partnera nawet w przypadku oddzielenia na dystans, dla którego przesłanie informacji nawet z prędkością światła trwałoby dłużej* – kontynuuje naukowiec. Swoje badania grupa krakowska prowadzi we współpracy z Narodowym Laboratorium Fizyki Jądrowej we Włoszech, w którym głównym instrumentem badawczym dostarczającym danych jest detektor KLOE-2. W tym unikalnym na skalę światową eksperymencie dotyczącym splątanych kaonów Polacy są obecnie najliczniejszą zagraniczną grupą badaczy, zaś sam dr Czerwiński jest jednym z dwóch koordynatorów części projektu dotyczącej właśnie mezonów K, której celem jest jak najlepsze zrozumienie mikroświata cząstek elementarnych leżących u podstaw Wszechświata. Dr Czerwiński podkreśla, że *uzyskane wyniki mają pozwolić na głębsze zrozumienie praw opisujących otaczający nas Wszechświat lub pokazać, gdzie nasz matematyczny opis rzeczywistości do niej nie przystaje.*



dr hab. Piotr Cyganik
Zakład Nanostruktur i Nanotechnologii WFAIS UJ

Na organiczno-nieorganicznym interfejsie

Zasadność i atrakcyjność badań podstawowych udowodnili naukowcy z **Zakładu Fizyki Nanostruktur i Nanotechnologii** na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ. Adiunkt **dr hab. Piotr Cyganik** wraz ze swoją siedmioosobową grupą studentów realizuje obecnie dwa projekty badawcze NCN (SONATA-BIS oraz OPUS) poświęcone optymalizacji struktury, stabilności i przewodnictwa elektrycznego dla pojedynczych warstw molekularnych na powierzchni ciał stałych (Self–Assembled Monolayers - SAM). Struktury te, powstające na drodze samoorganizacji, stanowią podstawowy model połączenia materiałów organicznych z nieorganicznymi i są zasadniczym elementem rozwijającej się obecnie elektroniki organicznej i molekularnej, jak również są wykorzystywane do tworzenia powierzchni biokompatybilnych w zastosowaniach medycyny implantacyjnej.

W swoich badaniach na poziomie molekularnym posługujemy się kompleksowym połączeniem technik mikroskopowych, spektroskopowych oraz spektrometrii masowej współpracując aktywnie z grupami badawczymi w USA (Uniwersytet Harvarda), Niemczech (Uniwersytet w Heidelbergu, Uniwersytet we Frankfurcie) oraz w Polsce (Uniwersytet Jagielloński i Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej) – mówi Piotr Cyganik. Najnowszym osiągnięciem grupy, które wyróżnia ją w środowisku międzynarodowym, jest przeprowadzenie analizy stabilności wiązań chemicznych, a w szczególności ujawnienie zjawiska naprzemiennych oscylacji stabilności tych wiązań w pobliżu interfejsu molekuła-metal. Najnowsze badania grupy wskazują na zasadniczy wpływ tego zjawiska na przewodnictwo elektryczne i stabilność termiczną warstw SAM.