

Propozycja powołania Krajowego Programu Ramowego w dziedzinie

„INŻYNIERIA I INFORMATYKA KWANTOWA“

Podstawowym wyzwaniem stojącym przed polską gospodarką jest jej unowocześnienie przez przeniesienie środka ciężkości całej ekonomii od produkcji pracochłonnej i energochłonnej w kierunku usług i wyrobów opartych w dużym stopniu na wartości intelektualnej i nowoczesnych technologiach.

Jeśli krajowy przemysł ma być równorzędnym partnerem w świecie globalnej ekonomii to powinien korzystać w maksymalnym stopniu z rodzimego potencjału intelektualnego w zakresie nowoczesnych technologii; ten z kolei wyrasta z badań podstawowych w dziedzinach, uznawanych w XXI wieku za kluczowe. Jedną z takich dziedzin jest niewątpliwie fizyka kwantowa.

Wychodząc z powyższych stwierdzeń proponujemy ustanowienie Krajowego Programu Ramowego w obszarze **inżynierii i informatyki kwantowej** jako dziedzin, stanowiących o przyszłości technologii materiałowej, automatyki, informatyki i telekomunikacji.

W wieku XX głównym przedmiotem zainteresowania fizyki kwantowej było określenie poziomów energetycznych układów fizycznych oraz badanie subatomowej struktury materii. Na przełomie wieków w centrum zainteresowania znalazła się dynamika kwantowa. Stało się tak między innymi za sprawą rozwoju metod badawczych fizyki doświadczalnej. Pojawiło się szereg szczególnych dziedzin, które obejmuje wspólna nazwa **inżynieria i informatyka kwantowa**. Wymienimy tu te z nich, które naszym zdaniem powinny zostać uwzględnione w ramach proponowanego Krajowego Programu Ramowego:

Inżynieria kwantowa. W perspektywie oczekiwanych zastosowań mechaniki kwantowej na pierwszy plan wysuwa się nanotechnologia. Ta skala miniaturyzacji – już dziś coraz powszechniej osiągalna w laboratoriach fizycznych – nieodzwrotnie prowadzi do kwantowego opisu obiektów, często głęboko odmiennego od klasycznych wyobrażeń. Ta sama skala rozmiarów dotyczy molekuł DNA, białek oraz wirusów. Dlatego należy oczekiwać, że istotny przełom w tym obszarze biologii molekularnej i medycyny możliwy będzie tylko poprzez pełniejsze zrozumienie kwantowej natury zjawisk w skali nano.

Właściwe zrozumienie i poznanie procesów samoorganizacji, dekoherencji i koherentnego sterowania, to klucz do licznych zastosowań o ogromnym potencjale, szacowanym już teraz na poziomie setek miliardów dolarów. Przykładem mogą być kropki kwantowe – wieloma już technikami wytwarzane obiekty o rozmiarach nanometrów – znajdujące komercyjne zastosowania w takich obszarach jak optyka i optoelektronika (np. lasery, urządzenia emitujące i absorbujące pojedyncze fotony lub elektrony). Prowadzone są prace wykorzystujące kropki kwantowe w nowych technikach barwnikowych (wysoki stopień selektywności emisji/absorpcji) w tym pigmentów, atramentów, materiałów światłoczułych, światło-utwardzalnych, znaczników np. kodu genetycznego. Wielki rynek otwiera się również przed zastosowaniami kropek w powłokach antykorozyjnych i nowych powłokach o zmodyfikowanej np. lepkości i przewodnictwie cieplnym (zastosowanie np. w transporcie przepływowym). Właściwe zrozumienie mechanizmów działania błon (w

tym komórkowych) zaowocuje zapewne nowymi technologiami przemysłowymi oczyszczania i rafinacji przy wykorzystaniu nanostruktur o selektywnym transporcie. Bardzo obiecujące są również badania fulerenów i nanorurek węglowych. Związki te są spontanicznie tworzone przez naturę i mają niezwykle własności mechaniczne, elektryczne i chemiczne. Ich badania podstawowe, przeprowadzane na poziomie kwantowym, mogą z dużym prawdopodobieństwem doprowadzić do rewolucyjnych zastosowań w elektronice, biologii molekularnej, do produkcji ogniw, wyświetlaczy, nanosilników, sensorów i sond a nawet w budownictwie.

Sterowanie kwantowe. Dzięki dostępności dobrze modyfikowalnych bardzo krótkich impulsów światła laserowego można sterować w pożądanym sposobie skomplikowanymi procesami atomowymi i cząsteczkowymi zwiększając na przykład wydajność ważnych reakcji chemicznych, co jest wykorzystywane przy syntezie niektórych związków chemicznych. Przyniesie to zapewne duże korzyści na przykład w farmakologii. Najkrótsze, dostępne impulsy promieniowania elektromagnetycznego osiągnęły właśnie długość kilkuset attosekund. Tak krótki impuls można użyć jako najszybszy „aparat fotograficzny“ zdolny śledzić procesy zachodzące w wewnętrznych powłokach elektronowych ciężkich atomów.

Informatyka kwantowa. Trudno przecenić znaczenie informatyki dla współczesnego świata. Fizyka kwantowa oferuje w tej dziedzinie zupełnie nowe i słabo dotąd poznane możliwości. Są one związane z fundamentalną nieprzewidywalnością wyników pewnych pomiarów na poziomie kwantowym oraz niezwykle korelacjami przestrzennie rozdzielonych układów kwantowych powodowanymi tzw. kwantowym splątaniem. Dobrze rozwinięte, praktyczne zastosowanie tych cech układów kwantowych daje **kwantowa kryptografia** – służy ona do bezpiecznego szyfrowania przesyłanej informacji (systemy ochrony danych stosujące kryptografię kwantową zaczynają być już dostępne). Fundamentalny w dziedzinie mikrotechnologii problem symulacji układów fizycznych uzyskał nowe narzędzia dzięki zrozumieniu roli splątania w złożoności opisu takich układów. Kwantowi informatycy rozwijają metody symulacji, które uzyskały żywy odzew ze strony specjalistów z dziedziny symulacji procesów zachodzących w ciele stałym. Pojawiła się także perspektywa wykorzystania praw mechaniki kwantowej do niezwykle szybkiego wykonywania operacji matematycznych. Służyć ma temu **komputer kwantowy**. Warto podkreślić, że dostępne są już elementarne podukłady – bramki kwantowe, z których taki komputer będzie się składał.

Kwantowy formalizm, użyty jako matematyczne narzędzie pozwala na postęp także w klasycznej informatyce. Za pomocą kwantowego formalizmu uzyskano m. in. rezultaty w zakresie anonimowego korzystania z baz danych oraz w zakresie klasycznej kryptografii

Istotne są również teoretyczne i aplikacyjne badania na pograniczu mechaniki kwantowej i szczególnej teorii względności – obecnie dostępna precyzja pomiaru czasu powoduje konieczność uwzględniania poprawek relatywistycznych na poziomie kwantowym, na przykład systemach łączności i lokalizacji takich jak satelitalny system GPS – oraz badania związane z podstawami matematycznego opisu kwantowych zjawisk fizycznych..

Istotną cechą wielu nowych eksperymentów w fizyce kwantowej jest możliwość wykonywania doświadczeń z pojedynczymi obiektami kwantowymi. Dzięki postępowi w spowalnianiu oraz pułapkowaniu najpierw jonów, a następnie obojętnych atomów, można już śledzić kwantową ewolucję pojedynczych,

uwięzionych w pułapce elektromagnetycznej jonów i atomów. To właśnie **kilka** jonów zamrożonych w tzw. pułapce Paula jest najbardziej zaawansowanym modelem komputera kwantowego (inne modele wykorzystują kropki kwantowe czy atomowe kondensaty). Chłodzenie spułapkowanej chmury tysięcy, a ostatnio milionów atomów doprowadziło do wytworzenia przewidywanego od połowy lat dwudziestych ubiegłego wieku atomowego kondensatu Bosego-Einsteina. Dało to początek wielkiemu rozkwitowi fizyki kwantowo-zdegenerowanych gazów atomowych i cząsteczkowych.

Warto podkreślić, że polscy fizycy pracują bardzo aktywnie we wszystkich, wspomnianych tu nowych dziedzinach zastosowań fizyki kwantowej, i we wszystkich dziedzinach kwantowej inżynierii. Ze względów finansowych najważniejsze osiągnięcia mamy dotąd w badaniach teoretycznych. Tu aktywnie działa od kilku lat krajowa sieć skupiająca najlepsze ośrodki – Laboratorium Fizycznych Podstaw Przetwarzania Informacji (LFPPI). Dzięki utworzeniu Krajowego Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej (FAMO) na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, także polscy doświadczalnicy dostali szansę prowadzenia badań w dziedzinie inżynierii kwantowej na światowym poziomie. Uruchomione tam programy początkują badania w trzech ważnych kierunkach: pułapkowanie kilku jonów, wytworzenie kondensatu Bosego-Einsteina oraz badanie splątanych fotonów.

prof. dr hab. Marek Kuś, Dyrektor, Centrum Fizyki Teoretycznej PAN

prof. dr hab. Stanisław Chwirot, Dyrektor, Krajowe Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej, UMK w Toruniu

prof. dr Janusz Adamowski, ZFTiK, AGH w Krakowie

prof. dr hab. Robert Alicki, Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Gdański

dr hab. Mirosław Brewczyk, IFT, Uniwersytet w Białymstoku

prof. dr hab. Dariusz Chruściński, Instytut Fizyki, UMK w Toruniu

dr hab. Marek Czachor, KFTiMM, Politechnika Gdańska

dr hab. Jacek Dziarmaga, Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński

Prof. dr hab. Włodzimierz Jaskólski, Instytut Fizyki, UMK w Toruniu

doc. dr hab. Mariusz Gajda, Instytut Fizyki PAN

prof. dr hab. Piotr Garbaczewski, Instytut Fizyki, Uniwersytet w Zielonej Górze

prof. dr hab. Wojciech Gawlik, Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński

prof. dr hab. Ryszard Horodecki, Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Gdański

prof. dr hab. Lucjan Jacak, Instytut Fizyki, Politechnika Wrocławska

prof. dr hab. Krzysztof Kowalski, Instytut Fizyki, Uniwersytet Łódzki

prof. dr hab. Tadeusz Lulek, Katedra Fizyki Politechniki Rzeszowskiej

dr hab. Lech Mankewicz, Centrum Fizyki Teoretycznej PAN

prof. dr hab. Jan Mostowski, Instytut Fizyki PAN

prof. dr hab. Józef Musielok, Instytut Fizyki, Uniwersytet Opolski

prof. dr hab. Jakub Rembeliński, Instytut Fizyki, Uniwersytet Łódzki

prof. dr hab. Kazimierz Rzażewski, Centrum Fizyki Teoretycznej PAN

dr hab. Krzysztof Sacha, Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński

prof. dr hab. Andrzej Sitarz, Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński

prof. dr hab. Jan Składkowski, Instytut Fizyki, Uniwersytet Śląski

dr hab. Ewa Stachowska, Wydział Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska

dr hab. Marek Szopa, Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Śląski

prof. dr hab. Ryszard Tanaś, Instytut Fizyki, UAM w Poznaniu

dr hab. Ryszard Taranko, Instytut Fizyki, UMCS w Lublinie

dr hab. Marek Trippenbach, Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Warszawski

prof. dr hab. Krzysztof Wódkiewicz, Instytut Fizyki Teoretycznej, UW

prof. dr hab. Karol Wysokiński, Instytut Fizyki UMCS w Lublinie

prof. dr hab. Jakub Zakrzewski, Instytut Fizyki, Uniwersytet Jagielloński

prof. dr hab. Mirosław Załużny, Instytut Fizyki, UMCS w Lublinie

prof. dr hab. Marek Żukowski, Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Gdański

prof. dr hab. Karol Życzkowski, Instytut Fizyki UJ/ CFT PAN