

POSTĘPY FIZYKI

CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO POŚWIĘCONE UPOWSZECZNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ



Kwantowy świat oczami superkomputerów

Akademickie dylematy fizyka – dydaktyka

– 75 lat Postępów Fizyki

1 / 2026
TOM 77

UKAZUJE SIĘ OD 1949 ROKU

ZARZĄD GŁÓWNY:

Stanisław Kistryn (prezes), Bogdan Kowalski (sekretarz generalny), Izabela Skwira-Chalot (skarbnik), Teresa Rząca-Urban (prezes honorowy), Jerzy Garbarczyk, Dariusz Grech, Bohdan Grządkowski, Jerzy Jarosz, Dariusz Kajewski, Wiesław Leoński, Andrzej Łapiński, Adam Maj, Aneta Mika, Wiesław Nowak, Aneta Szczygielska-Łaciak, Andrzej Wyszomółka (wiceprezes)

BIURO ZARZĄDU GŁÓWNEGO:

ul. Pasteura 5

02-093 Warszawa

tel. (+22) 553 28 56 pok. 4.56 (4. piętro)

e-mail: biuro@ptf.net.pl

Polskie Towarzystwo Fizyczne

www.ptf.net.pl

Jesteśmy organizacją pożytku
publicznego, KRS: 0000051642

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW:

Krzysztof Szymański (Białystok), Yuriy Zorenko (Bydgoszcz), Piotr Gębara (Częstochowa), Paweł Możejko (Gdańsk), Jerzy Bodzenta (Gliwice), Paweł Zajdel (Katowice), Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce), Józef Spatek (Kraków), Marcin Turek (Lublin), Karol Jakub Jędrzejczak (Łódź), Katarzyna Książek (Opole), Andrzej Łapiński (Poznań), Paweł Jakubczyk (Rzeszów), Tomasz Wróblewski (Słupsk), Adam Balcerzak (Szczecin), Wiesław Nowak (Toruń), Krzysztof Petelczyc (Warszawa), Ewa Dębowska (Wrocław), Justyna Kalaga (Zielona Góra)

SPIS TREŚCI

Od atomów do turbulencji: kwantowy świat widziany
oczami superkomputerów (G. Włazłowski) 2

Luminescencyjne nanomateriały koloidalne
domieszkowane jonami lantanowców – zastosowania
w konstrukcji bioczułków

(G. Bękarz, A. Pilch-Wróbel, A. Bednarkiewicz) 12

Kwartal Badań 18

Szkoła i Uczelnia - czyli siła fizyki (A. Winiarska-Furtak) 22

Akademickie dylematy fizyka – dydaktyka (T. K. Pietrzak) 24

Nie gasić płomienia – rozmowa z Markiem Golką 29

Szkoła fizyki, której nie da się zastąpić podręcznikiem
(Ł. Gładczuk) 32

Klucz do kosmosu – scenariusz lekcji (A. Winiarska-Furtak) 34

List otwarty do Minister Edukacji Narodowej 37

Zapytaj Fizyka 38

75 lat Postępów Fizyki – cz. 2 (K. Petelczyc) 39

Wojciech Nawroć (1938–2026) (M. Wiesner, M. Szafranski) 47

Mój Profesor (A. Mika) 48

Jan Żylicz (1932–2026) (M. Pfützner) 49

Helena Białkowska (1940–2025) (M. Górski, P. Goldstein) 50

Kronika Polskiego Towarzystwa Fizycznego 52

REDAKCJA:

Jerzy Garbarczyk – redaktor naczelny

Krzysztof Petelczyc – sekretarz redakcji

Adam Pikul

Agnieszka Winiarska-Furtak

e-mail: postepy.fizyki@ptf.net.pl

RADA REDAKCYJNA:

Adam Maj (przewodniczący)

Andrzej Kajetan Wróblewski (czł. honorowy)

Grażyna Chetkowska

Jerzy Garbarczyk

Maciej Lisicki

Tomasz Pietrzak

Adam Pikul

Piotr Sułkowski

Andrzej Wilczek

ISSN 0032-5430, ISSN 2658-2422 (online)

© Copyright by Polskie Towarzystwo Fizyczne

Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne

Kwartalnik POSTĘPY FIZYKI jest wydawany
we współpracy z WYDZIAŁEM FIZYKI
UNIwersytetu Warszawskiego

Szanowni Państwo

Z wielką przyjemnością przekazujemy Państwu numer 1 tomu 77 *Postępów Fizyki* inaugurujący rok 2026. Stali czytelnicy naszego kwartalnika z pewnością zauważą, że zmieniliśmy szatę graficzną zarówno okładki, jak i wnętrza *Postępów*. To jednak nie wszystko. Proponujemy istotną zmianę struktury czasopisma, wprowadzając trzy zagadnieniowo odrębne i kolorystycznie rozdzielone działy.



Pierwszy dział o nazwie **BADANIA I PERSPEKTYWY** w dużej mierze nawiązuje do stylistyki artykułów naukowych, które ukazywały się w „Postęпах” wcześniej. W przyszłości będziemy jednak dążyć do tego, aby artykuły tego działu były zrozumiałe dla szerszego grona odbiorców, niż to było dotychczas. Oprócz artykułów naukowych w dziale tym będziemy pod nagłówkiem „Kwartal badań” zamieszczać streszczenia wybranych z najważniejszych prac naukowych z fizyki pojawiających się w czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym w ciągu trzech miesięcy przed datą zamknięcia numeru i opublikowanych z udziałem zespołów z polskich jednostek naukowych.



Drugi dział, tj. **SZKOŁA I UCZELNIA** poświęcony jest szeroko rozumianym problemom dydaktyki fizyki w szkołach wyższych, średnich i podstawowych. Stałymi rubrykami tego działu będą informacje o kolejnych etapach Olimpiady Fizycznej oraz krótkie prelekcje w ramach cyklu „Zapytaj fizyka”. Nauczycielom szkół będziemy ponadto proponować gotowe scenariusze lekcji z fizyki, a nauczycieli akademickich będziemy zapraszać do dyskusji, jak lepiej uczyć fizyki w szkołach wyższych.



W dziale **LUDZIE I WYDARZENIA** będziemy kontynuować tradycyjną „Kronikę Polskiego Towarzystwa Fizycznego” informującą o codziennej aktywności naszego środowiska i podkreślającej jego ciągłość. W dziale tym będą się także ukazywać artykuły historyczne, wspomnienia członków Towarzystwa oraz wywiady z interesującymi ludźmi.

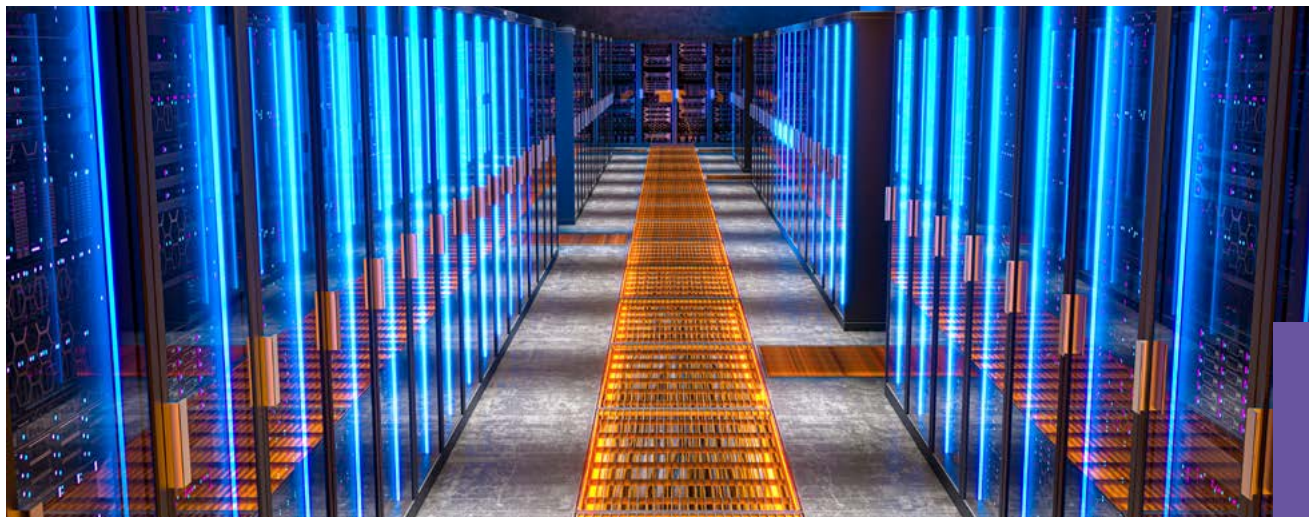
Każdy z wymienionych działów będzie koordynowany przez inną osobę z Redakcji. „Badaniami i perspektywami” będzie się zajmować Adam Pikul, „Szkołą i uczelnią” – Agnieszka Winiarska-Furtak, zaś Krzysztof Petelczyc będzie koordynował dział „Ludzie i wydarzenia”.

W niniejszym numerze proponujemy Państwu między innymi dwa artykuły naukowe: jeden dotyczący kwantowego świata widzianego oczami superkomputerów i drugi na temat zastosowania luminescencyjnych materiałów koloidalnych w biocujnikach.

W części poświęconej szkole i uczelni znajdą Państwo wywiad z wybitnym nauczycielem i wychowawcą całej rzeszy laureatów i finalistów Olimpiady Fizycznej oraz artykuł nauczyciela akademickiego o dylematach fizyka – dydaktyka.

W ostatniej części przedstawiamy m.in. drugą część historii *Postępów Fizyki* – naszego środowiskowego pisma o przeszło 75-letniej tradycji. Przyjemnej lektury!

Jerzy E. Garbarczyk
Redaktor Naczelny



GABRIEL WLAZŁOWSKI (POLITECHNIKA WARSZAWSKA, WYDZIAŁ FIZYKI)

OD ATOMÓW DO TURBULENCJI: KWANTOWY ŚWIAT WIDZIANY OCZAMI SUPERKOMPUTERÓW

Współczesne superkomputery stają się „mikroskopami” umożliwiającymi podgląd zjawisk kwantowych, których nie da się ani zobaczyć, ani dotknąć. Dzięki nim możliwe jest modelowanie zachowania pojedynczych atomów, a także śledzenie chaotycznej dynamiki w najzimniejszych substancjach we Wszechświecie. W artykule przedstawiono, jak wyglądają takie maszyny i dlaczego są one niezbędne do badania świata cząstek. Wyjaśniono, dlaczego równania mechaniki kwantowej są tak trudne do rozwiązania oraz w jaki sposób naukowcy radzą sobie z opisem układów składających się z ogromnej liczby cząstek, ze szczególnym naciskiem na modelowanie nadprzewodników i nadciężkich gazów. Postępy, jakie dokonały się w ostatniej dekadzie w fizyce obliczeniowej, zilustrowano na przykładzie turbulencji kwantowej: zjawiska tak złożonego, że jeszcze niedawno pozostawało poza zasięgiem możliwości technicznych. Na koniec zarysowano perspektywy dalszego rozwoju, stawiając pytanie, czy komputery kwantowe zmienią oblicze nauki, czy raczej staną się kolejnym elementem znanych już architektur superkomputerowych.

WSPÓŁCZESNE SUPERKOMPUTERY

Komputery stały się nieodzowną częścią współczesnego świata. Towarzyszą nam zarówno w pracy, jak i w rozrywce, lecz ich rola wykracza dziś daleko poza codzienne zastosowania. Pojawienie się dużych maszyn obliczeniowych zapoczątkowało rozwój nowej gałęzi nauki: fizyki obliczeniowej. Jest to dziedzina, w której prawa fizyki zapisywane są w postaci równań matematycznych, a następnie rozwiązywane numerycznie przy użyciu komputerów. Fizyka obliczeniowa tworzy dziś trzeci, równorzędny filar badań naukowych, obok eksperymentu i teorii. Modelowanie numeryczne pozwala bowiem łączyć świat współczesnych eksperymentów, często niezwykle złożonych, w których wiele efektów jednocześnie wpływa na końcowy wynik pomiaru, ze światem fizyki teoretycznej, która z natury dąży do uproszczonego i uniwersalnego opisu zjawisk. Co więcej, symulacje komputerowe umożliwiają badanie obiektów i procesów zachodzących w warunkach całkowicie niedostępnych eksperymentom, takich jak wnętrza gwiazd neutronowych, gdzie materia osiąga gęstości i temperatury niemożliwe do odtworzenia na Ziemi.

Znaczenie tego podejścia najlepiej ilustrują wielkie osiągnięcia współczesnej nauki. Nagroda Nobla w dziedzinie

chemii w 1998 roku, którą otrzymał John Pople, uhonorowała rozwój metod obliczeniowych umożliwiających precyzyjne modelowanie zachowania układów molekularnych^[1]. Wyróżnienie to bywa uznawane za pierwszą Nagrodę Nobla przyznaną za osiągnięcia z zakresu fizyki obliczeniowej. W 2021 roku Nagroda Nobla z fizyki została przyznana za modelowanie klimatu Ziemi^[2], uzasadniając, że bez wielkoskalowych symulacji numerycznych zrozumienie zmian klimatycznych oraz ich wiarygodne prognozowanie byłoby niemożliwe. Z kolei spektakularna detekcja fal grawitacyjnych, nagrodzona Noblami w 2017 roku, opierała się na niezwykle zaawansowanych symulacjach numerycznych zderzeń czarnych dziur, które pozwoliły rozpoznać sygnał ukryty w szumie detektorów^[3]. Najnowszym przykładem są Nagrody Nobla z 2024 roku. Nagroda w dziedzinie fizyki została przyznana za rozwój sztucznych sieci neuronowych i metod uczenia maszynowego^[4]. Są to narzędzia, które coraz częściej stają się integralną częścią fizyki obliczeniowej, umożliwiając analizę ogromnych zbiorów danych oraz odkrywanie praw rządzą-

1 John A. Pople, "Quantum chemical models," Nobel Prize lecture, NobelPrize.org (1998).

2 Syukuro Manabe, "Physical modelling of Earth's climate," Nobel Prize lecture, NobelPrize.org (2021).

3 Kip S. Thorne, "LIGO and gravitational waves iii," Nobel Prize lecture, NobelPrize.org (2017).

4 Geoffrey E. Hinton, "Boltzmann machines," Nobel Prize lecture, NobelPrize.org (2024).

cych złożonymi układami. Z kolei Nagroda Nobla w dziedzinie chemii została przyznana za obliczeniowe projektowanie białek oraz przewidywanie ich struktury^[5]. To osiągnięcie ma ogromne znaczenie dla biotechnologii i medycyny. Wszystkie te przykłady pokazują, że współczesna fizyka coraz częściej rozgrywa się nie tylko w laboratoriach i na kartach zeszytów, lecz także, a czasem przede wszystkim, w pamięci komputerów.

Złożoność współczesnych problemów naukowych sprawia, że do ich rozwiązywania nie wystarczają już standardowe komputery osobiste. W takich przypadkach naukowcy sięgają po dedykowane maszyny obliczeniowe, zwane superkomputerami. Aby uzmysłować sobie skalę ich możliwości, często przywołuje się podstawowe parametry techniczne, takie jak liczba procesorów czy ilość dostępnej pamięci operacyjnej. Patrząc przez ten pryzmat, można powiedzieć, że współczesny superkomputer oferuje zasoby porównywalne z pracą kilku milionów laptopów działających jednocześnie. Skala ta znajduje również odzwierciedlenie w fizycznych rozmiarach takich systemów. Superkomputery zajmują zazwyczaj powierzchnię porównywalną z kortem tenisowym, a ich zapotrzebowanie energetyczne mierzone jest w megawatach (porównywalne z zużyciem energii przez niewielkie miasto). Podstawową miarą ich możliwości obliczeniowych jest jednak nie rozmiar czy pobór mocy, lecz wydajność, wyrażana w liczbie operacji zmiennoprzecinkowych na sekundę, czyli FLOPS. Największe współczesne systemy osiągnęły dziś poziom eksaskali, wykonując ponad 10^{18} operacji matematycznych w ciągu jednej sekundy. Nowoczesne superkomputery budowane są w oparciu o architekturę hybrydową

łącącą klasyczne procesory ogólnego przeznaczenia (CPU) z akceleratorami graficznymi (GPU). Takie podejście pozwala znacząco zwiększyć wydajność obliczeń przy rozsądnym zużyciu energii i jest obecnie standardem w największych centrach obliczeniowych. Przykładem takiego systemu jest LUMI^[6] zlokalizowany w Kajaani (Finlandia) i pokazany na rys. 1. Jest to jeden z najpotężniejszych superkomputerów na świecie, wykorzystywany m.in. do symulacji klimatu, badań materii kwantowej oraz zastosowań sztucznej inteligencji.

W fizyce dobrze znana jest idea sformułowana przez Philipa Andersona w klasycznym artykule *More is different*^[7]. Jej istota polega na tym, że wraz ze wzrostem rozmiaru układu mogą pojawiać się nowe, kolektywne zjawiska, których nie da się przewidzieć na podstawie własności pojedynczych elementów. Inaczej zachowuje się kilka atomów, a inaczej materia złożona z ich ogromnej liczby. Zasada ta ma również

ZŁOŻONOŚĆ WSPÓŁCZESNYCH PROBLEMÓW NAUKOWYCH SPRAWIA, ŻE DO ICH ROZWIĄZYWANIA NIE WYSTARCZAJĄ JUŻ STANDARDOWE KOMPUTERY OSOBISTE

bezpośrednie zastosowanie do superkomputerów. Ich istotą nie jest jedynie to, że składają się z ogromnej liczby procesorów czy dysponują olbrzymią pamięcią operacyjną (podobny efekt można by próbować osiągnąć,

gromadząc dużą liczbę zwykłych komputerów). Kluczowe znaczenie ma fakt, że wszystkie te elementy mogą pracować kolektywnie, jako jeden spójny organizm obliczeniowy, rozwiązując wspólnie pojedynczy, niezwykle złożony problem. Z punktu widzenia użytkownika superkomputera często ważniejsza od samej liczby procesorów okazuje się jakość sieci łączącej poszczególne węzły, stabilność systemu oraz to, jak duży fragment maszyny może pracować jednocześnie bez

6 LUMI Consortium, "Lumi supercomputer," <https://lumi-supercomputer.eu/> (2023), accessed: 2026-01-11.

7 P. W. Anderson, "More is different: Broken symmetry and the nature of the hierarchical structure of science." *Science* 177, 393–396 (1972).

5 David Baker, "De novo protein design," Nobel Prize lecture, NobelPrize.org (2024).



Rys. 1. LUMI: superkomputer EuroHPC klasy przedeksaskalowej należący do najpotężniejszych systemów obliczeniowych na świecie. Jego podstawowym elementem są węzły obliczeniowe wyposażone w akceleratorzy graficzne AMD Instinct MI250X. Każdy węzeł GPU zawiera jeden procesor CPU AMD EPYC oraz cztery karty graficzne MI250X. Każda z tych kart składa się z dwóch niezależnych układów obliczeniowych, co oznacza, że pojedynczy węzeł udostępnia łącznie osiem równoległych jednostek GPU do obliczeń naukowych. Cały system obejmuje ponad 2900 takich węzłów GPU połączonych ultraszybko siecią, co umożliwia ich kolektywną pracę przy rozwiązywaniu jednego, bardzo złożonego problemu.

zakłóceń. Właśnie ta kolektywna natura obliczeń sprawia, że superkomputery umożliwiają badanie problemów jakościowo nowych, niedostępnych dla standardowych komputerów. Przejście na taką skalę wymaga jednak również zmiany sposobu myślenia o algorytmach: zamiast pytać „jak rozwiązać dany problem”, coraz częściej trzeba pytać „jak pozwolić rozwiązać go całemu kolektywowi procesorów działających równolegle”.

Superkomputery są dziś podstawowym narzędziem badań naukowych w dziedzinach, w których kluczową rolę odgrywa skala i złożoność. Umożliwiają modelowanie globalnej cyrkulacji atmosfery i długoterminowych zmian klimatu, symulacje złożonych przepływów płynów i turbulencji, badania procesów astrofizycznych (od formowania gwiazd po zderzenia gwiazd neutronowych) a także obliczenia kwantowe opisujące własności materiałów, molekuł i układów wielu ciał. Superkomputery są również niezbędne w chemii obliczeniowej i biologii molekularnej, w badaniach nad energią (w tym fuzją jądrową), w analizie wielkoskalowych danych obserwacyjnych oraz w rozwoju metod sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego. W wielu z tych obszarów wysokowydajne obliczenia nie stanowią jedynie wsparcia, lecz są warunkiem koniecznym prowadzenia badań na światowym poziomie^[8].

Dostęp do superkomputerów nie polega na ich zakupie przez pojedynczych badaczy, lecz jest przyznawany w drodze konkursów obliczeniowych organizowanych na poziomie krajowym i międzynarodowym. Naukowcy składają wnioski opisujące planowane badania, a przyznane zasoby trafiają do projektów o najwyższej wartości naukowej. W Europie rozwojem infrastruktury superkomputerowej i przyznawaniem do niej dostępu zajmuje się EuroHPC^[9]. Inicjatywa finansowana jest ze środków Unii Europejskiej, państw członkowskich oraz partnerów przemysłowych. Największy europejski superkomputer to Jupiter (Niemcy) o mocy obliczeniowej 1.2 ExaFLOPS. Według listy Top500^[10], która klasyfikuje superkomputery na podstawie ich wydajności, system ten zajmował pod koniec 2025 roku czwarte miejsce na świecie. W Polsce infrastrukturę obliczeniową udostępniają m.in. ACK Cyfronet (Kraków), PCSS (Poznań), ICM (Warszawa), WCSS (Wrocław) oraz CI TASK (Gdańsk). Największym superkomputerem w Polsce jest system Helios GPU (19 PetaFLOPS), zlokalizowany w Krakowie. Polska jest również współwłaścicielem superkomputera LUMI (0.53 ExaFLOPS), który znajduje się obecnie w pierwszej dziesiątce najszybszych komputerów świata. Istotną rolę odgrywa także inicjatywa PLGrid^[11] integrująca krajowe zasoby obliczeniowe i ułatwiająca naukowcom dostęp do rozproszonej infrastruktury superkomputerowej. Dzięki temu polscy badacze mogą realizować projekty wymagające ogromnych mocy obliczeniowych, co daje możliwość prowadzenia badań na światowym poziomie.

WIELOCIAŁOWE RÓWNANIE SCHRÖDINGERA JAKO WYZWANIE FIZYKI OBLICZENIOWEJ

Jednym z najtrudniejszych problemów współczesnej fizyki teoretycznej i obliczeniowej jest rozwiązywanie równania Schrödingera dla układów składających się z wielu cząstek. Dla uproszczenia rozważań, skupmy się na jego wariancie stacjonarnym, który można zapisać w postaci:

$$\hat{H}\Psi_n(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N) = E_n\Psi_n(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N), \quad (1)$$

gdzie $\hat{H}$ jest operatorem Hamiltona (definiującym układ), E_n oznacza energię odpowiadającą danemu stanowi, a Ψ_n jest funkcją falową układu składającego się z N cząstek. Dla przejrzystości pominięto tu dodatkowe stopnie swobody, takie jak spin.

Funkcja falowa jest centralnym obiektem mechaniki kwantowej. Zawiera ona pełną informację o badanym układzie. Znając ją, można w zasadzie obliczyć wartość dowolnej obserwabli, czyli wielkości możliwej do zmierzenia eksperymentalnie. Fundamentalnym problemem jest jednak fakt, że rozmiar funkcji falowej rośnie niezwykle szybko wraz z liczbą cząstek. Aby to zilustrować, załóżmy, że pojedyncza cząstka

może znajdować się w jednym z M możliwych stanów (jest to tzw. rozmiar bazy jednocząstkowej). Wówczas funkcja falowa jednej cząstki $\Psi_n(\mathbf{r}_1)$ jest opisana wektorem długości M , funkcja dwucząstkowa $\Psi_n(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$ wektorem długości M^2 , natomiast funkcja falowa układu N -cząstkowego $\Psi_n(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N)$ wymaga już M^N współczynników. Oznacza to, że rozmiar przestrzeni stanów rośnie wykładniczo wraz z liczbą cząstek, co czyni rozwiązywanie równania Schrödingera problemem obliczeniowo niezwykle trudnym.

Istnieją metody, których celem jest bezpośrednie rozwiązanie równania Schrödingera (1), czyli wyznaczenie funkcji falowej układu, a następnie obliczenie z niej interesujących nas obserwabli. Są to tzw. metody *ab initio*, oparte wyłącznie na fundamentalnych prawach mechaniki kwantowej, bez wprowadzania parametrów dopasowywanych do danych doświadczalnych. Jednym z najbardziej klasycznych i koncepcyjnie najprostszych przykładów jest metoda dokładnej diagonalizacji (ang. *exact diagonalization*). W tym podejściu równanie Schrödingera traktowane jest wprost jako zagadnienie własne: konstruuje się macierz Hamiltonianu w zadanej bazie stanów, a następnie numerycznie wyznacza się jej wartości własne E_n oraz odpowiadające im wektory własne Ψ_n . Głównym wyzwaniem technicznym jest tu diagonalizacja macierzy o ogromnych rozmiarach, której wymiar wynosi $M^N \times M^N$. Metoda dokładnej diagonalizacji znajduje zastosowanie w wielu działach fizyki i chemii, m.in. w badaniach układów spinowych, silnie skorelowanych modeli elektronowych, ultrazimnych gazów atomowych, fizyce jądrowej, chemii kwantowej oraz fizyce atomowej. Jej uniwersalność wynika z faktu, że opiera się bezpośrednio na strukturze równania Schrödingera, a nie na szczególnych własnościach konkretnego układu.

W praktyce rzadko interesują nas wszystkie stany energetyczne Hamiltonianu. Najczęściej wystarcza znajomość stanu podstawowego oraz kilku najniższych stanów wzbudzonych. W takich przypadkach zamiast pełnej diagonalizacji stosuje się iteracyjne metody Kryłowa, w szczególności algorytm

8 Jack Dongarra et al., "The international exascale software project roadmap," The International Journal of High Performance Computing Applications 25, 3-60 (2011);

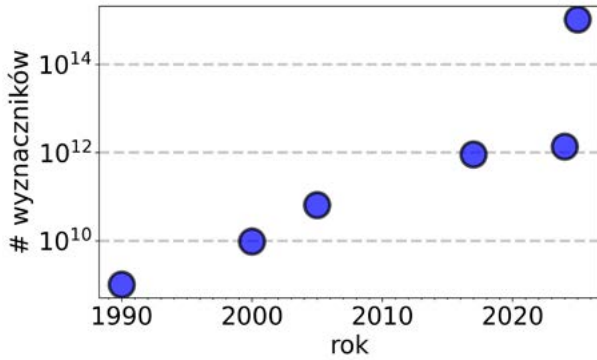
Álvaro Fernández-González, Rafael Rosillo, José Ángel Miguel-Dávila, and Vicente Matellán, "Historical review and future challenges in supercomputing and networks of scientific communication," The Journal of Supercomputing 71, 4476-4503 (2015);

Daniel Reed, Dennis Gannon, and Jack Dongarra, "Re-inventing high performance computing: Challenges and opportunities," (2022), arXiv:2203.02544 [cs.DC].

9 EuroHPC Joint Undertaking, "Eurohpc joint undertaking," <https://www.eurohpc-ju.europa.eu> (2026), accessed: 2026-01-11.

10 TOP500 Organization, "Top500: Lista najszybszych superkomputerów na świecie," <https://www.top500.org/> (2025), accessed: 2026-01-11.

11 PLGrid Consortium, "PLGrid: ogólnopolska infrastruktura obliczeniowa," <https://www.plgrid.pl/> (2025), accessed: 2026-01-11.



Rys. 2. Postęp w czasie w zakresie maksymalnego rozmiaru układów badanych metodą FCI, mierzony liczbą uwzględnianych wyznaczników Slatera.

Rysunek opracowany na podstawie danych z pracy A. Shayit et al., "Numerically exact configuration interaction at quadrillion-determinant scale," Nature Communications 16 (2025), 10.1038/s41467-025-65967-7.

Lanczosa^[12]. Metody te są wydajne pod warunkiem, że macierz Hamiltonianu jest rzadka, tzn. że liczba jej niezerowych elementów stanowi niewielki ułamek całkowitej liczby elementów macierzy. Rzadkość ta może wynikać bezpośrednio z lokalnej postaci oddziaływań w Hamiltonianie, ale często jest także osiągana dzięki wprowadzaniu kontrolowanych przybliżeń lub obcięć przestrzeni stanów.

W zależności od działu fizyki ta sama idea obliczeniowa funkcjonuje pod różnymi nazwami. Przykładowo, w fizyce jądrowej metoda dokładnej diagonalizacji znana jest współcześnie jako model powłokowy (ang. *shell model*). Dzięki wykorzystaniu superkomputerów możliwe jest obecnie rozwiązywanie zagadnień własnych dla macierzy o rozmiarach sięgających nawet 10¹⁰^[13]. Choć liczby te robią ogromne wrażenie, w świetle wykładniczego wzrostu przestrzeni stanów wystarczają one jedynie do opisu jąder atomowych o liczbie nukleonów nieprzekraczającej około 80.

W fizyce atomowej oraz chemii kwantowej analogicznym podejściem jest metoda pełnego oddziaływania konfiguracji (ang. *Full Configuration Interaction*, FCI). Jest ona powszechnie uważana za złoty standard w badaniach własności atomów i małych cząsteczek, ponieważ (w obrębie zadanej bazy jedno-cząstkowej) dostarcza rozwiązania dokładnego. W metodzie FCI funkcja falowa zapisywana jest jako liniowa kombinacja wyznaczników Slatera, które reprezentują różne konfiguracje elektronowe (liczba uwzględnionych wyznaczników Slatera wyznacza rozmiar macierzy Hamiltonianu). Konfiguracje te generowane są zwykle jako wzbudzenia względem pewnego stanu odniesienia najczęściej pochodzącego z obliczeń metodą pola średniego, taką jak metoda Hartreego-Focka. Skala obliczeń FCI rośnie jednak bardzo szybko wraz z liczbą elektronów. W 2025 roku zaprezentowano rekordowe obliczenia tego typu, w których liczba wyznaczników Slatera przekroczyła 10¹⁵^[14]. Dotyczyły one cząsteczki HBrTe, a wyniki zostały uzyskane dzięki połączeniu zaawansowanych algorytmów i dużych zasobów superkomputerowych. Podobnie jak

w przypadku modelu powłokowego, także tutaj liczba cząstek pozostaje relatywnie niewielka: nawet w rekordowych obliczeniach FCI liczba elektronów nie przekraczała 100, a w cytowanej pracy wynosiła 88.

Rys. 2 ilustruje ogromny postęp, jaki dokonał się w ostatnich latach zarówno w zakresie rozwoju algorytmów obliczeniowych, jak i w budowie nowoczesnych superkomputerów. Umożliwił on znaczące zwiększenie rozmiaru układów, które mogą być badane metodą oddziaływania konfiguracji. Niemniej jednak, wykładnicza złożoność problemu wielu ciał pozostaje jednym z fundamentalnych ograniczeń kwantowej fizyki obliczeniowej. Nawet przy obecnym tempie rozwoju algorytmów i sprzętu obliczeniowego zastosowanie metod dokładnej diagonalizacji do układów składających się z tysięcy cząstek wydaje się praktycznie nieosiągalne.

DROGA DO DUŻYCH UKŁADÓW: TEORIA FUNKCJONAŁU GĘSTOŚCI

W celu badania układów kwantowych składających się dużej ilości cząstek (rzędu setek, tysięcy, a nawet dziesiątek tysięcy) podstawowym narzędziem współczesnej fizyki obliczeniowej stała się teoria funkcjonału gęstości (ang. *Density Functional Theory*, DFT)^[15]. Jej fundamentem są twierdzenia Hohenberga-Kohna sformułowane w latach sześćdziesiątych XX wieku^[16]. Pominiemy tu ich ścisłą postać matematyczną, koncentrując się na konsekwencjach fizycznych, które zrewolucjonizowały sposób myślenia o problemie wielu ciał.

Hohenberg i Kohn rozważali relację pomiędzy funkcją falową stanu podstawowego Ψ_0 a gęstością cząstek (pierwotnie elektronów). Znając funkcję falową, można wyznaczyć gęstość jako:

$$\rho_0(\mathbf{r}) = N \int |\Psi_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N)|^2 d^3\mathbf{r}_2 \dots d^3\mathbf{r}_N, \quad (2)$$

co oznacza, że istnieje jednoznaczne mapowanie. Kluczową konsekwencją twierdzeń Hohenberga-Kohna jest jednak fakt, że relacja ta działa również w drugą stronę: znając gęstość stanu podstawowego, można w zasadzie odzyskać odpowiadającą jej funkcję falową, czyli $\Psi_0 \leftrightarrow \rho_0$. Twierdzenie to nie dostarcza konstruktywnego przepisu, jak tego dokonać, lecz dowodzi istnienia takiego mapowania. Już sam ten fakt ma jednak daleko idące następstwa. Formalnie możemy zapisać:

$$\Psi_0 = \Psi_0[\rho_0], \quad (3)$$

czyli, że funkcja falowa staje się funkcjonałem gęstości. Ponieważ każdą obserwabłą O można obliczyć jako wartość oczekiwaną odpowiedniego operatora $\hat{O}$ w stanie Ψ_0 , otrzymujemy:

$$O[\rho_0] = \langle \Psi_0[\rho_0] | \hat{O} | \Psi_0[\rho_0] \rangle. \quad (4)$$

W szczególności dotyczy to energii układu:

$$E[\rho_0] = \langle \Psi_0[\rho_0] | \hat{H} | \Psi_0[\rho_0] \rangle. \quad (5)$$

Energia stanu podstawowego jest najniższą możliwą wartością tego funkcjonału:

$$E_0 = E[\rho_0] = \min_{\rho} E[\rho]. \quad (6)$$

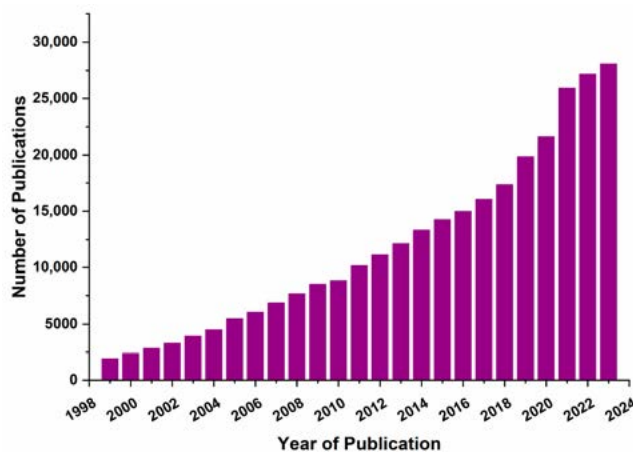
¹² Yousef Saad, *Iterative Methods for Sparse Linear Systems* (Society for Industrial and Applied Mathematics, 2003).

¹³ C. Forssén, B. D. Carlsson, H. T. Johansson, D. Sääf, A. Bansal, G. Hagen, and T. Papenbrock, "Large-scale exact diagonalizations reveal low-momentum scales of nuclei," *Phys. Rev. C* 97, 034328 (2018); Noritaka Shimizu, Takahiro Mizusaki, Yutaka Utsuno, and Yusuke Tsunoda, "Thick-restart block lanczos method for large-scale shell-model calculations," *Computer Physics Communications* 244, 372–384 (2019).

¹⁴ Agam Shayit, Can Liao, Shiv Upadhyay, Hang Hu, Tianyuan Zhang, A. Eugene DePrince III, Chao Yang, and Xiaosong Li, "Numerically exact configuration interaction at quadrillion-determinant scale," *Nature Communications* 16 (2025), 10.1038/s41467-025-65967-7.

¹⁵ Carlos Fiolhais, Fernando Nogueira, and Miguel A. L. Marques, eds., *A Primer in Density Functional Theory*, Lecture Notes in Physics (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2003).

¹⁶ P. Hohenberg and W. Kohn, "Inhomogeneous Electron Gas," *Phys. Rev.* 136, B864–B871 (1964).



Rys. 3. Liczba publikacji w latach 1999–2023 według bazy Web of Science, w których fraza „Density Functional Theory” lub skrót „DFT” pojawia się w streszczeniu artykułu.

Wykres przedrukowany z publikacji Konstantinos P. Zois, D. Tzeli, “A critical look at density functional theory in chemistry: Untangling its strengths and weaknesses,” *Atoms* 12, 65 (2024), doi: 10.3390/atoms12120065, licencja CC-BY 4.0

W ten sposób oryginalny problem rozwiązywania wielociałowego równania Schrödingera zostaje formalnie sprowadzony do zagadnienia minimalizacji funkcjonału energii.

Najistotniejszą zaletą tego podejścia jest fakt, że w tym procesie nie posługujemy się bezpośrednio funkcją falową, której rozmiar rośnie wykładniczo wraz z liczbą cząstek, lecz gęstością $\rho(\mathbf{r})$. Niezależnie od liczby cząstek pozostaje ona funkcją jednej zmiennej przestrzennej, co drastycznie zmniejsza złożoność problemu obliczeniowego. Metoda ta posiada jednak zasadniczy mankament: nie istnieje znana procedura matematyczna, która pozwalałaby wyznaczyć dokładną postać funkcjonału energii $E[\rho]$. Gdyby był on znany, można by bezpośrednio obliczać energię stanu podstawowego oraz odpowiadającą mu gęstość. Mamy tu do czynienia z typową w nauce sytuacją, w której uproszczenie jednego problemu (obliczania stanu podstawowego) prowadzi do pojawienia się nowego i równie trudnego (znajdowania funkcjonału energii).

Richard Feynman w jednym ze swoich wykładów stwierdził, że „fizyka to nie matematyka, a matematyka to nie fizyka; jedno pomaga drugiemu”. Brak ścisłego wyprowadzenia matematycznego nie musi zatem stanowić fundamentalnej przeszkody dla rozwoju metody. Fizycy dysponują innymi narzędziami pozwalającymi na konstrukcję przybliżonych funkcjonałów gęstości: intuicją fizyczną, wynikami eksperymentów oraz danymi uzyskanymi z dokładnych obliczeń, gdzie funkcja falowa może być jeszcze wyznaczona wprost. Analizując zależność energii od gęstości w takich przypadkach, można budować coraz lepsze przybliżenia funkcjonału $E[\rho]$. Istotnym elementem teorii funkcjonału gęstości jest fakt, że poszukiwany funkcjonał ma charakter uniwersalny i zależy jedynie od rodzaju cząstek oraz ich oddziaływań. Oznacza to, że dla układów elektronowych istnieje jeden uniwersalny funkcjonał, dla układów jądrowych inny, analogicznie dla materii silnie oddziałującej czy plazmy.

Od czasu sformułowania twierdzeń Hohenberga–Kohna zaproponowano wiele przybliżonych funkcjonałów gęstości, a także skutecznych metod ich minimalizacji. Najpopularniejszym i praktycznie uniwersalnym podejściem jest metoda Kohna–Shama^[17], która sprowadza problem wielu oddziałujących cząstek do układu efektywnych równań jednoczątkowych. Dziś DFT jest jedną z najczęściej stosowanych metod

obliczeniowych w fizyce i chemii, a także jedną z najbardziej wpływowych metod w całej nauce. Potwierdza to fakt, że aż 12 prac dotyczących DFT znalazło się wśród stu najczęściej cytowanych artykułów naukowych wszech czasów, z czego dwie w pierwszej dziesiątce^[18].

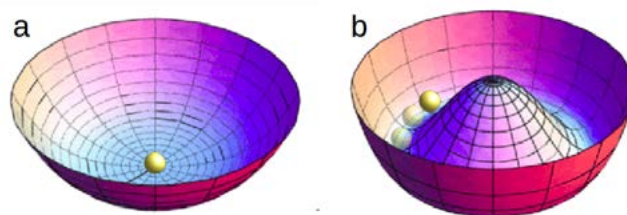
Zastosowania teorii funkcjonału gęstości obejmują niezwykle szerokie spektrum zagadnień: od chemii kwantowej i fizyki ciała stałego, przez fizykę jądrową i modelowanie plazmy w kontekście fuzji termojądrowej, aż po zastosowania w materiałoznawstwie, biologii i medycynie^[19]. Wraz ze wzrostem złożoności funkcjonałów oraz rozmiarów badanych układów, praktyczne obliczenia DFT coraz częściej wymagają wykorzystania nowoczesnych superkomputerów. W istocie obliczenia oparte na DFT należą dziś do najczęściej realizowanych zadań na dużych systemach obliczeniowych, obok symulacji klimatycznych oraz, coraz częściej, algorytmów uczenia maszynowego i sztucznej inteligencji. Rys. 3 ilustruje dynamiczny wzrost liczby publikacji, w których wykorzystano teorię funkcjonału gęstości. Obecnie podejście to generuje wyniki dla dziesiątek tysięcy prac naukowych publikowanych każdego roku.

MODELOWANIE UKŁADÓW NADPRZEWODZĄCYCH I NADCIĘKŁYCH

Wobec ogromnego zakresu zastosowań teorii funkcjonału gęstości naturalnie pojawia się pytanie, czy metoda może zostać wykorzystana również do modelowania układów nadprzewodzących i nadciekłych. Jest to zagadnienie o fundamentalnym znaczeniu, ale także o ogromnym potencjale aplikacyjnym. Opracowanie nadprzewodników działających w temperaturze pokojowej stanowiłoby przełom technologiczny o dalekosiężnych konsekwencjach. Należy jednak podkreślić, że teoria DFT została pierwotnie sformułowana z myślą o materiałach w stanie normalnym, co prowadzi do istotnych ograniczeń w opisie faz nadprzewodzących i nadciekłych. W szczególności twierdzenie Hohenberga–Kohna zakłada, że stan podstawowy układu jest niezdegenerowany. Warunek ten nie jest spełniony w przypadku nadprzewodników i układów nadciekłych, gdzie mamy do czynienia ze zjawiskiem spontanicznego złamania symetrii. Układ przechodząc do fazy nadprzewodzącej wybiera jeden z nieskończenie wielu równoważnych stanów o tej samej energii, co prowadzi do pojawienia się parametru porządku. Mechanizm ten zilustrowano schematycznie na rys. 4.

18 Richard Van Noorden, Brendan Maher, and Regina Nuzzo, “The top 100 papers,” *Nature* 514, 550–553 (2014).

19 R. O. Jones, “Density functional theory: Its origins, rise to prominence, and future,” *Rev. Mod. Phys.* 87, 897–923 (2015).



Rys. 4. Schematyczna ilustracja powierzchni energetycznej układu. a) Układ posiada jedno minimum energetyczne, w którym znajduje się stan o najniższej energii. Miejsce to wskazuje położenie żółtej kulki. Taka sytuacja jest typowa dla układów w stanie normalnym. b) Stan o najniższej energii jest zdegenerowany i tworzy ciąg minimów energetycznych. Układ, przechodząc do fazy nadprzewodzącej lub nadciekłej, musi spontanicznie wybrać jedno z nieskończenie wielu równoważnych stanów, co stanowi przykład spontanicznego złamania symetrii.

17 W. Kohn and L. J. Sham, “Self-Consistent Equations Including Exchange and Correlation Effects,” *Phys. Rev.* 140, A1133–A1138 (1965).

Pod koniec lat osiemdziesiątych podstawowe twierdzenia teorii funkcjonału gęstości zostały rozszerzone na układy nadprzewodzące przez Oliveirę, Grossa i Kohna^[20]. Kluczowym elementem tego uogólnienia było wprowadzenie dodatkowej wielkości, tzw. gęstości anomalnej v , która pełni rolę parametru porządku. W konsekwencji funkcjonał energii dla układów nadciekłych i nadprzewodzących musi zależeć od dwóch gęstości:

$$E = E[\rho, v], \quad (7)$$

gdzie ρ jest gęstością cząstek, natomiast v jest zespoloną gęstością anomalną zawierającą informację o fazie parametru porządku i o tym, które minimum energetyczne zostało wybrane w wyniku spontanicznego złamania symetrii. Podobnie jak w przypadku standardowego DFT, formalizm ten nie dostarcza praktycznego przepisu na konstrukcję funkcjonału, co przez długi czas stanowiło główną barierę w rozwoju metod DFT dla układów nadprzewodzących.

Fazy nadprzewodzące i nadciekle charakteryzują się wyjątkowymi własnościami dynamicznymi. Jednym z ich najbardziej spektakularnych przejawów jest możliwość generowania przepływów bez strat energii. W nadprzewodnikach objawia się to zanikiem oporu elektrycznego, natomiast w układach elektrycznie obojętnych, takich jak ultrazimne gazy atomowe czy nadciekły hel, mówimy o zaniku lepkości. Zjawiska te są bezpośrednią konsekwencją kwantowej koherencji. Jednak bezstratny transport nie jest jedyną niezwykłą własnością tych faz. Układy nadciekle i nadprzewodzące mogą również generować defekty topologiczne, z których najbardziej znanym przykładem jest wir kwantowy. Obecność tych defektów odgrywa kluczową rolę w dynamice układów nadciekłych i nadprzewodników, wpływając m.in. na ich odpowiedź na pola zewnętrzne oraz na mechanizmy dysypacji.

Ponieważ w przypadku układów nadciekłych i nadprzewodzących kluczowe znaczenie mają własności dynamiczne, równie istotne stało się uogólnienie teorii funkcjonału gęstości na przypadek zależny od czasu. Celem tego uogólnienia jest stworzenie praktycznej metody umożliwiającej rozwiązywanie zależnego od czasu równania Schrödingera:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N, t)}{\partial t} = \hat{H} \Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N, t), \quad (8)$$

które stanowi problem znacznie trudniejszy niż jego statyczny odpowiednik. Jedną z wyjątkowych cech teorii funkcjonału gęstości jest fakt, że należy ona do nielicznych metod wielu ciał, które zostały z powodzeniem uogólnione na przypadek dynamiczny. Na poziomie formalnym uogólnienie twierdzenia Hohenberga–Kohna na problemy zależne od czasu zostało przedstawione w latach osiemdziesiątych XX w. w postaci twierdzenia Runego–Grossa^[21], a w kolejnej dekadzie rozszerzono je na układy nadprzewodzące^[22]. Każde z tych uogólnień wiązało się jednak ze znacznym wzrostem złożoności formalizmu, co przez wiele lat ograniczało ich zastosowania do poziomu koncepcyjnego.

Dopiero postęp w dziedzinie superkomputerów oraz intensywne prace nad konstrukcją funkcjonałów energii

doprowadziły do powstania praktycznych narzędzi umożliwiających symulacje kwantowej dynamiki. W szczególności pojawienie się superkomputerów klasy przed-eksaskalowej otworzyło drogę do realistycznych symulacji procesów zachodzących w nadprzewodnikach oraz silnie oddziałujących, nadciekłych gazach fermionowych^[23].

Aby zrozumieć, skąd bierze się duża złożoność obliczeniowa nadciekłych lub nadprzewodzących (oba terminy będą tu używane zamiennie) rozszerzeń teorii funkcjonału gęstości, przyjrzyjmy się podstawowym równaniom leżącym u podstaw współczesnych wariantów tego podejścia. Dla orientacji zaczniemy od klasycznej metody Kohna–Shama dla układów

w stanie normalnym. Formalizm ten opiera się na pojęciu orbitali jednocząstkowych. Każdy orbital $\varphi_n(\mathbf{r}, t)$ może być obsadzony przez jedną cząstkę lub pozostać pusty. Zakłada się, że wszystkie orbitale o energiach mniejszych

od energii Fermiego E_F są obsadzone, natomiast orbitale powyżej tej energii pozostają puste. Gęstość układu otrzymuje się poprzez zsumowanie wkładów pochodzących od wszystkich obsadzonych orbitali:

$$\rho(\mathbf{r}, t) = \sum_{0 < E_n < E_F} |\varphi_n(\mathbf{r}, t)|^2. \quad (9)$$

Zależne od czasu równania Kohna–Shama tworzą zbiór równań różniczkowych cząstkowych opisujących ewolucję poszczególnych orbitali:

$$i\hbar \frac{\partial \varphi_n(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \hat{h}(\mathbf{r}, t) \varphi_n(\mathbf{r}, t), \quad (10)$$

gdzie $\hat{h}$ jest tzw. hamiltonianem jednocząstkowym. Zawiera on operator energii kinetycznej, który w mechanice kwantowej jest proporcjonalny do drugiej pochodnej przestrzennej funkcji falowej, oraz człon opisujący oddziaływania pomiędzy cząstkami. Postać tego drugiego zależy od rozmieszczenia cząstek w przestrzeni, a dokładniej od rozkładu ich gęstości $\rho(\mathbf{r}, t)$, zgodnie z główną ideą teorii funkcjonału gęstości. Jego jawna postać ustalana jest przez przyjęty funkcjonał gęstości i nie jest istotna dla dalszych rozważań. Zauważmy, że równanie dla ustalonego orbitala ma taką samą strukturę jak równanie Schrödingera opisujące dynamikę jednej cząstki. Zatem złożony problem wielociałowego równania Schrödingera został zamieniony na zbiór prostszych równań. Kluczowe jest natomiast to, że ewolucja każdego orbitala zależy od ewolucji wszystkich pozostałych, co oznacza, że od strony matematycznej mamy do czynienia z układem wzajemnie sprzężonych równań różniczkowych.

W przypadku układów nadciekłych zamiast orbitali jednocząstkowych rozważa się tzw. orbitale kwazicząstkowe:

$$\varphi_n(\mathbf{r}, t) = [u_n(\mathbf{r}, t), v_n(\mathbf{r}, t)]^T, \quad (11)$$

które opisują superpozycję stanu cząstki i stanu dziury. Składowa v_n odpowiada amplitudzie prawdopodobieństwa znalezienia cząstki, natomiast u_n amplitudzie prawdopodobieństwa znalezienia dziury. Taki opis jest naturalny w układach, w których występuje parowanie fermionów. Na podstawie orbitali kwazicząstkowych definiuje się nie tylko gęstość normalną, lecz także dodatkową gęstość anomalną, związaną z istnieniem parowania.

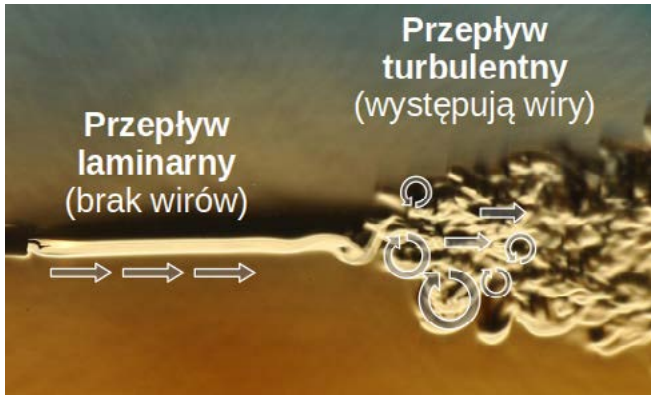
Istotną różnicą względem klasycznego formalizmu Kohna–Shama jest fakt, że w przypadku układów nadciekłych

20 L. N. Oliveira, E. K. U. Gross, and W. Kohn, "Density-functional theory for superconductors," *Phys. Rev. Lett.* 60, 2430–2433 (1988).

21 Erich Runge and E. K. U. Gross, "Density-functional theory for time-dependent systems," *Phys. Rev. Lett.* 52, 997–1000 (1984).

22 O. J. Wacker, R. Kümmel, and E. K. U. Gross, "Time-dependent density-functional theory for superconductors," *Phys. Rev. Lett.* 73, 2915–2918 (1994).

23 Gabriel Włazowski, Michael McNeil Forbes, Saptarshi Rajan Sarkar, Andreas Marek, and Maciej Szpin-dler, "Fermionic quantum turbulence: Pushing the limits of high-performance computing," *PNAS Nexus* 3 (2024), 10.1093/pnasnexus/pgae160.



Rys. 5. Zdjęcie przedstawiające smugę dymu. Początkowo przepływ ma charakter laminarny, natomiast przejście do reżimu turbulentnego objawia się spontanicznym pojawianiem się zawirowań.

Na podstawie rysunku „Laminar-turbulent transition”, Garry Settles, „Wikimedia Commons. File: Laminar-turbulent transition,” https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laminar-turbulent_transition.jpg, accessed: 2026-01-11, modyfikacja własna.

uwzględnia się stany aż do energii obciążenia E_c , która zazwyczaj znacznie przekracza energię Fermiego^[24]. Wynika to z możliwości częściowego obsadzenia orbitali kwazicząstkowych, co stanowi kluczowy element opisu parowania fermionów. Ponadto względne obsadzenie stanów kwazicząstkowych może ulegać zmianie w trakcie ewolucji. Przykładowo, początkowo pusty kwaziorbital (obsadzony przez dziurę) może zmienić się w kwaziorbital obsadzony przez cząstkę. Co więcej, względne obsadzenie stanów kwazicząstkowych może zmieniać się w trakcie ewolucji układu.

Ewolucja czasowa orbitali kwazicząstkowych wyznaczona jest przez równania o strukturze analogicznej do dobrze znanych z teorii nadprzewodnictwa zależnych od czasu równań Bogoliubova–de Gennesa^[25]:

$$i\hbar \frac{\partial u_n(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \hat{h}(\mathbf{r}, t) u_n(\mathbf{r}, t) + \Delta(\mathbf{r}, t) v_n(\mathbf{r}, t), \quad (12a)$$

$$i\hbar \frac{\partial v_n(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = -\hat{h}^*(\mathbf{r}, t) v_n(\mathbf{r}, t) + \Delta^*(\mathbf{r}, t) u_n(\mathbf{r}, t). \quad (12b)$$

W powyższych równaniach $\hat{h}$ nadal pełni rolę hamiltonianu jednocząstkowego, natomiast Δ jest polem parowania odpowiedzialnym za tworzenie par Coopera, czyli skorelowanych par fermionów o przeciwnych spinach. Człon ten bezpośrednio zależy od gęstości anomalnej i jego jawna postać wynika z wybranego funkcjonału gęstości. To właśnie istnienie niezerowego pola parowania leży u podstaw zjawisk nadprzewodnictwa i nadciekłości.

Złożoność problemu staje się w tym miejscu szczególnie wyraźna. Zarówno hamiltonian $\hat{h}$, jak i pole parowania Δ zależą od gęstości, które z kolei są zdefiniowane poprzez orbitalne kwazicząstkowe $\{u_n, v_n\}$. Oznacza to, że ewolucja każdego orbitala jest sprzężona z ewolucją wszystkich pozostałych. W efekcie otrzymujemy nieliniowy, samouzgodniony problem dynamiki wielu ciał, który w naturalny sposób pozwala opisywać zjawiska o charakterze kolektywnym, w których bierze udział cały układ.

W praktyce równania (12) muszą być rozwiązywane jednocześnie dla wszystkich orbitali kwazicząstkowych

$n = 1, 2, \dots, M$, gdzie M oznacza całkowitą liczbę orbitali uwzględnionych w symulacji. Aby poprawnie opisać dynamikę układów nadciekłych lub nadprzewodzących, liczba ta musi być znacznie większa niż liczba cząstek. W rzeczywistych zastosowaniach, obejmujących układy składające się z setek bądź tysięcy cząstek, typowe wartości wynoszą $M \sim 10^5 - 10^6$. Z technicznego punktu widzenia problem sprowadza się zatem do numerycznego rozwiązywania układu setek tysięcy, a niekiedy nawet milionów sprzężonych nieliniowych równań różniczkowych cząstkowych. Tego typu zadania mogą być realizowane wyłącznie z wykorzystaniem nowoczesnych superkomputerów. Obecny stan rozwoju metod numerycznych oraz infrastruktury obliczeniowej sprawia jednak, że rozwiązywanie tak złożonych problemów stało się możliwe w praktyce.

W kolejnej części przedstawimy przykład zastosowania tego formalizmu do jednego z najbardziej złożonych zjawisk w fizyce wielu ciał – turbulencji kwantowej, której realistyczne modelowanie wymaga właśnie takiej skali obliczeń.

TURBULENCJA KWANTOWA

Zjawisko przepływu turbulentnego uważane jest za jedno z najbardziej złożonych i fundamentalnych problemów nauki. Paradoksalnie problem ten wyłania się z równań hydrodynamiki znanych od niemal dwóch stuleci, a mimo to do dziś nie doczekał się kompletnego, uniwersalnego opisu teoretycznego. Obecnie badania tego zjawiska wykonuje się głównie za pomocą zaawansowanych narzędzi fizyki obliczeniowej z wykorzystaniem ogromnych mocy obliczeniowych.

Cechą charakterystyczną przepływu turbulentnego jest pojawianie się dużej liczby wirów, które współistnieją i oddziałują ze sobą w sposób złożony i dynamiczny. Stanowi to wyraźny kontrast wobec przepływu laminarnego, w którym linie prądu są uporządkowane, a zawirowania zazwyczaj nie występują (zobacz rys. 5). Konsekwencją obecności wirów jest znaczący wzrost strat energii przepływu, co w większości zastosowań technicznych stanowi zjawisko niepożądane. Równania klasycznej hydrodynamiki pozwalają ilościowo opisać tempo tych strat^[26]:

$$\frac{dE_{\text{przepływu}}}{dt} = -\frac{1}{2}\eta \int \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_k} + \frac{\partial v_k}{\partial x_i} \right)^2 dV \quad (13)$$

gdzie v_i oznaczają składowe pola prędkości, a x_i współrzędne przestrzenne ($i, k = 1, 2, 3$). Dla uproszczenia rozważań przyjęto tu przypadek cieczy nieściśliwej. Z powyższego wyrażenia jasno wynika, że straty energii są proporcjonalne

ZJAWISKO PRZEPŁYwu TURBULENTNEGO UWAŻANE JEST ZA JEDNO Z NAJBARDZIEJ ZŁOŻONYCH I FUNDAMENTALNYCH PROBLEMÓW NAUKI OBECNIE BADANIA TEGO ZJAWISKA WYKONUJE SIĘ GŁÓWNIEM ZA POMOCĄ ZAAWANSOWANYCH NARZĘDZI FIZYKI OBLICZENIOWEJ Z WYKORZYSTANIEM OGROMNYCH MOCY OBLICZENIOWYCH

do współczynnika lepkości η oraz do liczby i intensywności gradientów pola prędkości. W przepływie turbulentnym, gdzie struktury wirowe generują silne i szybkozmienne gradienty, prowadzi to do gwałtownego wzrostu dysypacji (czyli rozpraszania) energii.

Układy nadciekle, takie jak nadciekły hel czy ultrazimne gazy atomowe, charakteryzują się jednak zerową lepkością, $\eta = 0$. Kierując się intuicją klasycznej hydrodynamiki, należałoby zatem oczekiwać, że przepływ nadcieczy zawsze bę-

24 Aurel Bulgac, Michael McNeil Forbes, and Piotr Ma-gierski, “The Unitary Fermi Gas: From Monte Carlo to Density Functionals,” in The BCS-BEC Crossover and the Unitary Fermi Gas, Lecture Notes in Physics, edited by Wilhelm Zwerger (Springer, Berlin, Heidelberg, 2012) pp. 305–373.

25 Jian-Xin Zhu, Bogoliubov-de Gennes Method and Its Applications (Springer International Publishing, 2016).

26 Lew D. Landau and Jewgienij M. Lifszic, Hydrodynamika, Fizyka teoretyczna, Vol. 6 (PWN, Warszawa, 2009).

dzie bezstratny. Okazuje się jednak, że to rozumowanie jest błędne. Zarówno eksperymenty, jak i symulacje numeryczne jednoznacznie pokazują, że układy nadciekłe mogą również wykazywać przepływ turbulentny, któremu towarzyszą straty energii pomimo fundamentalnego braku lepkości. Stan taki określa się mianem turbulencji kwantowej. Jest to złożona, nieliniowa i częściowo chaotyczna dynamika układu nadciekłego, która wykazuje zarówno analogie, jak i istotne różnice względem turbulencji klasycznej. Kluczową rolę w tym przypadku odgrywają wiry kwantowe: topologiczne defekty pola parametru porządku, których cyrkulacja jest skwantowana. W przeciwieństwie do wirów klasycznych, wiry kwantowe mają dobrze określoną strukturę i nie mogą zniknąć w sposób ciągły. Oddziaływania między wirami kwantowymi oraz ich zderzenia, prowadzące do tzw. rekoneksji, tworzą efektywny mechanizm transportu energii pomiędzy skalami oraz jej rozpraszania^[27]. W ten sposób w układzie nadciekłym pojawia się efektywna dyssypacja energii, mimo że klasyczny mechanizm lepkości jest nieobecny. O ile turbulencja klasyczna już sama w sobie stanowi niezwykle trudny problem, o tyle turbulencja kwantowa wprowadza dodatkowo poziom złożoności wynikający z kwantowej natury opisywanych obiektów oraz konieczności jednoczesnego uwzględnienia dynamiki falowej i topologicznej struktury układu.

Chociaż do pełnego zrozumienia zjawiska turbulencji kwantowej wciąż prowadzi daleka droga, należy podkreślić ogromny postęp, jaki dokonał się w tej dziedzinie w ostatnich latach. Połączenie nowoczesnych metod numerycznych z potężnymi zasobami obliczeniowymi umożliwiło badanie turbulencji kwantowej z niespotykaną wcześniej szczegółowością. W szczególności stało się to możliwe dzięki zastosowaniu teorii funkcjonału gęstości, która – jako metoda mikroskopowa i silnie zakorzeniona w fundamentalnym równaniu Schrödingera – pozwala na jakościowo nowy wgląd w dynamikę procesów prowadzących do dyssypacji energii w układach nadciekłych^[28].

Od wielu lat na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej prowadzone są prace badawcze, których celem jest stworzenie narzędzia ogólnego przeznaczenia do mikrosko-

powych symulacji układów nadciekłych z wykorzystaniem zależnej od czasu teorii funkcjonału gęstości. W 2024 roku zaprezentowano wyniki symulacji ultrazimnego i nadciekłego gazu (laboratoryjnie zazwyczaj realizowanego z udziałem atomów ^6Li), przeprowadzone z użyciem tej niezwykle dokładnej metody, obejmującej nawet sto tysięcy cząstek^[29].

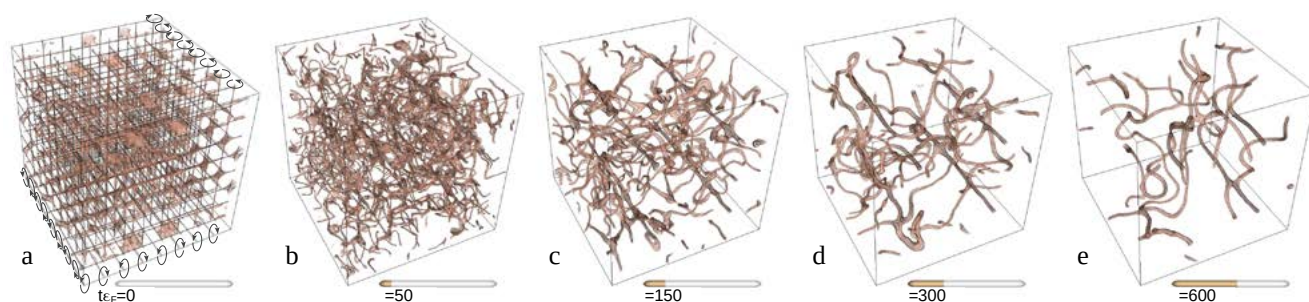
Skala tych obliczeń stanowiła istotny krok naprzód w badaniach dynamiki silnie oddziałujących układów kwantowych. Na rys. 6 przedstawiono wybrane klatki czasowe ilustrujące ewolucję takiego układu. Widoczne na obrazach linie odpowiadają położeniom wirów kwantowych zidentyfikowanych na podstawie analizy struktury przepływu oraz topologii parametru porządku. W trakcie ewolucji wiry splatają się ze sobą, tworząc złożone struktury przestrzenne. Jednocześnie całkowita długość linii wirowych stopniowo maleje, co stanowi bezpośredni wskaźnik zaniku przepływów w układzie, a tym samym spadku energii kinetycznej związanej z ruchem nadcieczy.

Jakościowo nowym i szczególnie istotnym rezultatem tych symulacji jest pogłębione zrozumienie losów energii usuwanej z przepływów. Obliczenia ujawniły mechanizm, w którym energia kinetyczna przepływu jest efektywnie konwertowana na wzbudzenia wewnętrzne układu, potocznie określane jako ciepło. Zaobserwowano, że wzbudzenia te generowane są przede wszystkim w obszarach, w których zlokalizowane są rdzenie wirów kwantowych, czyli linie, wokół których krąży ciecz. Traktując te rdzenie w sposób obrazowy jako cienkie druty, cały proces można porównać do nagrzewania się przewodów w wyniku ich ciągłego wyginania: im bardziej wir ulega deformacjom w trakcie dynamiki, tym intensywniej się nagrzewa. Powstałe w ten sposób ciepło rozprzestrzenia się następnie po całym układzie. Tego rodzaju mechanizm dyssypacji energii ma charakter jakościowo nowy i nie był dotąd obserwowany w symulacjach numerycznych turbulencji kwantowej. Jego identyfikacja była możliwa dzięki zastosowaniu formalizmu kwazicząstek, w którym obsadzenie orbitali kwazicząstkowych może zmieniać się w czasie. Ta cecha zależnej od czasu teorii funkcjonału gęstości okazała się kluczowa dla uchwycenia mikroskopowych mechanizmów odpowiedzialnych za konwersję energii przepływu w ciepło w wyniku turbulentnej dynamiki.

27 Makoto Tsubota, Michikazu Kobayashi, and Hiromitsu Takeuchi, "Quantum hydrodynamics," *Physics Reports* 522, 191–238 (2013).

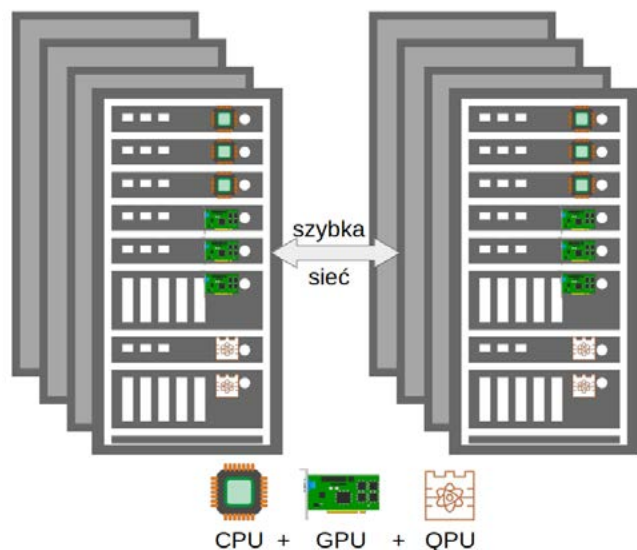
28 Gabriel Wlazłowski, Michael McNeil Forbes, Saptarshi Rajan Sarkar, Andreas Marek, and Maciej Szpin-dler, "Fermionic quantum turbulence: Pushing the limits of high-performance computing," *PNAS Nexus* 3 (2024), 10.1093/pnasnexus/pgae160.

29 Gabriel Wlazłowski, Michael McNeil Forbes, Saptarshi Rajan Sarkar, Andreas Marek, and Maciej Szpin-dler, "Fermionic quantum turbulence: Pushing the limits of high-performance computing," *PNAS Nexus* 3 (2024), 10.1093/pnasnexus/pgae160.



Rys. 6. Czasowa ewolucja wirów kwantowych w silnie oddziałującym nadciekłym gazie Fermiego składającego się z około 26 tysięcy atomów. Linie przedstawiają położenia rdzeni wirów kwantowych, natomiast izopowierzchnie umożliwiają wizualizację ich struktury i rozmiaru. Początkowo wiry ułożone są w regularną strukturę (a). W wyniku oddziaływań pomiędzy nimi układ ulega destabilizacji, a wiry splatają się ze sobą (b). W dalszej ewolucji całkowita długość linii wirowych stopniowo maleje (c–e) przy jednoczesnym generowaniu wzbudzeń wewnętrznych w rdzeniach wirów. Proces ten można interpretować jako efektywną zamianę energii zawartej w przepływach w ciepło.

Rysunek przedrukowany z publikacji G. Wlazłowski et al., "Fermionic quantum turbulence: Pushing the limits of high-performance computing," *PNAS Nexus* 3 (2024), 10.1093/pnasnexus/pgae160, licencja CC-BY 4.0.



Rys. 7. Schemat architektury przyszłego superkomputera składającego się z klasycznych jednostek obliczeniowych typu CPU (*Central Processing Unit*), akceleratorów GPU (*Graphics Processing Unit*) oraz procesorów kwantowych QPU (*Quantum Processing Unit*), połączonych ze sobą szybką siecią komunikacyjną.

Rysunek na podstawie pracy Amr Elsharkawy et al., "Integration of quantum accelerators with high performance computing – a review of quantum programming tools," *ACM Trans. Quantum Comput.* 6, 1–46 (2025), doi: 10.1145/3743149 licencja CC-BY 4.0, modyfikacja własna.

W KIERUNKU (SUPER)KOMPUTERÓW KWANTOWYCH

Budowa komputera kwantowego stanowi obecnie jedno z najintensywniej badanych zagadnień współczesnej fizyki i techniki. Komputery kwantowe wprowadzają zupełnie nowy paradygmat wykonywania obliczeń. W komputerze klasycznym wszystkie operacje sprowadzają się ostatecznie do manipulacji bitami, czyli elementami, które mogą przyjmować jedną z dwóch wartości, zazwyczaj oznaczanych jako 0 lub 1. Bit może pozostać w swoim stanie lub zostać przełączony na stan przeciwny. W komputerze kwantowym analogiczną rolę pełnią kubity. Są to obiekty kwantowe, które, podobnie jak bity klasyczne, mogą znajdować się w stanie 0 lub 1, ale dodatkowo mogą występować w stanie superpozycji, czyli jednoczesnej kombinacji obu tych stanów (z określonymi amplitudami prawdopodobieństwa). Drugą kluczową cechą komputerów kwantowych jest możliwość wykorzystania zjawiska splątania. Jeżeli dwa kubity są splątane, to operacje wykonywane na jednym z nich (w szczególności pomiar) wpływają również na stan drugiego. Umożliwia to wykorzystanie tzw. paralelizmu kwantowego: w silnie splątanym rejestrze kubitowym operacja wykonana lokalnie oddziałuje na cały układ. Tego rodzaju mechanizmu nie posiada komputer klasyczny, w którym operacje wykonywane są sekwencyjnie na poszczególnych bitach, a zmiana jednego z nich nie wpływa automatycznie na pozostałe.

Zarówno ilość informacji przechowywanej w rejestrze kubitowym, jak i potencjalna moc obliczeniowa komputera kwantowego rosną wykładniczo wraz z liczbą kubitów. Z tego powodu komputery kwantowe postrzegane są jako narzędzie, które może w przyszłości zrewolucjonizować fizykę obliczeniową. W szczególności wydają się one naturalnym kandydatem do rozwiązywania problemów, których złożoność również rośnie wykładniczo, takich jak rozwiązywanie wielociałowego równania Schrödingera. Ten wniosek ma charakter intuicyjny: trudność tego równania wynika z fundamentalnych praw mechaniki kwantowej, a komputer kwantowy właśnie na tych prawach opiera swoje działanie.

Choć koncepcja komputera kwantowego jest dyskutowana w środowisku naukowym od lat osiemdziesiątych XX wieku, jej praktyczna realizacja pozostaje niezwykle trudnym przedsięwzięciem. Sama obserwacja i izolacja zjawisk kwantowych stanowi poważne wyzwanie, a w przypadku komputerów kwantowych dochodzi kolejny poziom trudności: precyzyjna kontrola tych zjawisk. Z tego powodu nie należy oczekiwać, że komputery kwantowe staną się w dającej się przewidzieć przyszłości niewielkimi, przenośnymi urządzeniami porównywalnymi z komputerami osobistymi. Przeciwnie: będą to złożone systemy wymagające specjalistycznej infrastruktury, podobnie jak współczesne superkomputery, które lokalizowane są w wyspecjalizowanych centrach obliczeniowych.

Projektowanie algorytmów dla komputerów kwantowych znacząco różni się od podejścia znanego z obliczeń klasycznych. Dotychczas zaproponowane algorytmy kwantowe mają zazwyczaj charakter wyspecjalizowany i są przeznaczone do rozwiązywania określonych klas problemów. Najbardziej znanym przykładem jest algorytm Shora^[30] umożliwiający rozkład liczby na czynniki pierwsze. Współczesna kryptografia opiera się na założeniu, że taki rozkład jest dla komputerów klasycznych obliczeniowo bardzo kosztowny, zwłaszcza dla liczb o ogromnych rozmiarach. Z tego powodu często podkreśla się, że komputery kwantowe mogą w przyszłości zrewolucjonizować kryptografię. Istotnym, choć rzadziej akcentowanym faktem jest to, że algorytm Shora ma charakter algorytmu hybrydowego. Część obliczeń wykonywana jest na komputerze klasycznym, natomiast jedynie najbardziej kosztowny fragment realizowany jest na komputerze kwantowym. Podobny schemat występuje w wielu innych algorytmach, takich jak *Variational Quantum Eigensolver*^[31] stosowany do rozwiązywania problemów minimalizacji funkcji. W praktyce większość współczesnych algorytmów kwantowych można opisać schematem:

1. klasyczna redukcja problemu,
2. kwantowe podzadanie,
3. klasyczny postprocessing.

Z tej perspektywy wyraźnie widać, że komputery kwantowe nie będą funkcjonować jako samodzielne urządzenia, lecz staną się jednym z elementów przyszłych większych urządzeń. Analogicznie do rewolucji architektonicznej superkomputerów, jaka dokonała się w ostatnich dekadach, tj. przejścia od systemów opartych wyłącznie na CPU do architektury CPU+GPU, w przyszłości spodziewany jest rozwój systemów typu CPU+GPU+QPU, gdzie QPU to kwantowa jednostka obliczeniowa (ang. *Quantum Processing Unit*), zobacz rys. 7. W takich systemach poszczególne etapy obliczeń będą realizowane przez najbardziej efektywne jednostki w danym kontekście. Przyszły superkomputer stanie się zatem zintegrowaną platformą obliczeniową, w której komputer kwantowy będzie pełnił rolę wyspecjalizowanego akceleratora uzupełniającego klasyczne zasoby obliczeniowe, a nie ich bezpośrednim zastępstwem.

Taka architektura nie jest jedynie wizją przyszłości, lecz koncepcją aktywnie rozwijaną już dziś^[32]. Przykładowo, europejski projekt HPCQS realizowany w ramach inicjatywy EuroHPC ma na celu integrację technologii kwantowych

30 Peter W. Shor, "Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer," *SIAM Journal on Computing* 26, 1484–1509 (1997).

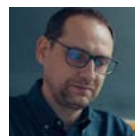
31 Jules Tilly, Hongxiang Chen, et al., "The variational quantum eigensolver: A review of methods and best practices," *Physics Reports* 986, 1–128 (2022).

32 Amr Elsharkawy et al., "Integration of quantum accelerators with high performance computing – a review of quantum programming tools," *ACM Trans. Quantum Comput.* 6, 1–46 (2025).

z istniejącymi superkomputerami. Również duże firmy technologiczne, takie jak AMD czy NVIDIA, prowadzą intensywne prace nad połączeniem klasycznych i kwantowych jednostek obliczeniowych w jeden spójny ekosystem. Przykładem takiego podejścia jest superkomputer LUMI, wspomniany na początku artykułu, który już posiada dedykowaną partycję kwantową LUMI-Q. Fizycznie komputer kwantowy tej partycji zlokalizowany jest w Ostrawie (Czechy) i oparty na technologii nadprzewodzących kubitów. Choć liczba jego kubitów nie jest imponująca (dysponuje on 24 kubitami), a zastosowany model zdalnego połączenia pomiędzy superkomputerem w Finlandii a komputerem kwantowym w Czechach nie zapewnia bardzo niskich opóźnień, nie to stanowi istotę tego przedsięwzięcia. Kluczowym celem jest stworzenie spójnego ekosystemu programistycznego, który umożliwi płynne łączenie obliczeń klasycznych i kwantowych w ramach jednej infrastruktury obliczeniowej.

Podsumowując, fizyka obliczeniowa stoi dziś u progu kolejnej transformacji. Integracja superkomputerów z technologiami kwantowymi otwiera nowe możliwości badawcze, które w nadchodzących dekadach mogą prowadzić do jakościowo nowych odkryć w fizyce, chemii i naukach o materii. Choć wiele problemów wciąż pozostaje nierozwiązanych, kierunek rozwoju jest jasny: przyszłość obliczeń naukowych będzie czerpała swoją siłę z różnorodności rozwiązań technologicznych.

AUTOR



Dr hab. inż. Gabriel Wlazłowski (ORCID: 0000-0002-7726-5328) jest profesorem na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Zajmuje się naukowo badaniami numerycznymi nadciekłych fermionów i zjawisk kwantowych od gazów ultrazimnych po gwiazdy neutronowe.

W SKRÓCIE

Współczesna fizyka coraz częściej rozwija się nie tylko w laboratoriach, ale także w pamięci superkomputerów. Takie maszyny pozwalają badać zjawiska, których nie da się zobaczyć bezpośrednio - na przykład zachowanie atomów, cząstek i całych układów kwantowych. Superkomputery nie są większymi komputerami, lecz ogromnymi systemami złożonymi z wielu współpracujących procesorów (CPU) i akceleratorów graficznych (GPU), które potrafią wspólnie rozwiązywać jeden bardzo trudny problem. Dzięki temu fizyka obliczeniowa stała się dziś trzecim filarem nauki obok teorii i eksperymentu. Pozwala ona modelować zjawiska zachodzące w warunkach niedostępnych dla człowieka, takich jak wnętrza gwiazd neutronowych, zmiany klimatu czy skomplikowane procesy kwantowe.

Jednym z największych wyzwań współczesnej fizyki jest opis układów złożonych z wielu cząstek. W mechanice kwantowej pełny opis takiego układu daje funkcja falowa, ale jej złożoność rośnie bardzo szybko wraz z liczbą cząstek. Oznacza to, że nawet superkomputery szybko napotykają granicę swoich możliwości. Dlatego naukowcy szukają sprytniejszych metod obliczeń. Jednym z najskuteczniejszych i obecnie najpopularniejszych sposobów poradzenia sobie ze złożonością opisywanego układu jest teoria funkcjonału gęstości, czyli DFT (ang. Density Functional Theory). Jej sedno tkwi w tym, że zamiast śledzić szczegółowo zachowanie każdej cząstki osobno, opisuje się gęstość całego układu. To ogromnie upraszcza problem i pozwala badać dużo większe układy niż w metodach bezpośrednio rozwiązujących równanie Schrödingera. Dzięki temu DFT stała się jedną z najważniejszych metod współczesnej fizyki i chemii obliczeniowej.

Szczególnie interesujące są układy nadprzewodzące i nadciekłe. W nadprzewodnikach prąd może płynąć bez oporu, a w nadcieczkach ciecz może poruszać się bez lepkości. Są to zjawiska bardzo niezwykle, bo pokazują, że materia w pewnych warunkach zachowuje się zupełnie inaczej niż na co dzień. Aby je opisać, trzeba rozszerzyć zwykłą teorię funkcjonału gęstości o dodatkowe elementy związane z parowaniem cząstek i zjawiskami kolektywnymi. Problem staje się wtedy jeszcze trudniejszy, ponieważ trzeba śledzić ewolucję ogromnej liczby wzajemnie powiązanych równań. Dopiero rozwój nowoczesnych superkomputerów sprawił, że takie obliczenia stały się praktycznie możliwe i można dziś symulować dynamiczne procesy zachodzące w nadprzewodnikach oraz ultrazimnych gazach atomowych.

Jednym z najbardziej złożonych zjawisk badanych w ten sposób jest turbulencja kwantowa. W zwykłych cieczach turbulencja kojarzy się z chaotycznym ruchem i zawirowaniami, które prowadzą do strat energii. Można by sądzić, że w nadcieczce, która nie ma lepkości, takie straty nie powinny występować. Okazuje się jednak, że również tam pojawia się chaotyczna dynamika związana z istnieniem wirów kwantowych. Są to szczególne struktury o bardzo uporządkowanej, kwantowej naturze. Ich oddziaływania, splątanie i zmiany kształtu prowadzą do zaniku uporządkowanego przepływu i zamiany energii ruchu na wzbudzenia wewnętrzne, które można porównać do ciepła. Dzięki wielkim symulacjom udało się pokazać ten proces z niespotykaną wcześniej dokładnością i lepiej zrozumieć, jak energia rozprasza się w układach kwantowych.

Na koniec warto zwrócić uwagę na przyszłość takich badań. Coraz częściej mówi się o komputerach kwantowych, które wykorzystują kubity zamiast zwykłych bitów. Kubity mogą istnieć w superpozycji stanów i być ze sobą splątane, co daje zupełnie nowe możliwości obliczeniowe. Nie oznacza to jednak, że komputery kwantowe zastąpią tak po prostu klasyczne superkomputery. Bardziej prawdopodobne jest to, że staną się ich częścią, obok tradycyjnych procesorów i akceleratorów graficznych. Przyszłość nauki obliczeniowej będzie więc prawdopodobnie polegała na łączeniu różnych technologii w jednym systemie.



GRZEGORZ BĘKARSKI, ALEKSANDRA PILCH-WRÓBEL,
ARTUR BEDNARKIEWICZ (INSTYTUT NISKICH TEMPERATUR I BADAŃ STRUKTURALNYCH PAN)

LUMINESCENCYJNE NANOMATERIAŁY KOLOIDALNE DOMIESZKOWANE JONAMI LANTANOWCÓW – ZASTOSOWANIA W KONSTRUKCJI BIOCIUJNIKÓW

Mechanizm försterowskiego transferu energii (FRET) polega na nieradiacyjnym przekazaniu energii pomiędzy dwoma molekułami: donorem (D) oraz akceptorem (A). Zarówno w medycznych testach diagnostycznych, jak i badaniach naukowych jako D i A stosowane są barwniki organiczne, których szerokie pasma absorpcji i emisji, czy podatność na fotowysyblanie często utrudniają ilościową interpretację pomiarów. Jako alternatywę do barwników organicznych opracowano m.in. związki koordynacyjne lantanowców, a obecnie badane są zaawansowane nieorganiczne nanomateriały luminescencyjne. Wśród tych ostatnich na szczególną uwagę zasługują nanokryształy domieszkowane jonami lantanowców (UCNPs), które charakteryzują się wąskimi pasmami emisji, możliwością konwersji energii z podczerwieni na światło widzialne oraz wysoką odpornością na fotowysyblanie. Te właściwości pozwalają na eliminację sygnału tła i zwiększenie czułości bioczuJNIKÓW. Pomimo licznych zalet, UCNPs wymagają dalszej optymalizacji pod względem doboru domieszek jonów lantanowców oraz właściwości fotofizycznych, które zapewniają efektywny transfer energii do akceptora. W niniejszej pracy przeglądowej przedstawiono podstawy mechanizmu FRET, ewolucję materiałów dla FRET, charakterystykę nanokryształów domieszkowanych lantanowcami oraz przykłady ich zastosowań w systemach FRET.

TEORIA I MECHANIZM FRET

Försterowski rezonansowy transfer energii (FRET) stanowi udane połączenie teorii fotoluminescencji, eksperymentu i praktycznych zastosowań, szczególnie w (bio)detekcji^[1]. Zgodnie z teorią Förstera^[2] zjawisko to polega na bezpromienistym przekazaniu energii pomiędzy molekułami donora (D) a molekułami akceptora (A) na drodze rezonansowego oddziaływania dipol–dipol. Molekuły donora oraz akceptora można traktować jako oscylujące dipole elektryczne. Donor

wzbudzony promieniowaniem elektromagnetycznym drga z częstotliwością odpowiadającą jego przejściom emisyjnym. Jeżeli akceptor wykazuje absorpcję w tym samym zakresie częstotliwości, dochodzi do efektywnego, rezonansowego sprzężenia dipoli i – w konsekwencji – do FRET. Donor, po absorpcji promieniowania i przejściu w stan wzbudzony, transferuje nieradiacyjnie energię do akceptora, który następnie może emitować promieniowanie (rys. 1). Proces ten zachodzi po spełnieniu dwóch podstawowych warunków: nakładania się pasm absorpcji akceptora i emisji donora oraz niewielkiej odległości między nimi (zazwyczaj 1–10 nm). Istotny wpływ na przebieg zjawiska ma również orientacja momentów dipolowych molekuł oraz środowisko chemiczne, w którym te

1 Che D., Cao X., Chen C., Yan H. "A point-of-care aptasensor based on the upconversion nanoparticles/MoS₂ FRET system for the detection of Pseudomonas aeruginosa infection" *Microchim. Acta* 2024, 191(1), 61 (2024)

Nie Y., Li J., Liu Y., Zhang Q., Ma Q. "A Visual FRET Immunofluorescent Biosensor for Ratiometric Parathyroid Hormone (1–84) Antigen Point-of-Care Detection" *J. Fluoresc.*, 30(2), 329–334 (2020)

2 Förster T. "Energiewanderung und Fluoreszenz" *Naturwissenschaften*, 33(6), 166–175 (1946)

się znajdują^[3]. Warto również wyraźnie odróżnić FRET od zjawiska reabsorpcji, w którym akceptor pochłaniałby fotony emitowane przez donora bez udziału sprzężenia dipolowego między cząsteczkami^[4]. FRET bywa określany mianem liniiki spektroskopowej^{[4][5]}, gdyż jego wydajność (η) maleje monotonicznie: odwrotnie proporcjonalnie do szóstej potęgi dystansu między D i A:

$$\eta = \frac{R_0^6}{R_0^6 + r_{DA}^6}, \quad (1)$$

gdzie R_0 to dystans Förstera, dla którego wydajność FRET wynosi 50%, a r_{DA} to faktyczny dystans pomiędzy D i A.

Dystans Förstera można obliczyć na podstawie następującego równania:

$$R_0 = \left(\frac{9(\ln 10)\phi_D \kappa^2 J}{128\pi^5 n^4 N_A} \right)^{\frac{1}{6}}, \quad (2)$$

gdzie ϕ_D oznacza wydajność kwantową emisji donora, κ^2 – współczynnik orientacji przestrzennej dipoli (przyjmujący wartości od 0 do 4, zwykle jednak $\frac{2}{3}$), J – całkę nakładania się emisji D i absorpcji A [$\text{nm}^4 \text{M}^{-1} \text{cm}^{-1}$], n – współczynnik załamania światła, a N_A – stałą Avogadry ($6,022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$).

3 Leavesley S.J., Rich T.C. "Overcoming limitations of FRET measurements" Cytometry, Part A, 89(4), 325 (2016)

4 Medintz I.L., Hildebrandt N., "FRET-Förster resonance energy transfer: from theory to applications" Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA (2014)

5 Algar W.R., Hildebrandt N., Vogel S.S., Medintz I.L. "FRET as a biomolecular research tool - understanding its potential while avoiding pitfalls" Nat. Methods, 16(9), 815-829 (2019)

Całkę nakładania (J) wyznacza się z kolei jako całkę ze znormalizowanego widma emisji donora $f_D(\lambda)$ oraz współczynnika ekstynkcji akceptora ($\epsilon_A(\lambda)$):

$$J = \int f_D(\lambda) \epsilon_A(\lambda) \lambda^4 d\lambda, \quad (3)$$

gdzie $f_D(\lambda) = \frac{F_{D_\lambda}(\lambda)}{\int F_{D_\lambda}(\lambda) d\lambda}$, z kolei $F_{D_\lambda}(\lambda)$ to zarejestrowane widmo emisji donora.

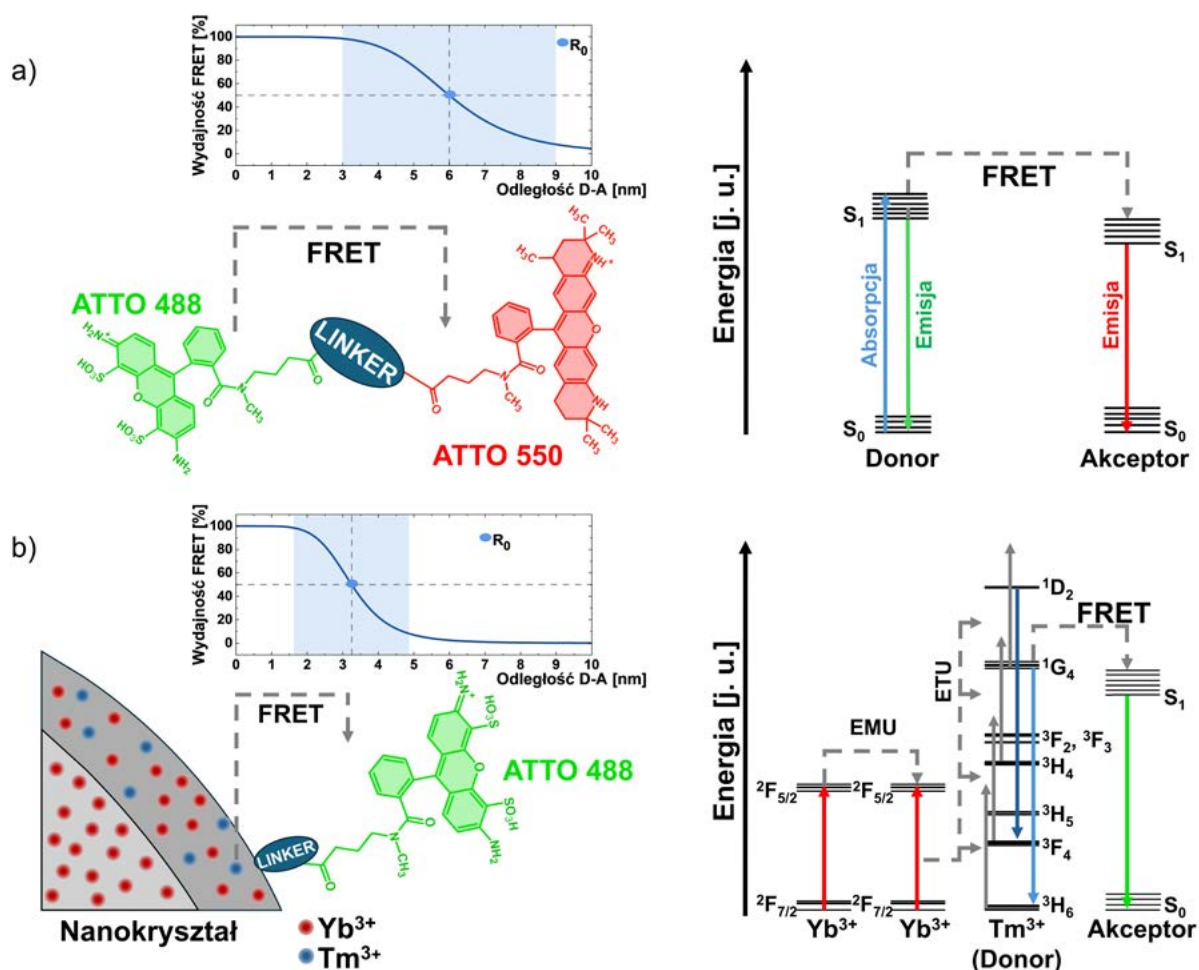
Wydajność FRET określa się eksperymentalnie na podstawie pomiarów widm fotoluminescencji oraz kinetyk luminescencji donora – bez akceptora oraz po jego wprowadzeniu. Zarówno intensywność emisji, jak i czas zaniku luminescencji donora w obecności akceptora ulegają zredukowaniu. Zatem wydajność bezpromienistego, rezonansowego transferu energii można obliczyć jako:

$$\eta = 1 - \frac{I_{DA}}{I_D} \quad (4)$$

$$\eta = 1 - \frac{\tau_{DA}}{\tau_D} \quad (5)$$

gdzie I_{DA} oraz τ_{DA} to odpowiednio intensywność emisji oraz czas życia poziomu wzbudzonego donora w obecności akceptora, zaś I_D oraz τ_D – intensywność emisji i czas zaniku luminescencji donora bez akceptora.

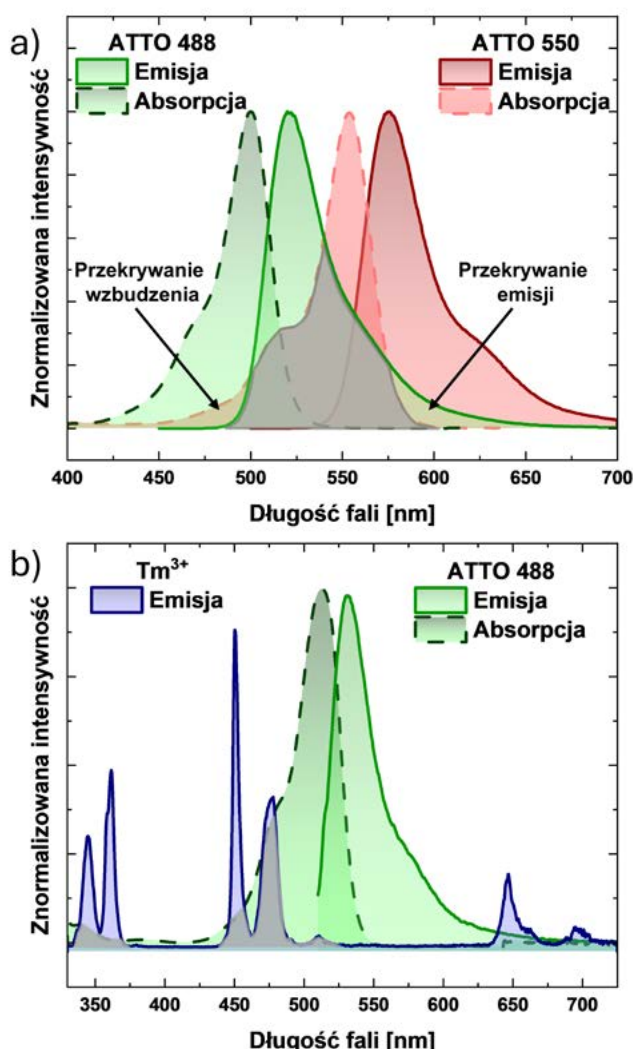
Zjawisko FRET ma szerokie zastosowania, szczególnie



Rys. 1. a) Schemat molekularnego FRET między barwnikami organicznymi ATTO 488 (donor) oraz ATTO 550 (akceptor) połączonymi linkerem. Niebieski obszar na przedstawionych zależnościach wydajności FRET od odległości D – A zawarty jest w granicach $0,5R_0 - 1,5R_0$ i wskazuje efektywny przedział odległości, na których możliwa jest detekcja FRET. b) FRET z zastosowaniem nanokryształów konwertujących energię w górę jako donora oraz barwnika ATTO 488 jako akceptora wraz z odpowiadającymi im schematami energetycznymi: EMU (migracji energii, ang. Energy Migration Upconversion) i ETU (transferu energii w górę, ang. Energy Transfer Upconversion).

w biologii, diagnostyce i konstrukcji czujników fluorescencyjnych. Umożliwia ono analizę zmian konformacyjnych białek^[6], hybrydyzacji DNA^[7], a także – dzięki zmianom czasu zaniku luminescencji lub intensywności emisji donora – czuły pomiar obecności lub koncentracji analitów^[8]. Dzięki specyficznym oddziaływaniom antygen-przeciwciało FRET wykorzystywany jest również w testach immunologicznych i bioczułnikach. Ponadto FRET stosowany jest w śledzeniu procesów zachodzących w komórkach w czasie rzeczywistym oraz w obrazowaniu mikroskopowym z wysoką rozdzielczością^[9].

- 6 Rainey K.H., Patterson G.H. "Photoswitching FRET to monitor protein-protein interactions" *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 116(3), 864-873 (2019)
- Higuera-Rodriguez R.A., De Pascali M.C., Aziz M., Sattler M., Rant U., Kaiser W. "Kinetic FRET Assay to Measure Binding-Induced Conformational Changes of Nucleic Acids" *ACS Sens.*, 8(12), 4597-4606 (2023)
- 7 Zhou R., Xu C., Dong J., Wang G. "Labeling-free fluorescent detection of DNA hybridization through FRET from pyrene excimer to DNA intercalator SYBR green I" *Biosens. Bioelectron.*, 65, 103-107 (2015)
- 8 Strianese M., De Martino F., Pavone V., Lombardi A., Canters G.W., Pellecchia C. "A FRET-based biosensor for NO detection" *J. Inorg. Biochem.*, 104(6), 619-624 (2010)
- Chu-Mong K., Thammakhet C., Thavarungkul P., Kanatharana P., Buranachai C. "A FRET based aptasensor coupled with non-enzymatic signal amplification for mercury (II) ion detection" *Talanta*, 155, 305-313 (2016)
- 9 Grant D.M., Zhang W., McGhee E.J., Bunney T.D., Talbot C.B., Kumar S., i in. "Multiplexed FRET to image multiple signaling events in live cells" *Biophys. J.*, 95(10), L69-L71 (2008)
- Cho S., Jang J., Song C., Lee H., Ganesan P., Yoon T.Y., i in. "Simple super-resolution live-cell imaging based on diffusion-assisted Förster resonance energy transfer" *Sci. Rep.*, 3(1), 1208 (2013)



Rys. 2. Nakładanie się widm: a) absorpcji oraz emisji barwników organicznych ATTO 488 oraz ATTO 550, b) emisji jonów Tm³⁺ oraz absorpcji i emisji barwnika ATTO 488. Obszar zaznaczony na szaro odpowiada nakładaniu się pasm emisji donora z pasmem absorpcji akceptora. Stosowanie barwników organicznych wymaga wzbudzenia o wysokiej energii (np. UV), co może prowadzić do trudnego do skorygowania bezpośredniego wzbudzenia akceptora. UCNPs są zazwyczaj wzbudzone promieniowaniem o $\lambda_{\text{wzbudzenia}} = 980$ nm, co pozwala w znacznym stopniu wyeliminować problemy wynikające z nakładania się widm wzbudzenia D i A.

UKŁADY DONOR-AKCEPTOR

W klasycznym, molekularnym FRET jako układy donor-akceptor wykorzystuje się barwniki organiczne (rys. 1a). Jednakże ich widma (absorpcji oraz emisji) cechują się dużymi szerokościami połówkowymi rzędu 50-100 nm, co najczęściej prowadzi do nakładania się widm wzbudzenia lub emisji (rys. 2a). W pierwszym przypadku, gdy widmo wzbudzenia akceptora nakłada się na widmo wzbudzenia donora, możliwe jest bezpośrednie wzbudzenie molekuł akceptora. Z kolei nakładanie się widm emisji jest szczególnie niepożądane przy rejestracji sygnału emisji akceptora. Ponadto barwniki organiczne przy wysokiej intensywności pobudzenia lub podczas długiej ekspozycji na promieniowanie wzbudzające wykazują również nieodwracalne fotowysyblanie, a wysoka energia tego promieniowania (często z zakresu UV) może dodatkowo wzbudzać inne biomolekuły obecne w próbkach, skutkując zwiększonym sygnałem tła i niższym efektywnym sygnałem do detekcji^[10].

Alternatywę dla klasycznych donorów energii w obserwacji zjawiska FRET mogą stanowić materiały zawierające jony lantanowców (Ln³⁺) – od prostych związków koordynacyjnych po mikro- i nanokryształy. Ich właściwości spektroskopowe wynikają z przejść wewnątrzkonfiguracyjnych $f \rightarrow f$, które zgodnie z regułą Laporte'a są zabronione, co prowadzi do długich czasów zaniku luminescencji^[11]. Dodatkowo, ponieważ podpowłoka 4f jest ekranowana przez elektrony z podpowłok 5s i 5p, matryca zawierająca jony Ln³⁺ wywiera jedynie minimalny wpływ na położenie ich pasm absorpcji i emisji, które cechują się niewielką szerokością połówkową. Bogactwo poziomów energetycznych umożliwia ponadto dopasowanie różnych akceptorów FRET do potrzeb eksperymentu.

Nanokryształy domieszkowane jonami lantanowców (UCNPs), najczęściej o matrycach NaYF₄, Y₂O₃ lub Gd₂O₃ i domieszkach Yb³⁺/Er³⁺, Yb³⁺/Tm³⁺ czy Yb³⁺/Ho³⁺ [12], stanowią szczególnie istotną grupę materiałów dla układów FRET. Ich działanie opiera się na konwersji energii w górę (UC – ang. *upconversion*): jony uczulacza absorbują promieniowanie podczerwone (np. 980 nm dla Yb³⁺), po czym poprzez transfer energii w górę wzbudzają kolejne poziomy energetyczne jonów aktywatora, prowadząc do emisji antystokesowskiej o wyższej energii niż energia wzbudzenia. Wąskie pasma emisji, długie czasy zaniku oraz niski poziom tła ograniczają nakładanie się widm i zmniejszają ryzyko bezpośredniego wzbudzenia akceptora (rys. 2b), zwiększając czułość detekcji FRET z wykorzystaniem nanokryształów konwertujących energię w górę (UC-FRET). UCNPs nie można jednak traktować jako pojedynczych molekuł donora. Typowy nanokryształ o średnicy 25 nm zawiera setki lub tysiące jonów optycznie aktywnych, z których jedynie te znajdujące się w pobliżu powierzchni mogą efektywnie przekazywać energię w procesie FRET. Jony położone głębiej, mimo że emitują, są zbyt oddalone od akceptora, a krótkie dystanse Förstera (często krótsze niż 4 nm) dodatkowo ograniczają efektywność transferu. W konsekwencji jednorodne domieszkowanie UCNPs ogranicza czułość FRET z powodu wysokiego

10 Lerner E., Cordes T., Ingargiola A., Alhadid Y., Chung S.X., Michael X., i in. "Toward dynamic structural biology: Two decades of single-molecule Förster resonance energy transfer" *Science*, 359(6373), eaant133 (2018)

11 Büchel, J. C. G. "Lanthanide luminescence: from a mystery to rationalization, understanding, and applications" *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths* (Vol. 50, pp. 141-176), Elsevier (2016)

12 Chen G., Qiu H., Prasad P.N., Chen X. "Upconversion nanoparticles: Design, nanochemistry, and applications in Theranostics" *Chem. Rev.* 114(10), 5161-5214 (2014)

Tabela 1. Podsumowanie cech charakterystycznych donorów dla FRET

Donor	Zalety	Wady / wyzwania
Barwniki organiczne	Łatwo reagują z innymi molekułami, dostępne komercyjnie i dobrze zbadane, wysokie wydajności kwantowe i relatywnie duże $R_0 \sim 4 - 8$ nm	Fotowysyłanie, małe przesunięcia stokesowskie, szerokie pasma absorpcji i emisji, wymagana wysoka energia wzbudzenia (często promieniowanie UV lub niebieskie), przekrywanie z absorpcją i fluorescencją chromoforów endogennych
Białka fluorescencyjne	Wysoka wydajność kwantową, niektóre wykazują absorpcję dwufotonową, nadają się do badań komórkowych np. do badań interakcji między białkami, syntezuje się je poprzez genetyczne kodowanie i ekspresję w komórkach	Szerokie pasma absorpcji oraz emisji, czasochłonny proces formowania, podatność na fotowysyłanie, wrażliwość na pH, stężenie O_2 , temperaturę oraz inne wpływy środowiska chemicznego, duża masa ($\geq 25 - 30$ kDa), tendencja do tworzenia agregatów
Związki koordynacyjne Ln^{3+}	Długie czasy zaniku luminescencji, wąskie oraz dobrze oddzielone pasma emisji	Wymagają optymalizacji transferu energii z ligandów na jony lantanowców, wzbudzenie z zakresu UV, wykazują słabą biokompatybilność
Kropki kwantowe (QDs)	Emisja zależna od rozmiaru i struktury chemicznej, symetryczne oraz stosunkowo wąskie pasma emisji, wysokie wydajności kwantowe oraz współczynniki ekstynkcji, relatywnie duże $R_0 \sim 6$ nm, odporność na fotowysyłanie	Fotomigotanie pod wpływem ciągłego wzbudzenia (eliminowane przez pasywną powierzchnię), konieczność funkcjonalizacji powierzchni, wysoka toksyczność niektórych QDs ze względu na obecność metali ciężkich np. Cd, Pb w ich składzie
UCNPs	Długie czasy zaniku luminescencji, wąskie oraz dobrze rozdzielone pasma emisji, odporność na fotowysyłanie, brak fotomigotania; wysoka wydajność emisji anty-stokesowskiej w porównaniu do innych procesów nieliniowych np. absorpcji dwufotonowej (2PA) i generacji drugiej/ trzeciej harmonicznej (SHG/THG)	Konieczność optymalizacji architektury chemicznej i funkcjonalizacji powierzchni, niewielka wydajność kwantowa emisji, krótkie R_0 (często krótsze niż 4 nm)

sygnału tła^[13]. Jednym ze sposobów poprawy czułości FRET jest zastosowanie struktur typu rdzeń-płaszcz, w których jony donora zlokalizowane są wyłącznie w zewnętrznej warstwie, co zmniejsza średni dystans D-A^[14]. Równie istotna jest funkcjonalizacja powierzchni umożliwiająca selektywne kotwiczenie akceptora. Te zagadnienia stanowią kluczowy kierunek dalszej optymalizacji systemów UC-FRET.

UC-FRET – NOWE MATERIAŁY DLA EFEKTYWNEGO BEZPROMIENISTEGO, REZONANSOWEGO TRANSFERU ENERGII

Obecnie rozwijane są systemy hybrydowe, w których UCNPs pełnią rolę donorów, a akceptorami są barwniki organiczne lub kropki kwantowe. Jedną z pierwszych demonstracji UC-FRET przedstawił Bednarkiewicz ze współpracownikami^[15], wykazując transfer energii z jonów Yb^{3+}/Er^{3+} domieszkowanych w matrycy $NaYF_4$ do kropek kwantowych CdSe. Praca ta otworzyła drogę do zastosowania systemów UC-FRET w (bio)detekcji, obrazowaniu i sensorach molekularnych. Z kolei Wang i inni^[16] wskazali istnienie korzystnej roli pasywującego płaszcza w strukturach rdzeń-płaszcz. Dowiedli oni, że w nanomateriałach typu rdzeń-płaszcz maksymalna skuteczność FRET nie wynika ani z najsilniejszej luminescencji, ani z najwyższej wydajności transferu energii. Kluczowe znaczenie ma optymalna grubość powłoki, która równoważy oba procesy i pozwala uzyskać najlepsze efekty

aplikacyjne. Wynik ten podkreślił wagę precyzyjnej inżynierii nanostruktur, w których nie tylko kompozycja chemiczna, ale również geometria ma kluczowe znaczenie dla funkcjonalności. Kolejne badania przedstawione przez Muhr i innych^[17] wykazały, że mniejsze UCNPs sprzyjają bardziej wydajnemu FRET dzięki większemu stosunkowi powierzchni do objętości (niestety kosztem jasności i wydajności emisji). Siefe i inni^[18] opracowali strukturę typu rdzeń-płaszcz-płaszcz łączącą wysoką intensywność emisji z efektywnym transferem energii. Dzięki dodaniu drugiego płaszcza udało się ograniczyć defekty powierzchniowe i jednocześnie utrzymać jony donora w bliskiej odległości od akceptorów, co pozwoliło osiągnąć wysokowydajny FRET bez kompromisów w intensywności emisji. Podobne podejście przedstawili Marin i współpracownicy^[19], badając zjawisko FRET pomiędzy nanokryształami $LiYF_4:Yb^{3+},Tm^{3+}$ a kropkami kwantowymi $CuInS_2$. W pracy tej skupiono się na wpływie architektury donora, modyfikując ją poprzez zmniejszenie stosunku powierzchni do objętości oraz poprzez umieszczenie jonów donora w zewnętrznej powłoce w strukturze rdzeń-płaszcz. Otrzymane wyniki pokazały, że wydajność FRET można znacząco zwiększyć, manipulując zarówno rozmiarem UCNPs, jak i rozmieszczeniem jonów aktywnych w objętości nanokryształu. Pilch-Wróbel i inni^[20] szczegółowo przeanalizowali rolę dystrybucji jonów Yb^{3+} i Er^{3+} w rdzeniu oraz płaszczu. Badania wykazały, że precyzyjna kontrola migracji energii i minimalizacja jej magazynowania w stanach pośrednich prowadzą do istotnego zwiększenia wydajności transferu energii. Oprócz aspektów

13 Pini F, Francés-Soriano L, Andriago V, Natile M.M., Hildebrandt N. "Optimizing Upconversion Nanoparticles for FRET Biosensing" ACS nano, 17(5), 4971-4984 (2023)

14 Kotulska A.M., Pilch-Wróbel A., Lahtinen S., Soukka T., Bednarkiewicz A. "Upconversion FRET quantitation: the role of donor photoexcitation mode and compositional architecture on the decay and intensity based responses" Light Sci. Appl., 11(1), 256 (2022)

Pilch-Wróbel A., Kotulska A.M., Lahtinen S., Soukka T., Bednarkiewicz A. "Engineering the Compositional Architecture of Core-Shell Upconverting Lanthanide-Doped Nanoparticles for Optimal Luminescent Donor in Resonance Energy Transfer: The Effects of Energy Migration and Storage" Small, 18(18), 2200464 (2022)

Bękowski G., Prorok K., Štětina F., Misiak M., Gorris H.H., Bednarkiewicz A. "Multicolor Upconversion Förster Resonant Energy Transfer Using Optimized Yb@YbTm Core@Shell Nanoparticles" ACS nano, 19(48), 41110-41120 (2025)

15 Bednarkiewicz A., Nyk M., Samoc M., Strek W. "Up-conversion FRET from $Er^{3+}/Yb^{3+}:NaYF_4$ nanophosphor to CdSe quantum dots" J. Phys. Chem. C, 114(41), 17535-17541 (2010)

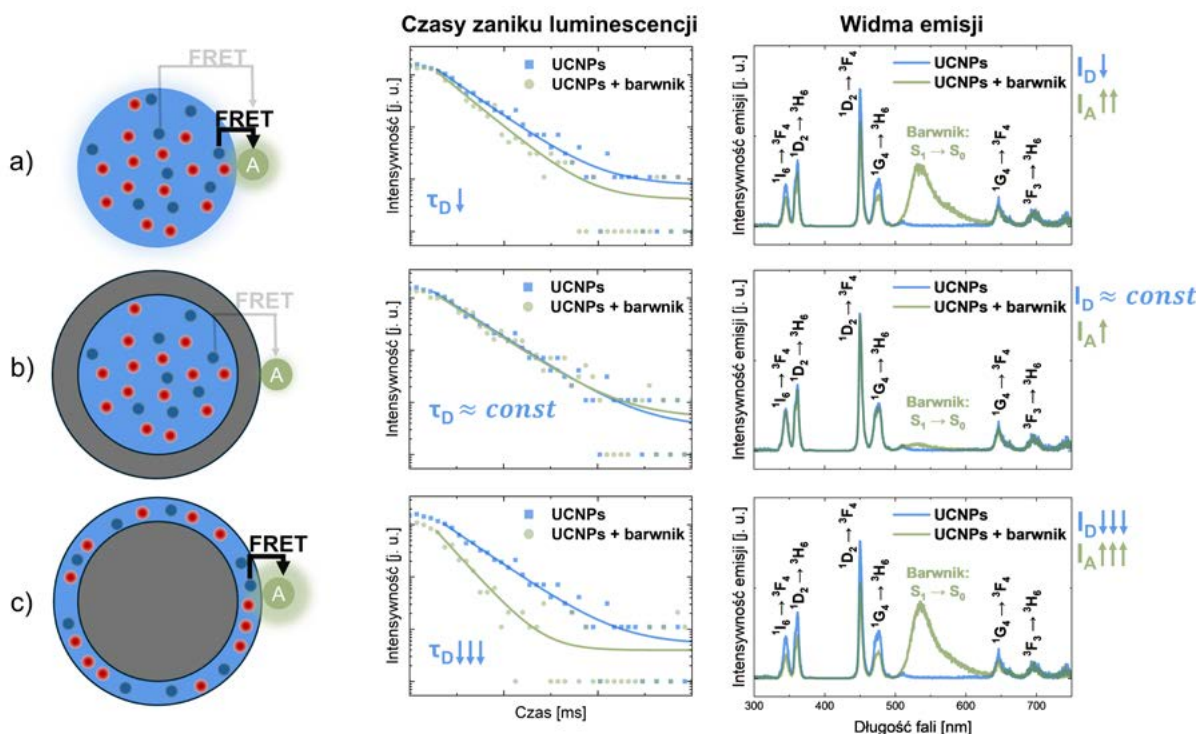
16 Wang Y., Liu X., Liu X., Dohnalová K., Gregorkiewicz T., Kong X., i in. "Critical shell thickness of core/shell upconversion luminescence nanoplatform for FRET application" J. Phys. Chem. Lett., 2(17), 2083-2088 (2011)

17 Muhr V., Würth C., Kraft M., Buchner M., Baumann A.J., Resch-Genger U., i in. "Particle-Size-Dependent Förster Resonance Energy Transfer from Upconversion Nanoparticles to Organic Dyes" Anal. Chem., 89(9), 4868-4874 (2017)

18 Siefert C., Mehlenbacher R.D., Peng C.S., Zhang Y., Fischer S., Lay A., i in. "Sub-20 nm Core-Shell-Shell Nanoparticles for Bright Upconversion and Enhanced Förster Resonant Energy Transfer" J. Am. Chem. Soc., 141(42), 16997-17005 (2019)

19 Marin R., Labrador-Paéz L., Skripka A., Haro-González P., Benayas A., Canton P., i in. "Upconverting Nanoparticle to Quantum Dot Förster Resonance Energy Transfer: Increasing the Efficiency through Donor Design" ACS Photonics, 5(6), 2261-2270 (2018)

20 Pilch-Wróbel A., Kotulska A.M., Lahtinen S., Soukka T., Bednarkiewicz A. "Engineering the Compositional Architecture of Core-Shell Upconverting Lanthanide-Doped Nanoparticles for Optimal Luminescent Donor in Resonance Energy Transfer: The Effects of Energy Migration and Storage" Small, 18(18), 2200464 (2022)



Rys. 3. Wpływ architektury nanokryształów domieszkowanych jonami Yb^{3+} (czerwone kropki) i Tm^{3+} (granatowe kropki) na bezpromienisty, rezonansowy transfer energii do molekuł akceptora (barwnika) przyłączonego bezpośrednio do powierzchni nanokryształu: a) aktywny rdzeń, b) aktywny rdzeń – pasywny płaszcz, c) pasywny rdzeń – aktywny płaszcz. Odległość jonów donora (Tm^{3+}) od akceptora determinuje wydajność FRET, którą można zmierzyć na podstawie kinetyki luminescencji, tj. czasów życia poziomu $^1\text{G}_4$ jonu Tm^{3+} bez i w obecności akceptora. W przypadku nanokryształów typu aktywny rdzeń (a) w transferze energii biorą udział jedynie te jony, które znajdują się przy powierzchni. Pozostałe jony aktywatora, znajdujące się głębiej, są bierne względem FRET, choć w sposób ciągły i niepodatny na obecność akceptora wykazują fotoluminescencję. Mogą one również wzbudzać molekuły barwnika na drodze promienistej. Mimo iż nałożenie pasywnego płaszcza (b) zwiększa intensywność emisji nanokryształów ze względu na zmniejszone wygaszanie powierzchniowe, to zwiększa ono również odległość D-A, znacząco zmniejszając wydajność FRET, a tym samym redukuje czułość detekcji. Aktywny płaszcz (c) zapewnia bliski kontakt jonów donora z akceptorem, skutkując niską emisją tła oraz wysoką wydajnością FRET^[25].

strukturalnych, istotne są również warunki wzbudzenia oraz sposób interpretacji sygnału. W pracy poświęconej ilościowej analizie UC-FRET autorzy przeanalizowali, jak tryb wzbudzenia donora (ciągłe vs. impulsowe) i kompozycja nanokryształów wpływają na odpowiedź spektralną i czasową układu^[21]. Wykazano, że ocena efektywności FRET może prowadzić do błędnych wniosków, jeśli nie uwzględni się tych parametrów – zwłaszcza w układach, w których jony pełniące funkcję donorów charakteryzują się długimi czasami życia stanu wzbudzonego.

BIOCZUJNIKI RATIOMETRYCZNE

Jednym z kluczowych zastosowań UC-FRET są bioczujniki oparte na detekcji ratiometrycznej tzn. bazujące na proporcji intensywności dwóch pasm emisji. Klasyczna analiza FRET oparta na wydajności obliczanej ze zmian intensywności emisji donora może prowadzić do przeszacowań, m.in. wskutek zjawiska filtra wewnętrznego, które osłabia sygnał donora przez reabsorpcję promieniowania w próbce. Zarówno FRET, jak i reabsorpcja mogą objawiać się w widmach luminescencji w podobny sposób – poprzez zanik emisji D i pojawienie się emisji A. Podstawowym sposobem pozwalającym odróżnić te dwa konkurencyjne procesy są pomiary czasów życia poziomów wzbudzonych donora i akceptora. Jednakże w UCNPs podczas transferu energii do akceptora czasy zaniku są obciążone ciągłą repopulacją stanów wzbudzonych jonów donora poprzez ciągły transfer energii w górę z jonów uczulacza^[22]. Dodatkowo wymagania tech-

niczne i czasochłonność pomiarów kinetyki luminescencji sprawiają, że są one mało praktyczne w szybkiej diagnostyce typu POC (ang. point-of-care).

Dlatego w zastosowaniach analitycznych powszechnie stosuje się podejście ratiometryczne, w którym analizuje się stosunek sygnału akceptora (I_A) do sygnału donora w obecności akceptora (I_{DA}). Metoda ta redukuje wpływ fluktuacji intensywności, a jednocześnie łączy informacje o zmianach sygnałów obu komponentów, zapewniając stabilniejszą i bardziej precyzyjną zależność dawka-odpowiedź. Wykorzystując UCNPs jako donory, Francés-Soriano ze współpracownikami^[23] osiągnęli limit detekcji wirusowego RNA rzędu 30 pmol/L. Natomiast Näreoja i inni^[24] przedstawili zastosowanie UC-FRET do pomiaru pH w próbkach biologicznych. Dzięki wykorzystaniu stosunku I_A/I_{DA} , BękarSKI i inni^[25] byli w stanie dokonać detekcji barwników organicznych na poziomie pojedynczych nmol/L. Ponadto przedstawili oni możliwość wykorzystania UCNPs do analizy multipleksowej, czyli takiej, w której wykrywanych jest kilka analitów. Połączenie analizy ratiometrycznej z właściwościami UCNPs umożliwia konstrukcję bardzo czułych i wiarygodnych bioczujników o dużym potencjale diagnostycznym^[26].

Architecture of Core-Shell Upconverting Lanthanide-Doped Nanoparticles for Optimal Luminescent Donor in Resonance Energy Transfer: The Effects of Energy Migration and Storage" *Small*, 18(18), 2200464 (2022)

23 Francés-Soriano L., Estebanez N., Pérez-Prieto J., Hildebrandt N. "DNA-Coated Upconversion Nanoparticles for Sensitive Nucleic Acid FRET Biosensing" *Adv. Funct. Mater.*, 32(37), 2201541 (2022)

24 Näreoja T., Deguchi T., Christ S., Peltomaa R., Prabhakar N., Fazeli E., in. "Ratiometric Sensing and Imaging of Intracellular pH Using Polyethyleneimine-Coated Photon Upconversion Nanoparticles" *Anal. Chem.*, 89(3), 1501-1508 (2017)

25 BękarSKI G., Prorok K., Štětina F., Misiak M., Gorris H.H., Bednarkiewicz A. "Multicolor Upconversion Förster Resonant Energy Transfer Using Optimized $\text{Yb}@\text{YbTm}$ Core/Shell Nanoparticles" *ACS nano*, 19(48), 41110-41120 (2025)

26 Su R., Francés-Soriano L., Diriwari P.I., Munir M., Haye L., Sørensen T.J., in. "FRET Materials for Biosensing and Bioimaging" *Chem. Rev.*, 125(19), 9429-9551 (2025)

21 Kotulska A.M., Pilch-Wrobel A., Lahtinen S., Soukka T., Bednarkiewicz A. "Upconversion FRET quantitation: the role of donor photoexcitation mode and compositional architecture on the decay and intensity based responses" *Light Sci. Appl.*, 11(1), 256 (2022)

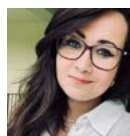
22 Pilch-Wrobel A., Kotulska A.M., Lahtinen S., Soukka T., Bednarkiewicz A. "Engineering the Compositional

Rozwój czujników bazujących na efektach UC-FRET przebiega w wielu uzupełniających się kierunkach – od precyzyjnej inżynierii architektury nanokryształów (rdzeń-płaszcz, rdzeń-płaszcz-płaszcz), poprzez projektowanie ich składu i kontrolę rozmieszczenia jonów optycznie aktywnych, aż po optymalizację warunków wzbudzenia i metod analizy sygnału. Uwzględnienie takich czynników jak migracja energii, tryb wzbudzenia donora czy fizykochemiczne właściwości akceptora okazuje się kluczowe dla uzyskania systemów UC-FRET o wysokiej wydajności i czułości. Zastosowanie podejść hybrydowych, np. łączenia UCNPs z barwnikami organicznymi lub kropkami kwantowymi, otwiera drogę do konstrukcji biocujników o bardzo niskich limitach detekcji. Jest to szczególnie korzystne w szybkiej diagnostyce POC, w której natychmiastowy, czuły i nieskomplikowany technicznie pomiar obecności biomarkerów może sygnalizować stan chorobowy już na wczesnym etapie. W szerszej perspektywie systemy UC-FRET dają nadzieję na uniwersalne narzędzie diagnostyczne i naukowe w bioobrazowaniu, fototerapii, nanodiagnostyce i fotonice molekularnej. Ich rozwój wymaga jednak dogłębnego zrozumienia procesów fotofizycznych oraz dalszej integracji podejść chemicznych, materiałowych i biologicznych, a także prac nad standaryzacją metod pomiarowych.

AUTORZY



Mgr inż. **Grzegorz Bękowski** (ORCID: 0009-0005-3729-4692) uzyskał tytuł magistra inżyniera na Politechnice Wrocławskiej (2025). Jego zainteresowania naukowe obejmują spektroskopię jonów lantanowców, FRET oraz inżynierię zaawansowanych materiałów funkcjonalnych. Obecnie jest doktorantem w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN.



Dr **Aleksandra Pilch-Wróbel** (ORCID: 0000-0003-1991-4008) uzyskała tytuł doktora (2020) w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN. Jej badania koncentrują się na syntezie, analizie i zastosowaniu nanocząstek luminescencyjnych domieszkowanych lantanowcami, zwłaszcza w kontekście zjawiska FRET, czujników pH oraz spektroskopii optycznej.



Prof. dr hab. inż. **Artur Bednarkiewicz** (ORCID: 0000-0003-4113-0365) uzyskał stopień doktora (1998), stopień doktora habilitowanego (2013) oraz tytuł profesora (2015) w Instytucie Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN. Jego działalność naukowa koncentruje się na zjawiskach konwersji energii w górę, emisji lawinowej w nano- i mikromateriałach domieszkowanych

jonami lantanowców, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań biomedycznych.

Autorzy pragną podziękować za finansowanie projektu w ramach grantu NCN Weave UNISONO nr 2022/04/Y/ST5/00081, dzięki któremu niniejsza praca mogła powstać.

W SKRÓCIE

Jednym z obszarów współczesnych badań naukowych jest coraz skuteczniejsze wykrywanie śladowych ilości różnych substancji organicznych. Pomagają w tym biocujniki, czyli układy, które reagują na obecność konkretnej cząsteczki i zamieniają tę informację na sygnał możliwy do zmierzenia. Jednym z ważnych zjawisk wykorzystywanych w takich czujnikach jest FRET. Ten skrót pochodzi od angielskiej nazwy Förster Resonance Energy Transfer, co po polsku oznacza försterowski rezonansowy transfer energii. Polega on na bezpromienistym przekazywaniu energii między dwiema cząsteczkami znajdującymi się bardzo blisko siebie. Jedna z nich, donor, pochłania energię promieniowania elektromagnetycznego zastosowanego do jej wzbudzenia, a następnie może przekazać ją – bez emisji fotonu – drugiej cząsteczce, czyli akceptorowi. Dzieje się to tylko na bardzo małych odległościach (typowo 1 – 10 nm), dzięki czemu można sprawdzić, czy określone cząsteczki się połączyły albo znalazły się wystarczająco blisko siebie. Zjawisko to jest bardzo przydatne w biologii i medycynie – zmiana sygnału świetlnego pochodzącego od próbki może świadczyć o tym, że zaszedł w niej jakiś ważny proces: połączenie fragmentów DNA, pojawienie się konkretnego białka albo obecność substancji związanej z chorobą. Zamiast bezpośrednio obserwować pojedyncze cząsteczki, śledzi się więc zmianę emitowanego promieniowania przez przyłączone do nich molekuly fluorescencyjne.

Przez wiele lat w tego typu badaniach stosowano głównie barwniki organiczne. Są one dobrze poznane, ale mają także swoje ograniczenia: ich absorpcja bądź emisja mogą się nakładać, przez co trudniej je od siebie odróżnić, a dodatkowo z czasem ich emisja może słabnąć, co pogarsza dokładność pomiarów. Dlatego w ostatniej dekadzie dużą uwagę zwrócono na nanokryształy domieszkowane jonami lantanowców. Są to nanomateriały o typowych rozmiarach około 25 nm, wykazujące szczególne właściwości fotoluminescencyjne. Potrafią pochłaniać promieniowanie podczerwone, a następnie emitować światło widzialne. To daje im dużą przewagę nad tradycyjnymi barwnikami organicznymi, ponieważ zmniejsza zakłócenia i pozwala dokładniej wykrywać właściwy sygnał – takie nanokryształy emitują bowiem światło w wąskich zakresach widma, działają stabilniej i są bardziej odporne na fotodegradację, dlatego mogą być lepszymi donorami energii niż zwykle barwniki.

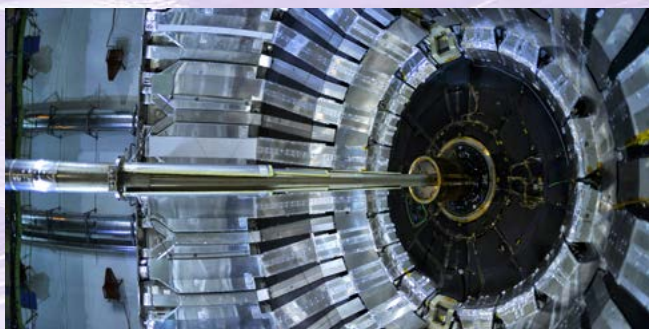
Trzeba jednak pamiętać, że nie każdy nanokryształ działa tak samo dobrze. Znaczenie ma jego struktura, rozmiar i rozmieszczenie jonów w jego wnętrzu. Największą rolę w przekazywaniu energii odgrywają te jony, które znajdują się blisko powierzchni, bo tylko one są wystarczająco blisko akceptora. Te położone głębiej mogą powodować emisję, ale nie uczestniczą bezpośrednio w samym procesie FRET. Właśnie dlatego naukowcy projektują bardziej złożone struktury – na przykład nanomateriały o architekturze rdzenia pokrytego płaszczem. Odpowiednio zaprojektowany nanokryształ pozwala wzmocnić sygnał i chronić materiał przed wygaszeniem przez otoczenie chemiczne. Ponadto szczególnie cenne są biocujniki ratiometryczne (od ang. ratio – stosunek, proporcja), które działają na zasadzie porównywania intensywności emisji dwóch pasm spektralnych – akceptora oraz donora w obecności akceptora. Taki pomiar jest bardziej wiarygodny niż obserwowanie tylko jednego sygnału, bo pozwala ograniczyć wpływ zakłóceń i przypadkowych błędów.

Nowoczesne biocujniki mogą pomóc w szybszym i dokładniejszym wykrywaniu ważnych substancji w organizmie. Ma to ogromne znaczenie zwłaszcza w diagnostyce medycznej, gdzie często liczy się czas i możliwość wykonania prostego testu blisko pacjenta.



KWARTAŁ BADAŃ

Najważniejsze wyniki badań polskich fizyków



ALGORYTMY AI ZWIĘKSZAJĄ SKUTECZNOŚĆ ANALIZ W EKSPERYMENCIE ATLAS

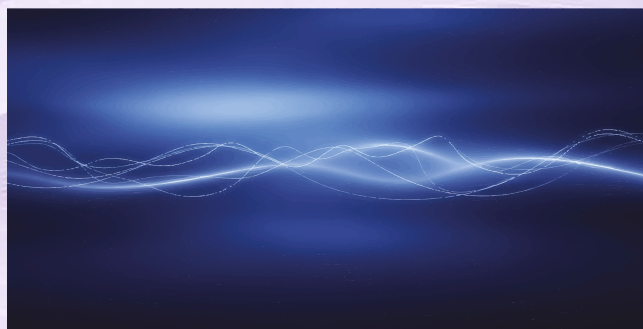
Zespół eksperymentu ATLAS opublikował w *Nature Communications* pracę prezentującą nowy algorytm GN2 do identyfikacji tzw. smaku dżetów – strumieni cząstek powstających w zderzeniach protonów w LHC. Rozróżnianie dżetów pochodzących od kwarków b i c ma kluczowe znaczenie dla badań właściwości bozonu Higgsa oraz testów Modelu Standardowego.

GN2 to model uczenia głębokiego oparty na architekturze transformer, który analizuje bezpośrednio niskopoziomowe informacje o torach cząstek w detektorze, rezygnując z klasycznego podejścia dwuetapowego. Sieć uczona jest nie tylko klasyfikacji dżetów, ale także zadań pomocniczych inspirowanych fizyką, takich jak identyfikacja wspólnych wierzchołków rozpadu i określanie pochodzenia torów. Takie podejście zwiększa skuteczność i interpretowalność algorytmu

Nowy algorytm GN2 znacząco przewyższa swoimi możliwościami poprzedni algorytm DL1d. Dla 70% efektywności identyfikacji dżetów b, odrzucenie dżetów c poprawiono 3,5-krotnie, a dżetów lekkich 1,8-krotnie. Przekłada się to na większą czułość analiz, m.in. w badaniach produkcji par bozonów Higgsa i pomiarach sprzężeń kwarków do pola Higgsa.

W prace nad algorytmem zaangażowane były polskie zespoły z: AGH w Krakowie, Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, Uniwersytetu Jagiellońskiego, Uniwersytetu Warszawskiego, Politechniki Warszawskiej oraz Politechniki Wrocławskiej.

Opracowano na podstawie publikacji:
ATLAS Collaboration, „Transforming jet flavour tagging at ATLAS”, *Nature Communications* 17, 541 (2026),
DOI: 10.1038/s41467-025-65059-6



KOLEKTYWNY TRANSPORT ELEKTRONÓW REDUKUJE SZUM ELEKTRYCZNY

Najnowsze wyniki badań nanodrutów z materiału $(\text{TaSe}_4)_2\text{I}$ pokazują, że prąd elektryczny może płynąć z mniejszym poziomem szumu niż w klasycznych metalach. Międzynarodowy zespół naukowców z udziałem badaczy Instytutu Wysokich Ciśnień Polskiej Akademii Nauk w Warszawie opublikował pracę na ten temat w czasopiśmie *Nature Communications*.

Badany materiał należy do układów, w których elektrony tworzą tzw. falę gęstości ładunku (CDW) – specyficzny kolektywny stan elektronów sprzężonych z siecią krystaliczną. Po przekroczeniu napięcia progowego ($V_t \approx 0,08 \text{ V}$) kondensat CDW zaczyna się jakby ślizgać po sieci krystalicznej (przemieszcza się w niej spójnie fazowo), przejmując dominującą rolę w przewodzeniu prądu. W przeciwieństwie do zwykłych przewodników, gdzie znormalizowany szum niskoczęstotliwościowy ($1/f$) pozostaje stały, w badanych nanodrutach zaobserwowano, że przy dużych prądach szum maleje odwrotnie proporcjonalnie do prądu ($SI/I^2 \sim 1/I$). Co więcej, całkowity poziom szumu spada poniżej poziomu typowego dla transportu pojedynczych elektronów w metalu

Analiza teoretyczna wskazuje, że w zakresie wysokich prądów nie ujawnia się wewnętrzna granica szumu kondensatu CDW – jego wkład musi być znacznie mniejszy niż wkład zwykłych nośników, aby wyjaśnić dane eksperymentalne. Oznacza to, że kolektywny transport silnie skorelowanych elektronów może być... wyjątkowo cichy!

Opracowano na podstawie publikacji:
S. Ghosh i in., „A quieter state of charge and ultra-low-noise of the collective current in quasi-1D charge-density-wave nanowires”, *Nature Communications* 17, 116 (2026),
DOI: 10.1038/s41467-025-67567-x.





CO ZMieniło UDERZENIE SONDY DART W PODWÓJNĄ PLANETOIDĘ DIDYMOS-DIMORPHOS?

Międzynarodowy zespół z udziałem naukowców z Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu opublikował w *Nature Communications* analizę zmian w układzie planetoid Didymos–Dimorphos po kontrolowanym uderzeniu sondy NASA DART we wrześniu 2022 r. Misja ta skróciła czas obiegu mniejszej planetoidy (Dimorphosa) wokół większej o około 33 minuty, pokazując, że możliwe jest celowe zmienianie toru ruchu ciała niebieskiego.

Badacze wykonali serię pomiarów światła odbitego od układu około miesiąc po zderzeniu oraz dwa miesiące później, analizując jego barwę w zakresie światła widzialnego (500–900 nm). Wyniki potwierdzają, że planetoidy należą do tzw. typu S, czyli skalistych obiektów bogatych w krzemiany. Jednocześnie zauważono niewielkie zmiany barwy między październikiem a grudniem. Mogą one wynikać z ewolucji chmury pyłu wyrzuconego podczas uderzenia – drobniejsze cząstki szybciej oddalają się od układu, pozostawiając większe, które nadają światłu bardziej czerwony odcień. Inną przyczyną może być nierównomierne osadzanie się świeżo odsłoniętego materiału na powierzchni większej planetoidy.

Opracowano na podstawie publikacji:
Lazzarin M. i in., „Spectroscopic insights into the near-earth didymos-dimorphos binary system following the double asteroid redirection test (DART) mission impact”,
Nature Communications 17, 551 (2026),
DOI: 10.1038/s41467-025-67242-1



SIĘĆ KWANTOWYCH CZUJNIKÓW BADA NATURĘ CIEMNEJ MATERII

Jedne z najczulszych laboratoryjnych poszukiwań ultralekkich aksjonów – hipotetycznych cząstek będących kandydatami na ciemną materię – przeprowadził międzynarodowy zespół fizyków z udziałem przedstawicieli Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Wyniki opublikowano w czasopiśmie *Nature*.

Badacze zbudowali sieć pięciu kwantowych czujników opartych na spolaryzowanych jądrach gazów szlachetnych (^{129}Xe), rozmieszczonych w dwóch miastach oddalonych o około 320 km i zsynchronizowanych sygnałem GPS. Celem było wykrycie krótkotrwałych obrotów spinów jądrowych, które mogłyby powstać podczas przejścia przez Ziemię topologicznych defektów pola aksjonowego – makroskopowych struktur przewidywanych w niektórych modelach ciemnej materii.

Zastosowano dwa kluczowe ulepszenia: wzmacnianie sygnału w układzie spin–spin (czynniki ~ 150) oraz zoptymalizowane filtrowanie szumu, inspirowane metodami używanymi w detekcji fal grawitacyjnych. Pozwoliło to osiągnąć czułość detekcji obrotu spinów rzędu 10^{-6} rad. Analiza 739 godzin danych nie wykazała statystycznie istotnych sygnałów. Brak detekcji umożliwił jednak ustanowienie nowych, rekordowo silnych ograniczeń na sprzężenie aksjon–neutron w zakresie mas od 10 peV do $0,2 \mu\text{eV}$. Dla masy około 84 peV uzyskano ograniczenie $f_{\text{int}} = 4,1 \times 10^{10} \text{ GeV}$, co przekracza dotychczasowe ograniczenia astrofizyczne nawet 40-krotnie.

Opisywany eksperyment, mimo że dał wynik negatywny, stanowi przykład wykorzystania kwantowych czujników do badań fundamentalnych właściwości Wszechświata.

Opracowano na podstawie publikacji:
Wang Y. i in., „Constraints on axion dark matter by distributed intercity quantum sensors”,
Nature 650, 315 (2026), DOI: 10.1038/s41586-025-10034-w.



NOWY KROK W STRONĘ ODPORNÝCH NA BŁĘDY KOMPUTERÓW KWANTOWYCH

Czasopismo *Nature Physics* opublikowało wyniki prac międzynarodowego zespołu fizyków z udziałem naukowców z Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, którzy zademonstrowali eksperymentalnie dwa wydajne schematy korekcji błędów kwantowych na 32-kubitowym procesorze nadprzewodzącym.

Jak wiadomo, w komputerze kwantowym informacje są wyjątkowo podatne na zakłócenia. Aby je chronić, wiele kubitów fizycznych łączy się w jeden bardziej odporny kubit logiczny. Kluczowe jest jednak, aby nie zużywać przy tym zbyt wielu zasobów. W prezentowanej pracy pokazano rozwiązania, które pozwalają kodować więcej informacji logicznej przy mniejszej liczbie kubitów fizycznych niż w dotychczas dominujących podejściach.

Eksperyment przeprowadzono na 32-kubitowym nadprzewodzącym procesorze „Kunlun”, w którym kubity są połączone dalekozasięgowymi sprzęgaczami, co umożliwia bardziej elastyczne realizowanie operacji kwantowych. W badanym urządzeniu średnia wierność operacji jedno-

kubitowych wynosi 99,95%, a dwukubitowych bramek CZ – 99,22%. Uzyskano logiczną stopę błędów rzędu 8–9% na kubit logiczny i cykl korekcji.

Choć nie osiągnięto jeszcze punktu, w którym błędy logiczne są mniejsze niż błędy pojedynczych kubitów fizycznych, symulacje pokazują, że dalsza poprawa jakości elementów sprzętowych może doprowadzić do skutecznego tłumienia błędów przy większej skali systemu. Praca stanowi istotny krok w kierunku budowy skalowalnych, odpornych na błędy komputerów kwantowych.

Opracowano na podstawie publikacji:
Wang i in. "Demonstration of low-overhead quantum error correction codes", *Nature Physics* 22, 308 (2026), DOI: 10.1038/s41567-025-03157-4



CZY SUPERRADIANCJA W NANODIAMENTACH ZOSTAŁA DOBRZE OPISANA? POLSCY FIZYCZY KORYGUJĄ MODEL TEORETYCZNY

Zespół fizyków z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu opublikował w *Nature Communications* krytyczną analizę opublikowanego w 2017 r. modelu teoretycznego, który miał wyjaśniać obserwowaną w temperaturze pokojowej superradiancję z pojedynczych nanokryształów diamentu.

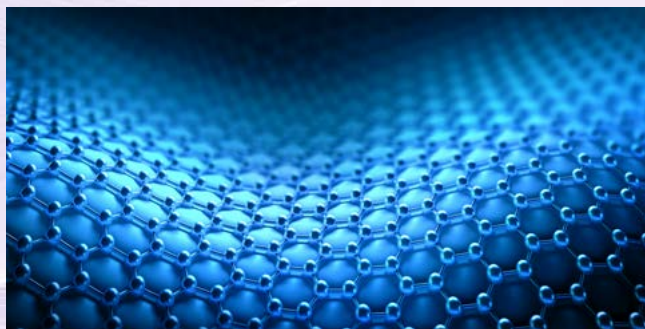
Superradiancja to zjawisko kolektywnej emisji światła przez wiele wzbudzonych emiterów, prowadzące do charakterystycznego, intensywnego impulsu fluorescencji. Autorzy wykazali jednak, że dotychczasowy model (nazwany przez nich „Modelem A”) prowadzi do wyników niezgodnych z fizyką – m.in. przewiduje ujemne natężenie fluorescencji oraz нефизyczne asymptoty czasowe.

W pracy zaproponowano poprawiony zestaw równań („Model B”) zachowujący formalizm równania Goriniego–Kossakowskiego–Lindblada–Sudarshana (GKLS), lecz eliminujący błędy matematyczne i niekonsekwencje fizyczne. Numeryczne symulacje pokazują, że nowy model daje przebiegi fluorescencji zgodne z oczekiwaniami dla emisji kolektywnej i nie generuje нефизycznych efektów.

Autorzy podkreślają, że ich analiza nie podważa wyników eksperymentalnych, lecz wskazuje na konieczność rewizji opisu teoretycznego. Praca stanowi przykład, jak istotne w fizyce kwantowej jest zachowanie spójności formalnej równań dynamiki otwartych układów.

Badania przeprowadzono w Instytucie Fizyki Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

Opracowano na podstawie: Borkowski J.J., Czerwiński A., Kolenderski P., "Revisiting superradiance dynamics from single diamond nanocrystals with a physically consistent model for fluorescence decay", *Nature Communications* (2026), DOI: 10.1038/s41467-025-67847-6



GEOMETRIA A MAGNETYZM: DRUKOWANE NANORURKI Z KONTROLOWANYMI ŚCIANAMI DOMENOWYMI

Międzynarodowy zespół badaczy z udziałem naukowców z Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie eksperymentalnie zrealizował magnetyczne nanorurki o złożonych, trójwymiarowych kształtach (prostych, helikalnych i zygzakowatych), łącząc druk 3D w skali nanometrowej z elektrochemicznym osadzaniem warstwy magnetycznej.

Punktem wyjścia były trójwymiarowe rusztowania z wolframu wytwarzane metodą FEBID (*Focused Electron Beam Induced Deposition*). Następnie pokryto je konforemną powłoką niklu, otrzymując strukturę typu rdzeń-powłoka o kontrolowanej średnicy wewnętrznej i grubości warstwy magnetycznej. Analiza STEM-EDS potwierdziła jednorodne pokrycie i dobrą jakość interfejsu. Konfigurację magnetyczną badano metodą mikroskopii rentgenowskiej XMCD-PEEM (w geometrii „cienia”). Dla większości struktur o odpowiedniej grubości powłoki zaobserwowano stan azymutalny, w którym namagnesowanie krąży wokół osi rurki. Symulacje mikromagnetyczne potwierdziły, że w badanym zakresie parametrów geometrycznych jest to stan energetycznie preferowany.

Kluczowy wynik dotyczy jednak struktur z wierzchołkami (geometrii zygzakowatej). W tej geometrii około 94% obserwowanych ścian domenowych lokalizowało się w pobliżu obszarów o największej krzywiznie. Symulacje wykazały, że wierzchołki tworzą lokalne minimum energii magnetostaticznej, działając jak naturalne centra zakotwiczenia.

Wyniki opublikowane w czasopiśmie *Advanced Functional Materials* pokazują, że w magnetycznych nanorurkach geometria trójwymiarowa może być narzędziem kontroli krajobrazu energetycznego i położenia ścian domenowych. Otwiera to drogę do projektowania trójwymiarowych elementów spintronicznych, w których ruch i stabilność defektów magnetycznych są kontrolowane nie tylko składem materiału, ale także kształtem struktury.

Opracowano na podstawie publikacji:
Fernández-González C. i in., "Realization of Complex-Shaped Magnetic Nanotubes with 3D Printing and Electrodeposition", *Advanced Functional Materials* 36, 4, e15722 (2026), DOI: 10.1002/adfm.202515722



EKSCYTONY UJAWNIAJĄ MAGNETYZM W CrSBr

W pracy opublikowanej w *Nature Communications* międzynarodowy zespół badaczy pod kierunkiem naukowców z Politechniki Wrocławskiej zbadał właściwości ekscytonów w warstwowym półprzewodniku magnetycznym CrSBr.

Przypomnijmy, że ekscytyny, czyli związane pary elektronu i dziury, odpowiadają między innymi za optyczne

właściwości półprzewodników i są kluczowe dla przyszłych technologii optoelektronicznych oraz spinowo-fotonicznych. W CrSBr współistnieją dwa różne typy ekscytonów: bardziej zlokalizowany ekscyton typu Frenkla (XA) oraz zdelokalizowany ekscyton typu Wanniera-Motta (XB). Takie współwystępowanie dwóch typów ekscytonów w jednym dwuwymiarowym materiale jest rzadkie i pozwala bezpośrednio porównywać dwa fundamentalne reżimy fizyki ekscytonów.

Łącząc spektroskopię magnetooptyczną w bardzo silnych polach magnetycznych (do 85 T) z obliczeniami *ab initio*, badacze wykazali, że ekscyton XB reaguje na zmiany magnetyzmu materiału nawet dziesięciokrotnie silniej niż XA. Wynika to z jego większego rozmiaru przestrzennego i silniejszego powiązania ze strukturą pasmową kryształu.

CrSBr stanowi wyjątkową platformę do analizowania sprzężenia między ekscytonami, magnetyzmem i drganiami sieci krystalicznej. Wskazują one również na to, że do opisu takich silnie skorelowanych materiałów konieczne są zaawansowane metody obliczeniowe dla wielu ciał, które wykraczają poza klasyczne modele fenomenologiczne.

Opracowano na podstawie publikacji:
Śmiertka M. i in., "Distinct magneto-optical response of Frenkel and Wannier excitons in CrSBr",
Nature Communications 17, 1777 (2026),
DOI: 10.1038/s41467-026-68482-5



AI DOPASOWUJE ELEKTRODY W BATERIACH AZIB

Międzynarodowy zespół z udziałem badaczy z Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej zaprezentował w *Nature Communications* ilościowy model doboru elektrod w wodnych bateriach cynkowo-jonowych (AZIBs).

Problem, który autorzy rozwiązują, jest fundamentalny: w architekturze *dual-intercalation*, gdzie obie elektrody magazynują jony Zn^{2+} , wydajność całego ogniwa zależy od dopasowania kinetyki transportu jonów w obu materiałach. Jeśli jedna elektroda przyjmuje jony szybciej niż druga, powstają lokalne nagromadzenia ładunku, rośnie polaryzacja i spada trwałość baterii.

Autorzy opracowali wspomagany uczeniem maszynowym model dopasowania kinetycznego, który łączy parametry strukturalne (m.in. rozstaw warstw krystalicznych) z dyfuzją jonów Zn^{2+} . Wprowadzono dwa deskryptory ilościowe – *diffusion ratio* (DR) i *composite shift index* (CSI) – pozwalające przewidzieć, czy para materiałów elektrodowych będzie pracować w sposób zsynchronizowany. Model przetestowano eksperymentalnie na układzie $Zn_3V_3O_8 \parallel NH_4V_4O_{10}$. Dobrze dopasowana konfiguracja (okno 0,2–1,8 V) osiągnęła: pojemność 310 mAh g⁻¹, ponad 12 000 cykli przy 5 A g⁻¹ oraz znaczną redukcję polaryzacji i oporu dyfuzyjnego.

Symulacje metodą elementów skończonych pokazują, że w stanie dopasowanym rozkład stężenia Zn^{2+} i pola elektrycznego w ogniwie jest jednorodny, podczas gdy w stanie niedo-

pasowanym powstają silne gradienty sprzyjające degradacji. Strategię rozszerzono także na elastyczne ogniwa hydrożelowe, uzyskując rozciągliwą baterię o pojemności powierzchniowej 1,2 mAh cm⁻² i gęstości energii 1070 μWh cm⁻².

Opracowano na podstawie publikacji:
Xie Q. i in., "Machine learning-assisted kinetic matching model for rational electrode design in aqueous zinc-ion batteries", *Nature Communications* 17, 1233 (2026),
DOI: 10.1038/s41467-025-67996-8



FERROMAGNETYZM WYWOŁANY GEOMETRIĄ SIECI

Ferromagnetyzm w materiale, który w swojej naturalnej postaci jest paramagnetycznym metalem – to główny rezultat pracy opublikowanej m.in. przez naukowców z Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie w *Advanced Functional Materials*.

Autorzy pokazali, że w cienkich warstwach SrIrO₃ można wywołać uporządkowanie magnetyczne wyłącznie poprzez zmianę struktury krystalicznej. SrIrO₃ to tlenek 5d o silnym sprzężeniu spinowo-orbitalnym. W strukturze objętościowej nie wykazuje ferromagnetyzmu. Gdy jednak warstwy SrIrO₃ wyhodowano na podłożu SrTiO₃ (111), powstała naprężona, heksagonalna nadstruktura z naprzemiennymi oktaedrami IrO₆ współdzielącymi swoje wierzchołki i ściany. Zmiana topologii sieci doprowadziła do zwiększenia gęstości stanów na poziomie Fermiego i osłabienia efektywnego sprzężenia spinowo-orbitalnego, co sprzyjało niestabilności ferromagnetycznej. Obecność uporządkowania magnetycznego potwierdzono poprzez obserwację histerezy anomalnego efektu Halla (w temperaturach poniżej kilku kelwinów), sygnału XMCD (*X-ray Magnetic Circular Dichroism*, czyli magnetycznego dichroizmu kołowego w zakresie promieniowania rentgenowskiego) na krawędzi absorpcji Ir M₅ oraz pomiary magnetooporu. Choć zmierzony moment magnetyczny jest niewielki i wynosi zaledwie 0,03 μB na atom Ir (dla porównania moment swobodnego jonu żelaza Fe³⁺ wynosi aż 5,9 μB), badany materiał wykazuje wyraźny anomalny efekt Halla. Obliczenia struktury elektronowej metodą DFT+U sugerują ponadto możliwość istnienia punktów Weyla w pobliżu poziomu Fermiego, co wskazuje na potencjalnie topologiczny charakter układu.

Odkrycie to pokazuje, że w materiałach o silnym sprzężeniu spinowo-orbitalnym magnetyzm można wywołać nie tylko przez domieszkowanie, lecz przez samą zmianę geometrii sieci krystalicznej. Otwiera to drogę do projektowania nowych materiałów spintronicznych, w których właściwości magnetyczne są kontrolowane czysto strukturalnie, bez wprowadzania chemicznego nieuporządkowania.

Opracowano na podstawie publikacji:
Lim J. S. i in., "Inducing Ferromagnetism by Structural Engineering in a Strongly Spin-Orbit Coupled Oxide",
Advanced Functional Materials (2026),
DOI: 10.1002/adfm.202600032





SZKOŁA I UCZELNIA – CZYLI SIŁA FIZYKI

Pokolenia wychowane na „Sondzie”, „Laboratorium” i innych programach popularyzujących naukę wiedzą, że fascynacja światem zaczyna się od dobrze postawionego pytania. Dziś, gdy szkolna fizyka i chemia są coraz bardziej ograniczane w planie lekcji, to właśnie popularyzacja nauki przejmuje rolę pierwszego kontaktu młodego człowieka z prawdziwym rozumieniem świata. Rozpoczynamy w Postęпах Fizyki nowy dział „Szkoła i Uczelnia” prowadzony przez dydaktyków dla dydaktyków. Chcemy oddać głos nie tylko naukowcom, lecz także nauczycielom, popularyzatorom i metodykom.

Ogłoszenie przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego bieżącego roku rokiem popularyzacji nauki nie jest jedynie gestem symbolicznym, lecz świadomą odpowiedzią na wyzwania współczesnego świata. W dobie dynamicznego rozwoju technologii, eksploracji kosmosu, transformacji energetycznej oraz powszechnego dostępu do informacji, popularyzacja nauki staje się jednym z kluczowych filarów odpowiedzialnej edukacji i rozwoju społeczeństwa.

Jako nauczycielka fizyki, biologii oraz Ambasadorka Edukacji Kosmicznej ESERO Polska postrzegam ten rok jako szczególnie istotny moment, w którym nauka powinna wybrzmieć nie tylko w murach uczelni i laboratoriów, ale przede wszystkim w przestrzeni publicznej – w szkołach, mediach, instytucjach kultury oraz codziennych rozmowach. Powinna wybrzmieć też w *Postęпах Fizyki* i działalności Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Dlatego z wdzięcznością, ale i odpowiedzialnością przyjąłem zaproszenie Redaktora Naczelnego naszego pisma, prof. Jerzego E. Garbarczyka do redagowania nowego działu *Postępów*. Pod hasłem „Szkoła i Uczelnia” rozumiem Wasz głos w ważnych sprawach polskiej szkoły i uczelni, dzielenie się sprawdzonymi metodami dydaktycznymi, doświadczeniami, szansami i sukcesami, informacjami o konkursach i inicjatywach. Przede wszystkim jednak chciałabym, aby ten dział wpisywał się w popularyzację fizyki językiem dydaktyki szkolnej i akademickiej. Moim marzeniem jest, aby publikowane treści mogły być bezpośrednio wykorzystane na lekcjach, wykładach, warsztatach. Jednym słowem, aby nie tylko informowały, ale przede wszystkim inspirowały zarówno nauczycieli szkolnych i akademickich jak i Waszych uczniów i studentów.

Z MIŁOŚCI DO NAUKI – MOJA PODRÓŻ

Moje podejście do nauki i edukacji zostało ukształtowane już w dzieciństwie. Wychowałam się dosłownie „pod biurkiem” nauczycielki biologii leśnej, obcując z przyrodą i stawiając pytania. Dorastałam w czasach, gdy popularyzacja nauki w polskich mediach stała na niezwykle wysokim poziomie. Programy takie jak „Laboratorium” Wiktora Niedzickiego, kultowa „Sonda” nieodżałowanych Zdzisława Kamińskiego i Andrzeja Kurka, a później audycje prowadzone przez Tomasza Rożka, pokazywały, że nauka może być jednocześnie rzetelna, fascynująca i dostępna dla każdego.

Edukacja szkolna stała się dla mnie przestrzenią, w której dziecięca ciekawość świata zaczęła przekształcać się w świadome zainteresowanie nauką. To właśnie w małej wiejskiej szkole podstawowej, a później w liceum, po raz pierwszy doświadczyłam momentu, w którym fizyka i biologia przestały być jedynie szkolnymi przedmiotami, a zaczęły funkcjonować jako języki opisu rzeczywistości, narzędzia pozwalające odpowiadać na pytania o to, jak i dlaczego działa otaczający nas świat. Rok popularyzacji nauki jest dla mnie przede wszystkim przypomnieniem idei nauki tłumaczonej jasno, odpowiedzialnie i z pasją.

POPULARYZACJA NAUKI PILNYM PRIORYTETEM

Współczesny świat stawia przed społeczeństwem wyzwania, które wymagają podstawowej wiedzy naukowej: zmiany klimatyczne, rozwój sztucznej inteligencji, technologie kosmiczne, energetyka jądrowa czy medycyna oparta na danych. Bez umiejętności krytycznego myślenia i rozumienia

procesów naukowych rośnie podatność na dezinformację, pseudonaukę i uproszczone narracje. Jak mówić o nauce, aby była rozumiana?

Popularyzacja nauki pełni dziś funkcję społecznej tarczy, chroni przed manipulacją, uczy weryfikowania źródeł i buduje zaufanie do wiedzy opartej na faktach. To właśnie dlatego stała się jednym z kluczowych priorytetów edukacyjnych. Szczególną rolę w tym procesie odgrywa edukacja kosmiczna, rozwijana m.in. przez programy ESERO Polska. Kosmos stanowi naturalny punkt wyjścia do rozmów o fizyce, matematyce, technologii, ale także o współpracy międzynarodowej i odpowiedzialności za przyszłość planety. Dla młodych ludzi jest źródłem inspiracji, aby skutecznie łączyć teorię z praktyką i marzenia z realnymi ścieżkami kariery.

ROLA NAUCZYCIELA W ROKU POPULARYZACJI NAUKI

Ten szczególny rok podkreśla również zmieniającą się rolę nauczyciela, z przekaziciela wiedzy na przewodnika i ambasadora nauki. To nauczyciele mają realny wpływ na to, czy uczniowie potraktują naukę jako obowiązek, czy jako narzędzie do odkrywania świata. Popularyzacja nauki zaczyna się od ciekawości, od pytania: dlaczego?, które w sprzyjających warunkach może przerodzić się w pasję na całe życie. Doskonale wpisują się w to inicjatywy Klubów Młodego Odkrywcy działające w wielu szkołach podstawowych i ponadpodstawowych w całym kraju, a także studenckie koła naukowe.

Popularyzacja nauki jest inwestycją w przyszłość, w społeczeństwo kompetentne, odpowiedzialne i otwarte na rozwój. To także wyraz troski o młode pokolenia, które w świecie pełnym wyzwań będą musiały podejmować decyzje oparte na wiedzy, a nie na emocjach czy uproszczeniach. Dla mnie osobiście ogłoszony Rok Popularyzacji Nauki jest również momentem symbolicznym, nawiązaniem do programów telewizyjnych, które kiedyś rozbudziły moją ciekawość świata, i szansą, by dziś, jako nauczycielka i ambasadorka edukacji kosmicznej, z jeszcze większą energią przekazywać tę fascynację kolejnym pokoleniom.

NAUCZYCIEL JAKO PRZEWODNIK PO ŚWIECIE NAUKI

W 2025 roku uzyskałam na Politechnice Śląskiej dyplomowaną komunikatorki i popularyzatorki nauki, kończąc unikatowe tego typu studia w Polsce. Było to doświadczenie przełomowe. Uświadomiło mi, że skuteczna popularyzacja nauki nie zaczyna się od treści, lecz od relacji z odbiorcą. Studia te nauczyły mnie mówić o nauce z pasją, ale i z uważnością, dostosowując język, formę i narrację do wieku, doświadczenia i kompetencji słuchaczy. Popularyzator nauki nie upraszcza rzeczywistości, lecz tłumaczy zjawiska i procesy prowadząc odbiorcę przez proces rozumienia, jednocześnie nie zasypując go faktami.

Współczesny nauczyciel i edukator coraz częściej staje się przewodnikiem i animatorem przygody z nauką. Nie przekazuje wiedzy jednokierunkowo, lecz tworzy warunki do jej odkrywania. Podejście to polega na aktywnym słuchaniu uczniów, reagowaniu na ich pytania i wątpliwości, budowaniu przestrzeni do dialogu oraz wzmacnianiu naturalnej ciekawości w miejsce lekcyjnego monologu do grupy słuchaczy oraz oceny i uzupełniania ich niewiedzy. W tym modelu nauczyciel nie jest strażnikiem poprawnych odpowiedzi, lecz punktem odniesienia w procesie indywidualnego odkrywania i doświadczania, a także osobą prowokującą kształtowanie myślenia.



Bliska jest mi metafora nauczyciela jako radaru, urządzenia wyposażonego w liczne czujki. Taki nauczyciel obserwuje reakcje uczniów, wychwytuje momenty niezrozumienia, dostrzega zniechęcenie zanim zamieni się ono w opór, reaguje na emocje, ciekawość i lęk. Radar wysyła sygnały, ale jego funkcja to głównie odbieranie i interpretacja danych, które niosą one po odbiciu od obiektów. Podobnie nauczyciel nie realizuje sztywnego scenariusza, lecz elastycznie dopasowuje sposób pracy do grupy, sytuacji i kontekstu.

Jednym z najważniejszych wniosków płynących z doświadczeń popularyzatorskich jest świadomość, że każde pytanie zadane nauczycielowi otwiera drzwi, a nigdy ich nie zamyka. Nawet pytania pozornie naiwne lub nie na temat prowadzą do odkryć i obserwacji. To szczególnie istotne w kontekście nauk ścisłych, które zbyt często bywają postrzegane jako hermetyczne i niedostępne, nierozumiane.

Doświadczenie zdobyte na Politechnice Śląskiej pokazało mi, że komunikowanie nauki jest dziś jedną z kluczowych kompetencji nauczyciela. W świecie ograniczonych godzin przedmiotowych, przeciążonych podstaw programowych i nadmiaru informacji w sieci, to właśnie umiejętność opowiadania o nauce decyduje o tym, czy uczeń ją zrozumie, czy w ogóle będzie chciał ją poznać. Taką formę chcielibyśmy nadać działowi „Szkoła i Uczelnia”. Zachęcamy nie tylko do lektury, lecz także do praktycznego wykorzystywania publikowanych treści oraz dzielenia się refleksjami i doświadczeniami. Niech te strony *Postępów Fizyki* staną się przestrzenią wspólnej refleksji i wsparcia w budowaniu relacji z uczniami i studentami – odkrywcami świata przyrody.

AUTORKA



Agnieszka Winiarska-Furtak jest nauczycielką fizyki w szkołach podstawowych w Rumi, ambasadorką Edukacji Kosmicznej ESERO-Polska oraz absolwentką kierunku Komunikacja naukowa i popularyzacja nauki na Politechnice Śląskiej. Z pasją eksperymentuje i podróżuje łącząc naukę z praktyką i odkrywaniem świata.



TOMASZ K. PIETRZAK (POLITECHNIKA WARSZAWSKA, WYDZIAŁ FIZYKI)

AKADEMICKIE DYLEMATY FIZYKA – DYDAKTYKA

Choć największe polskie uczelnie kładą coraz mocniejszy nacisk na osiągnięcia naukowe i prowadzenie prac badawczych, kształcenie studentów nadal pozostaje najważniejszym zadaniem stawianym uniwersytetom, politechnikom czy innym szkołom wyższym. W niniejszym artykule zebrałem subiektywnie najważniejsze doświadczenia i przemyślenia dotyczące nauczania szeroko rozumianej fizyki, choć zapewne wiele z nich można przenieść na inne dyscypliny przyrodnicze. Jest to efekt mojej pracy dydaktycznej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej oraz wizyt studyjnych w różnych ośrodkach zagranicznych.

NIE TYLKO JA MAM DYLEMATY

Rozterki, jak możliwie najlepiej prowadzić kształcenie z zakresu nauk przyrodniczych, zapewne towarzyszyły nauczycielom od zarania dziejów. Mimo że ten artykuł nie ma aspiracji do bycia przeglądem historycznym dydaktyki fizyki, na początku pozwolę sobie odnieść się do kilku subiektywnie wybranych wypowiedzi z czasów nam bliższych.

Jako motto przewodnie w książce Kacpra Zalewskiego „Wykłady z termodynamiki fenomenologicznej i statystycznej”^[1] pojawia się wymowny cytat za Robertem A. Millikanem, laureatem Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w 1923 r. otrzymanej za wyznaczenie ładunku elementarnego i prace nad zjawiskiem fotoelektrycznym: *Wciąż jeszcze uważam zadania za sedno udanego uczenia fizyki, podczas gdy próby objęcia całego materiału w serii wykładów, jak się często to robi, są głupim anachronizmem – przeżytkiem z czasów, przed odkryciem prasy drukarskiej.* Już około 100 lat temu Millikan zauważał potrzebę uprawiania fizyki w mniejszych grupach, skupiając się na praktycznych umiejętnościach rozwiązywania konkretnych zadań rachunkowych. Należy chyba jednak się zgodzić, że odkładanie do lamusa wykładów audytoryjnych z przedmiotów podstawowych – na których studenci zdobywają solidną wiedzę, którą potem mogą przekuć w umiejętności podczas ćwiczeń – może wydawać się nazbyt radykalnym rozwiązaniem.

Z kolei w przedmowie zawartej w I części tomu „Feynmana wykłady z fizyki”^[2] znajdziemy nacechowaną pewnym pesymizmem sentencję Joshua Gibbona: *Nauczanie, rzadko okazuje się prawdziwie skuteczne, z wyjątkiem tych szczęśliwych jednostek, dla których jest ono niemal zbędne.* To zdanie staje się wymowne szczególnie w kontekście nauczania fizyki studentów pierwszego roku (niekoniecznie wydziałów fizyki). Przychodzą do nas absolwenci liceów i techników reprezentujący zróżnicowany poziom – nie zawsze z ich winy – związany z jarzmami narzucanymi przez ograniczoną liczbę godzin przeznaczanych na nauczanie fizyki w szkołach średnich. Te ograniczenia nierzadko są przewyżczone przez wielu „Siłaczy” i wiele „Siłaczek” – nauczycieli szkół średnich – którzy na przekór niskiemu wynagrodzeniu i przeciwnościom losu niosą młodzieży kaganek oświaty i zaszczepiają w nich szczerą pasję i dobrze ugruntowaną wiedzę z fizyki. Niezależnie od tego, jako nauczyciele akademicki podstaw fizyki, często możemy wyróżnić dwie skrajne grupy wśród naszych studentów: pierwsza, o której nauczanie walczymy ze wszelkich sił, i druga – złożona z tych, którym wystarczy jedynie subtelny impuls, aby podąжали we właściwym kierunku, w celu dalszego doskonalenia się.

Swoimi przemyśleniami na temat dostosowania nauczania fizyki do współczesnych wymagań zmieniającego się w zadziwiająco szybkim tempie świata podzielił się także Łukasz A. Turski w 2019 r. na łamach „Postępów Fizyki”^[3].

1 Kacper Zalewski: Wykłady z termodynamiki fenomenologicznej i statystycznej, Warszawa 1973, PWN.

2 Richard P. Feynman, Matthew Sands, Robert B. Leighton: Feynmana wykłady z fizyki, Warszawa 1971, PWN.

3 Łukasz A. Turski: Uczenie fizyki w XXI wieku. Jak i po co? Postępy Fizyki 70, 2 (2019).

Przestrzegał przed bezkrytycznym korzystaniem z niesprawdzonych źródeł internetowych. Zachęcał do nauczania fizyki bazując na rozwiązywaniu stawianych sobie problemów, a nawet do lektury książek w kontekście analizy pojawiających się mimochodem na ich kartach zjawisk przyrodniczych czy budowy i zasady działania urządzeń. Zwrócił także uwagę, że nie można pokazywać fizyki w oderwaniu od eksperymentu. W dość zabawny sposób podchodził z rezerwą czy pewnym sceptycyzmem do zastępowania rzeczywistych obserwacji przez techniki multimedialne: *jedynym możliwym wykorzystaniem laptopa, tabletu, czy czegoś podobnego w nauczaniu grawitacji jest zrzucenie go ze stołu w celu zademonstrowania, w którym kierunku działa grawitacja*. W konkluzji podkreślał rangę kształcenia w zakresie fizyki w odniesieniu do budowania świadomego i wolnego społeczeństwa.

Potrzebę uczenia przez eksperyment cenił także Richard Feynman. *Konferencja nic mi nie daje. Niczego się nie uczę. Ponieważ nie robią żadnych doświadczeń, dziedziną tą jest martwa* — pisał w liście do swojej żony Gweneth ten wybitny fizyk-teoretyk w 1963 r. z Warszawy^[4].

DYLEMATY „POZAMERYTORYCZNE”

Zanim przejdziemy do głównej części rozważań, krótko chciałbym naszkicować kilka problemów związanych z realizacją dydaktyki, które roboczo nazwałbym „niemerytorycznymi” (niezwiązanymi ściśle z *clue* realizacji procesu dydaktycznego).

Wielu nauczycieli akademickich zatrudnionych na wydziałach fizyki różnych uczelni przypisana jest do grupy badawczo-dydaktycznej. Oznacza to, że (po pominięciu obowiązków *stricte* organizacyjnych) większość naszego zaangażowania powinna być związana ze sprawami naukowymi oraz dydaktyką. Tymczasem ewaluacja pracowników badawczo-dydaktycznych kładzie zwykle duży nacisk na osiągnięcia naukowe: liczbę i jakość publikacji, liczbę złożonych wniosków na badania i zdobytych grantów oraz idące za nimi przychody dla jednostki naukowej. Zaangażowanie dydaktyczne i jakość kształcenia zwykle redukuje się do wykonania przypisanego danemu pracownikowi pensum. Jak często spotykamy się z sytuacją, w której wyróżniające się oceny w ankietach studenckich wpływają na szczególne uznanie ze strony władz wydziału lub społeczności pracowników? Taka dysproporcja może zniechęcać (w szczególności młodych nauczycieli akademickich) do kierowania swojego rozwoju również w kierunku wysokojakościowej dydaktyki.

Inna trudność wynika z faktu, że osiągnięcia naukowe dość łatwo mierzyć ilościowo dzięki redukcji do tabelki w arkuszu kalkulacyjnym obejmujących: liczbę publikacji, sumaryczny *impact factor*, indeks Hirscha, liczbę punktów ministerialnych, wartość grantów itd. Tymczasem ewaluacja (a tym samym wynikająca z niej odpowiednia gratyfikacja) jakości uprawianej przez nauczyciela akademickiego dydaktyki pozostaje niemalym wyzwaniem.

Dosyć nagminne jest, że nauczyciel akademicki przygotowując materiały dydaktyczne (np. slajdy, sylabusy, treści multimedialne) pozostawiony jest sam sobie i swoim – powiedzmy uczciwie – ograniczonym możliwościom. Tymczasem atrakcyjna szata graficzna, dopracowane rysunki, ani-

macje itd. nie tylko znacząco podnoszą poziom atrakcyjności materiałów, ale mogą także pozytywnie wpływać na łatwość w przyswajaniu przez studentów wiedzy.

I wreszcie czas – czwarty wymiar przestrzeni Minkowskiego – tak nieubłagalnie płynie i nie chce pomieścić tylu aktywności, ilu byśmy chcieli. Wyjazdy studyjne, kursy doszkalające, seminaria dydaktyczne, publikacje w czasopismach poświęconych dydaktyce itd. – to wszystko bardzo cenne źródła informacji o nowych sposobach nauczania. Ale kiedy znaleźć na to wszystko czas...?

ABSOLUTNE WARTOŚCI W DYDAKTYCE

Jakkolwiek niniejszy artykuł ma charakter polemiczny, w uprawianej przeze mnie dydaktyce istnieją wartości, które nazwałbym absolutnymi (bezwzględnymi, nie negocjowanymi). Towarzyszą mi one zawsze przy realizacji procesów kształcenia i nakreślają silny fundament, którego nie mogą naruszyć stosowane metody dydaktyczne. Wspomniane wyżej wstępne cechy dobrej dydaktyki to moim zdaniem:

- **Wysoka jakość kształcenia.** Mówimy tutaj zarówno o zakresie wymaganego materiału objętego przedmiotem, różnorodnej i atrakcyjnej zawartości, formie prezentacji czy spektrum dostępnych materiałów pomocniczych/dodatkowych itd. Nie tylko warto udostępniać studentom dobrze opracowane i przemyślane prezentacje. W wielu przypadkach cenne będą klasyczne podręczniki kursowe^[5]. Niestety, czasami opieranie wykładu na tych świetnych, wielotomowych podręcznikach dedykowanych zwykle studentom wiodących uczelni, może być trudne do realizacji w warunkach ograniczonej liczby godzin. W takich przypadkach praktyczniej jest korzystać z bardziej skondensowanych opracowań^[6], dostosowanych do lokalnych zdolności i potrzeb studentów.

- **Szacunek do słuchaczy.** Objawia się m.in. przez równe traktowanie płci, pozostawanie daleko od konfliktów i przekonań politycznych, szacunek wolności wyznania oraz unikanie wszelkiej dyskryminacji ze względu na pochodzenie,

W UPRAWIANEJ PRZEZE MNIE DYDAKTYCE ISTNIEJĄ WARTOŚCI, KTÓRE NAZWAŁBYM ABSOLUTNYMI (BEZWZGLĘDNymi, NIE NEGOCJOWANYMI).

narodowość czy kolor skóry. Choć szacunek do takich wartości wydaje się naturalnie związany z godnością akademicką, liczne niepokojące doniesienia medialne niestety wskazują, że nie jest on powszechny.

- **Przejrzystość i obiektywność zasad zaliczania przedmiotu.** Choć nadrzędnym celem studiów jest zdobytą wiedza, pozyskane umiejętności i inne kompetencje, a nie ocena w indeksie, ład i porządek w kwestiach formalnych pozytywnie wpływa na poczucie bezpieczeństwa słuchaczy i pozwala uniknąć niepotrzebnego zamieszania.

- **Docenianie ambicji studentów oraz ich uczciwości.** Wszelkie formy ściągania powinny być bezwzględnie penalizowane. Zasady wspomagania metodami sztucznej inteligencji klarowanie określone. Uczciwość musi być wartością symetryczną w relacjach wykładowca – studenci: nasi słuchacze mają pełne prawo do sprawiedliwego i równego traktowania.

- **Podmiotem w nauczaniu jest student – drugi człowiek.**

4 Richard P. Feynman: *A co ciebie obchodzi, co myślą inni? Dalsze przypadki ciekawego człowieka*. Księgarnia Znak (2021)

5 por. np. Richard P. Feynman, Matthew Sands, Robert B. Leighton: *Feynmana wykłady z fizyki*, Warszawa 1971, PWN; A. K. Wróblewski, J. Zakrzewski, *Wstęp do fizyki* (tomy I – II), PWN, (1984); *Berkeleyowski Kurs Fizyki: Mechanika, Elektryczność i magnetyzm, fale, fizyka kwantowa, fizyka statystyczna*. Tomy I – IV, PWN, 1968 – 1971

6 np. Władysław Bogusz, Jerzy Garbarczyk, Franciszek Krok: *Podstawy Fizyki*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej (2023). Jerzy E. Garbarczyk, Marek Wasiucionek, Tomasz K. Pietrzak: *Zadania i przykłady z fizyki*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej (2026).

Niezależnie od obiektywnych kryteriów oceny, wysoce ceniona będzie pewna wyrozumiałość do historii indywidualnej osoby, przeżywanej przez nią trudnej sytuacji itp., która umożliwi takiemu strapienemu studentowi dalszy wzrost, w oczywistym kontraście do zmiażdżenia przez bezduszny system.

- **Punktualne rozpoczynanie zajęć jest wyrazem obustronnego szacunku.** Konsekwentnie oczekuję od słuchaczy, że o wyznaczonej w planie godzinie będą w pełni gotowi do rozpoczęcia zajęć. Przekładanie zajęć dopuszczam tylko w najwyższej konieczności, gdyż prowadzi do niepożądanego zamętu i komplikacji. Dobrze zaplanowane następstwo jest wystarczającym środkiem zaradczym na naszą absencję na zajęciach (np. związaną z delegacją). Przepadanie zajęć uważam za całkowicie niedopuszczalne – okradamy bowiem słuchaczy z czasu, który powinien im być dany na bezpośrednie kształcenie.

- **Zgodność z sylabusem** jest ważna szczególnie w przypadku przedmiotów z kursu podstawowego, na których bazują potem dalsze, bardziej specjalistyczne przedmioty. Zakres materiału wykładany na naszym przedmiocie powinien stanowić sensowną całość z przedmiotami po nim następującymi. Ominięcie jakiegokolwiek partii materiału, być może podyktowane chwilowym poruszeniem, może mieć daleko idące skutki z punktu widzenia spójności całego programu kształcenia. Jeśli jednak widzimy, że zakres materiału wskazany w sylabusie nie może być zrealizowany w całości mimo naszych najlepszych starań, potrzebna jest szersza refleksja nad całościowym programem kształcenia.

- **Interakcja ze słuchaczami i otwartość na ich pytania,** trudności, propozycje drobnych zmian są bardzo ważne, aby studenci nie „odpadli” w trakcie semestru. Szczególnie odpowiedzialna musi być reakcja wykładowcy na stawiane pytania – żaden ze szczerze dociekających wiedzy studentów nie powinien spotkać się z ośmieszeniem, zignorowaniem czy wręcz (kontr)atakami ze strony wykładowcy.

CO WPŁYWA NA SPOSÓB PRZYGOTOWANIA ZAJĘĆ?

Musimy sobie jasno powiedzieć, że dylematy odnośnie do wyboru optymalnych metod użytych do poprowadzenia zajęć każdorazowo będą zależeć od wielu czynników związanych z realizacją danego przedmiotu. Poniższe uwarunkowania wydają mi się szczególnie warte wypunktowania:

1. **Spodziewana i rzeczywista wiedza początkowa słuchaczy.** Inaczej poprowadzimy przedmiot, na który przychodzą studenci z dobrze ugruntowaną wiedzą wejściową (wyniesioną czy to ze szkoły średniej, czy to z przedmiotów poprzedzających), inaczej, gdy będziemy musieli poprowadzić przedmiot niemal od zera.
2. **Rozrzut wiedzy początkowej.** Inaczej prowadzi się zajęcia, na których studenci wykazują podobne umiejętności, inaczej, gdy spotykamy się ze słuchaczami o dużym zróżnicowaniu wiedzy czy umiejętności.
3. **Etap studiów.** Inne podejście może okazać się skuteczne do studentów pierwszego roku, zagubionych jeszcze po

zmianie szkoły czy zaskoczonych różnicami pomiędzy absolwentami różnych szkół średnich. Inne podejście docenią studenci bardziej dojrzały, np. uczestnicy studiów magisterskich.

4. **Zakładane cele (efekty uczenia).** Czy zależy nam na przekazaniu studentom solidnej wiedzy, czy raczej umiejętności praktycznych? A może nasz przedmiot (z zakresu fizyki) ma wykreować u nich umiejętność twórczego myślenia, pracy w zespołach, zdobywania informacji z zewnętrznych źródeł itp.?

5. **Dodatkowe (czasami ukryte) cele.**

Np. przygotowując przedmiot przypadający przed wyborem specjalności, możemy mieć pokusę zrealizować wyłącznie prostszą, bardziej atrakcyjną część materiału, świadomie lub pod-

świadomie bojąc się zrażenia studentów stojących przed wyborem trudniejszymi, znacznie bardziej wymagającymi treściami.

KONSEKWENCJE WYBORÓW DYDAKTYCZNYCH

Projektując realizację przedmiotu, prędzej czy później stajemy przed różnymi wyborami, jakie techniki nauczania stosować, aby nasz przedmiot był nie tylko merytorycznie wartościowy i ciekawy, ale także atrakcyjnie i – co najważniejsze – skutecznie prowadzony. I choć niektóre techniki zdają się być kuszące, musimy sobie zdawać sprawę, że praktycznie każda metoda posiadać będzie nie tylko zalety, ale także pewne wady, o których czasami łatwo zapomnieć. Prowadzić to będzie do dylematów, czy, lub w jakim zakresie daną metodę stosować. Wybór metod zależeć będzie m.in. od czynników wymienionych w poprzednim rozdziale. Zwykle najbardziej optymalna okaże się pewna kombinacja podejścia konserwatywnego i nowoczesnego.

Poniżej pokrótce omówię dylematy dydaktyczne skonstruowane właśnie z zestawień podejść, z których jedno możemy nazwać raczej konserwatywnym (tradycyjnym), a drugie bardziej nowoczesnym. Wady i zalety wszystkich podejść zostały także zestawione w tabelach.

1. **Prowadzić wykład kredą po tablicy, czy korzystać ze slajdów?** Choć niewątpliwą zaletą slajdów jest łatwość w prezentowaniu treści multimedialnych i możliwość „recyclingu” tych samych prezentacji co roku, niektórym studentom robienie dodatkowych notatek w trakcie prezentacji sprawia zwyczajnie trudność. Prezentując ze slajdów łatwo ulec pokusie nabierania zbyt dużego tempa, co jeszcze bardziej utrudnia zrozumienie prezentowanych treści. Nie mówiąc

już o tym, że zamieszczanie statycznych wyprośadzeń na slajdach jest po prostu nieefektywne dydaktycznie. Kiedy prowadzimy wykład kredą po tablicy, nasze tempo

jest siłą rzeczy dostosowane do możliwości notowania i akomodowania przez naszych słuchaczy. Znacznie łatwiej podążać im za naszymi wywodami czy wyprowadzeniami. To właśnie te cechy sprawiają, że kreda jest moim nieodzownym narzędziem pracy dydaktycznej. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie, aby w trakcie takiego wykładu wyświetlać na ekranie krótką prezentację zawierającą np. najważniejsze wzory, kamienie milowe wykładu czy wspomniane wcześniej treści multimedialne (zdjęcia, wykresy, schematy itd.).

CHOĆ NIEKTÓRE TECHNIKI ZDAJĄ SIĘ BYĆ KUSZĄCE, MUSIMY SOBIE ZDAWAĆ SPRAWĘ, ŻE PRAKTYCZNIE KAŻDA METODA POSIADAĆ BĘDZIE NIE TYLKO ZALETY, ALE TAKŻE PEWNE WADY, O KTÓRYCH CZASAMI ŁATWO ZAPOMNIEĆ.

Tabela 1: W tabeli podaję podsumowanie niektórych wniosków oraz zestawienie dylematów. Kolorem zielonym wyróżniono zalety, a czerwonym – wady poszczególnych podejść dydaktycznych

KREDĄ PO TABLICY	PREZENTACJE (SLAJDY)
- Łatwość w robieniu notatek i podążaniu za rozwojem „wydarzeń” - Większa możliwość interakcji ze słuchaczami - Tempo wykładu adekwatne do możliwości notowania - Szybsze przygotowanie notatek do wykładu 	- Łatwa prezentacja treści multimedialnych (zdjęcia, rysunki, wykresy, animacje, osadzone filmy...) - Potencjalnie nowoczesny wygląd i atrakcyjność wizualna - Gotowe materiały dla słuchaczy - Możliwość ponownego użycia co roku 
- Konieczność pisania na tablicy tego samego co roku - Trudność w prezentacji rysunków, wykresów, schematów - Studenci powinni notować w trakcie wykładu (ale można potem udostępnić notatki w wersji elektronicznej) 	- Trudność w robieniu dodatkowych notatek - Ryzyko zbyt dużej szybkości prezentowania treści - Trudność w podążaniu za logiką wykładu, wyprowadzeń itp. - Łatwość w utracie skupienia / monotonia - Duży nakład pracy w przygotowanie (dobrych) prezentacji 
WYKŁAD KLASYCZNY	METODY NOWOCZESNE
- Spójny przekaz przemyślanych treści ułożony przez eksperta - Duże tempo wykładanych treści (szeroki zakres materiału) - Realizacja treści trudnych i wymagających (np. przez skomplikowany aparat matematyczny) 	- Angażowanie studentów w interakcję - Większa atrakcyjność i różnorodność zajęć - Łatwiejsze utrwalanie / przyswajanie treści - Możliwość „zaskoczenia się” przez sposób realizacji zadań - Tempo dostosowane / narzucone przez słuchaczy 
- Ryzyko mówienia językiem niezrozumiałym dla słuchaczy - Ryzyko tempa wykładu zbyt dużego do akomodacji treści - Ryzyko znudzenia lub zniechęcenia 	- Realizacja zajęć metodami nowoczesnymi jest czasochłonna – ryzyko niezrealizowania materiału - Opieranie się na zaangażowaniu (i wewnętrznej motywacji) słuchaczy - Ryzyko zdominowania zajęć przez słuchaczy o określonych cechach społecznych lub zdolnościach / braku wiedzy 
SZTYWNE RAMY PRZEDMIOTU	ELASTYCZNOŚĆ
- Przewidywalne i przemyślane tempo przekazywania treści - Realizacja zamierzonego materiału - Łatwiejsze skupienie uwagi słuchaczy - Dostosowanie zakresu/tempa do mainstreamowych słuchaczy) 	- Możliwość utrzymania zainteresowania „najlepszych” - Troska o „najślabszych” - Większa różnorodność zajęć i interakcja student-wykładowca 
- Ryzyko pozostawienia za sobą treści niezrozumianych - Ryzyko utraty zainteresowania „najlepszych” - Ryzyko zgubienia „najślabszych” 	- Łatwiejsze rozproszenie uwagi słuchaczy - Nieprzewidywalne tempo przekazywania treści - Ryzyko niezrealizowania zamierzonego materiału - Wprowadzanie chaosu logicznego kolejnymi dygresjami 
ODPOWIADAMY NA WYBRANE PYTANIA	ODPOWIADAMY NA WSZYSTKIE PYTANIA
- Utrzymujemy tempo zajęć i ciąg logiczny wyводу - Nie tracimy czasu innych słuchaczy - Mobilizujemy studentów do samodzielnego poszukiwania odpowiedzi - Eliminujemy (negatywny) wpływ społeczny osobników dominujących - Są przecież konsultacje! 	- Każdy słuchacz czuje się zauważony i doceniony - Korzystają inni, którzy bali się zadać podobne pytanie - Potencjalnie zmuszamy innych do refleksji nad rzeczami, nad którymi się nie zastanawiali 
- Słuchacze mogą czuć się nieistotni - Ryzyko, że studenci się „zgubią” lub stracimy ich zainteresowanie tematyką 	- Ryzyko, że odpowiadamy jednej / kilku osobom, a reszta się nudzi - Ulegamy „dyktaturze” pojedynczych słuchaczy - Rozleniwiamy studentów (sami nie szukają odpowiedzi na swoje wątpliwości) - Tracimy tempo zajęć lub gubimy ciąg logiczny wyводу 

2. **Zaprojektować zajęcia jako klasyczny wykład czy stosować różne formy metod nowoczesnych?** Obowiązkiem dobrych dydaktyków jest poznawać nowatorskie metody kształcenia. *Blended learning, flipped classroom*, grywalizacja, *rubrics* – to tylko niektóre z popularnych pojęć przewijających się w nowoczesnej dydaktyce. Objętość niniejszego artykułu nie pozwala niestety na choćby pobieżne ich omówienie. Odpowiedni dobór metod nowoczesnych i prawidłowe przygotowanie zajęć (co za pierwszym razem może być bardzo czasochłonne) powinny zwiększyć zaangażowanie studentów w interakcję, urozmaicić zajęcia, pozwolić im na kreatywność – w ostatecznym rozrachunku wynik może przekroczyć nasze najśmielsze oczekiwania. Istnieje jednak ryzyko, że treści będą prezentowane wolniej i nie pokryjemy całego wymaganego zakresu materiału. Metody nowoczesne bardzo często opierają się na zaangażowaniu i motywacji słuchaczy – przy ich braku nawet najlepiej przygotowane zajęcia mogą skończyć się fiaskiem. Dlatego też pamiętajmy o zaletach klasycznego podejścia wykładowego, na którym możemy zaprezentować treści w sposób spójny i przemyślany, odpowiednio rozłożyć realizację całego materiału i dzięki naszemu doświadczeniu przeprowadzić słuchaczy suchą stopą przez najbardziej wymagające momenty. Właśnie dlatego stosuję tradycyjny wykład z wkomponowanymi w przemyślany sposób elementami nowoczesnej dydaktyki wszędzie tam, gdzie powyższe wartości są kluczowe dla osiągnięcia efektów uczenia.

3. **Sztywne ramy czy elastyczność?** Może wydawać się, że elastyczne prowadzenie zajęć w sposób dostosowany do bieżących potrzeb i sygnałów ze strony słuchaczy ma same zalety. Mamy możliwość zainteresowania tych najlepszych poziomem materiału, który będzie stanowić dla nich wyzwanie. Mamy okazję wykazać się troską o studentów, którzy mimo szczerych chęci przestają sobie radzić. Zajęcia przebiegają w dwustronnej interakcji na linii wykładowca-student. Jednak jest i druga strona medalu. Pojawiające się dygresje czy odgałęzienia od głównego wątku łatwiej prowadzą do rozproszenia uwagi słuchaczy i potencjalnie mogą wprowadzić chaos i zaburzyć logikę wykładu. Zajęcia prowadzone w sposób zbyt elastyczny będą miały nieprzewidywalne tempo przekazywania treści i niosą ze sobą ryzyko niezrealizowania zamierzonego materiału. To właśnie dlatego czasami warto trzymać się pewnych dobrze przemyślanych i rozplanowanych w czasie ram realizacji przedmiotu.

4. **Czy odpowiadać na wszystkie pytania?** Ten dylemat nawiązuje do poprzedniego punktu, jednak wydaje mi się ważny do osobnego rozważenia. Co złego może być w odpowiadaniu na pytania studentów? Jest to aktywność wszakże pożądana – świadcząca o ich zainteresowaniu tematem, dociekliwości, zaangażowaniu i pragnieniu dogłębnego zrozumienia prezentowanych treści. Jednak zdarzają się sytuacje, które niejako wypaczają „instytucję” zadawania pytań. Przytrafiają się przypadki studentów o osobowościach silnie dominujących. Jeżeli ich aktywność nie będzie moderowana,

przytłoczą pozostałych słuchaczy. Niektórzy – jak ja ich nazywam – „zawodowi pytacze” pytają się dosłownie o wszystko i wszędzie, bez krzty zastanowienia się nad sednem pytania czy odrobiny wysiłku na samodzielne dojście do odpowiedzi. Wreszcie pojedyncze pytanie może być w ogóle niereprezentatywne dla reszty grupy – gdy odpowiedź zajmie dużo czasu, będzie to czas zmarnowany prawie dla wszystkich. Stąd – jakkolwiek bardzo cenię interakcję ze słuchaczami – staram się moderować pytania. Na te, które – jak podejrzewam – są reprezentatywne dla zauważalnej części grupy, bardzo chętnie odpowiadam. Unikam jednak dygresji, które rozbiłyby np. dynamikę wywodu czy przebieg logiczny zajęć. W takich sytuacjach raczej obiecuję powrót do odpowiedzi w bardziej właściwym momencie (np. gdy odpowiedź na pytanie wpasuje się w układ zajęć) lub zapraszam na dodatkowe konsultacje, które przecież rządzą się już swoimi prawami.

W niniejszym artykule starałem się zebrać różnego rodzaju dylematy, rozterki, przemyślenia, które towarzyszą mi – i podejrzewam, że bardzo wielu nauczycielom akademickim – podczas pracy dydaktycznej na uczelni wyższej. Niektóre być może wydają się „oczywiste”, inne mogły łatwo zostać zagłuszone podczas zgiełku panującego w trakcie roku akademickiego.

W moim podejściu niejako zestawilem tradycyjne metody nauczania z nowoczesnymi, być może z pewnym sceptycyzmem (lub przynajmniej daleko idącą ostrożnością) odnosząc się do tych drugich. Niewątpliwie należy śledzić, poznawać i zgłębiać nowatorskie podejścia dydaktyczne. Wierzę, że w niniejszym dziale pojawią się w przyszłości opisy bardzo dobrze wdrożonych, wartościowych nowoczesnych metod nauczania. Pozostaję jednak przy swoim stanowisku, że dobór metod nauczania powinien być każdorazowo poprzedzony właściwym rozeznaniem i uzależniony od takich czynników jak rodzaj prowadzonego przedmiotu, poziom zaawansowania i spodziewanego zaangażowania studentów, najważniejsze cele stawiane efektom uczenia itd. Każda decyzja odnośnie do metod nauczania ma swoje wymierne konsekwencje – gdy skupimy się tylko na tych pozytywnych, możemy nie zauważyć tych negatywnych. Najczęściej optymalnym rozwiązaniem będzie kompromis pomiędzy sprawdzonymi metodami konserwatywnymi a technikami innowacyjnymi. Starałem się takie kompromisy zaproponować, ale każdorazowe znalezienie tego możliwie idealnego (optymalnego) rozwiązania pozostaje zawsze koordynatorowi przedmiotu...

AUTOR



Dr hab. inż. **Tomasz K. Pietrzak** (ORCID: 0000-0002-2460-6192) jest profesorem na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej, cenionym dydaktykiem, wielokrotnym laureatem nagrody „Złota Kredy” przyznawanej przez studentów najlepszym nauczycielom akademickim. Od lat prowadzi wykłady z fizyki i programowania, wspiera studentów tutoringiem i opieką naukową. Jest też autorem „Zadań i przykładów z fizyki”.



NIE GASIĆ PŁOMIENIA

ROZMOWA Z MARKIEM GOLKĄ, WYBITNYM NAUCZYCIELEM, WYCHOWAWCĄ I MENTOREM OLIMPIJCZYKÓW

Prof. Marek Golka, nauczyciel fizyki z ponad 50-letnim stażem, rekordzista liczby finalistów i laureatów Olimpiady Fizycznej, wychowawca medalistów międzynarodowych opowiada, że nie ma „tajemnicy sukcesu” poza spokojem, tolerancją i wiarą w każdego ucznia, którego traktuje jak nieoszlifowany diament. Zawsze kluczowe było dla niego tworzenie w szkołach żywego laboratorium: własnoręcznie budował wyposażenie i kompletował aparaturę, a pracownia stawała się miejscem dyskusji i wspólnoty uczniów. Podkreśla, że wyniki wymagają obecności nauczyciela poza planem lekcji i akcentuje, że bez doświadczeń fizycznych nie da się dojść do najwyższego poziomu.



Postępy Fizyki (PF): Panie Profesorze, jest Pan nauczycielem fizyki z imponującym, ponad pięćdziesięcioletnim stażem. Przez lata, w Radomiu i w Szczecinie, prowadził Pan młodych ludzi, aby zdobywali laury na olimpijskich zawodach z fizyki a dla wielu stał się Pan nie tylko nauczycielem, ale także mistrzem

i mentorem. Jest Pan absolutnym rekordzistą krajowym, jeśli chodzi o liczbę uczniów, którzy zostali laureatami i finalistami Olimpiady Fizycznej. Zapytam więc wprost: jaka jest Pana tajemnica sukcesu?

Marek Golka (MG): Nie ma tajemnicy sukcesu, tu polemizowałbym nad owym sukcesem. Czy mojego sukcesu, czy uczniów? Swoją rolę postrzegam przede wszystkim w cechach mojego charakteru: spokój, tolerancja i wiara w każdego ucznia. Młody człowiek jest dla mnie, jak nieoszlifowany diament – zaznaczam – każdy młody człowiek. Po oszlifowaniu dopiero wiedziałem, co to będzie za „brylant”. Przez „oszlifowanie” rozumiem swój ogromny wkład w zaprzyjaźnienie się ucznia z fizyką, później w jej zrozumienie, a następnie w jej zastosowanie do rozwiązywania problemów tego świata.

Na każdym etapie wykorzystywałem różne metody. Stosuję w życiu zasadę „zaczynaj od siebie”. W każdej szkole, w której pracowałem organizowałem laboratorium fizyki, z mniejszą lub większą przychylnością dyrekcji szkół, w których pracowałem. Do tej pracy zapraszałem uczniów i ich rodziców. To był największy sukces zaprzyjaźniania z fizyką. Najczęściej, to czasem „malutkie”, czasem bardzo profesjo-

nalne, duże i wyposażone laboratorium stawało się miejscem dyskusji i pierwszym miejscem do zadawania magicznych pytań: dlaczego oraz jak to działa? Myślę, że najważniejsza była moja nieustanna obecność przy uczniach, co oni sami zapewne oceniliby najlepiej. Cały mój prywatny czas był dla uczniów i dlatego byli przy mnie. Sami chyba nie wiedzieli, kiedy byli już w finale Olimpiady Fizycznej. Gdybym ograniczył się do dwóch godzin lekcyjnych przeznaczonych na tzw. laboratorium, nic byśmy nie osiągnęli. Wniosek nasuwa się zatem sam, oddałem czas moim uczniom. Jak teraz myślę, sprowokowany pytaniem Pana Redaktora, to sam jestem zdziwiony. Oddałem soboty, niedziele i co tam gadać – oddałem siebie!

PF: Imponujące! Chyba należałoby powiedzieć wprost, że była to swoista miłość do uczniów i ich rozwoju. Czy była to opieka indywidualna z grupą najzdolniejszych uczniów, coś w rodzaju tutoringu, czy raczej szkolne koło fizyczne otwarte dla wszystkich? Kogo Pan w praktyce zapraszał do tej pracy?

MG: Bardzo ciekawym jest dla mnie sformułowanie „opieka indywidualna z grupą najzdolniejszych uczniów”. Moje założenie było jedno – cała klasa w roczniku matematyczno-fizycznym, to najzdolniejsi uczniowie w tej dziedzinie, skoro wybrali ten profil. Nikomu nigdy nie powiedziałem, żeby nie przychodził na koło fizyczne do laboratorium. To moi uczniowie z każdego rocznika odpowiadali sobie na pytanie: czy to jest moja pasja? I tak, zostawała grupa tych, którzy odpowiedzieli sobie, że chcą spróbować – może dzisiaj nie rozumiem, ale jest to ciekawe.

PF: Czy w pracy z uczniami przygotowującymi się do olimpiad fizycznych rekomendował Pan konkretne podręczniki, dodatkową literaturę lub zbiory niestandardowych zadań, które pomagały im osiągać ponadprzeciętne wyniki?

MG: Moim uczniom nigdy nie powiedziałem, jakie podręczniki mają mieć. Na pytanie jaki podręcznik kupić, odpowiadałem macie mnie pod tablicą: *możecie nagrywać, robić zdjęcia, notować, może z tego stworzymy podręcznik*. I tak powstały podręczniki nigdy niewydane *Zeszyty z wykładami Marka Golki*. Powielane na kopiarkach z pokolenia na pokolenie. Tak sobie myślę, a może wydać ten podręcznik? Nie chcę powiedzieć, że podręczniki istniejące są złe, chcę powiedzieć, że podręczniki nie spełniają oczekiwań uczniów szczególnie zdolnych w dziedzinie fizyki. Kiedy uczniowie pytali gdzie szukać głębokiej wiedzy, wtedy mówiłem skromnie: wiem, że potrzebujesz silniejszego generatora a może i wzmacniacza. Za te uważałem Wykłady Feynmana oraz podręcznik Hallidaya i Resnicka (dla mnie „elementarz”). Kiedy moi uczniowie przekraczali granicę standardowego zaciekawienia fizyką i osiągnęli odpowiedni ich zdaniem poziom, wkraczaliśmy w świat zadań olimpijskich. Jeśli to słabo zabrzmiało poprawię się: w rozwiązywanie problemów olimpijskich zaszyfrowanych w treści zadania olimpijskiego. Wtedy sięgaliśmy po zbiory wydane najpierw na 25-lecie, a później na 50-lecie pierwszej olimpiady fizycznej. Dziś czekamy już na 75-lecie. Przypominam sobie, że czułem się wtedy jak dyrygent najlepszej orkiestry. To oni grali. A mnie się wydawało, że słyszę każde drganie, które zabrzmiało nieprawidłowo. Pewnie tak było.

PF: Rozwiązywanie zadań olimpijskich może być fascynującą przygodą, ale uczniowie mają także inne obowiązki szkolne i pozaszkolne. Gdy Pana podopieczni wchodzili w etap przygotowań olimpijskich, czas zapewne stawał się dla nich szczególnie cenny. Czy mogli wówczas liczyć na wsparcie organizacyjne ze strony szkoły, na przykład w postaci zwolnień z części zajęć lub innych rozwiązań ułatwiających przygotowanie do kolejnych etapów?

MG: Największym przywilejem Olimpijczyków było to, że należeli do Rodziny Olimpijskiej, bo tak się sami nazywali. W każdej szkole istnieją regulaminy dotyczące „urlopów olimpijskich”. Na każdym etapie wznoszenia się po drabinie, urlop jest dłuższy. Uczniowie mogą mieć kilka dni wolnych i przygotowywać się w szkolnym laboratorium. Nie sposób tu nie wspomnieć o Politechnice Warszawskiej, wielkim protektorze ruchu olimpijskiego. Z każdą ze szkół, tak z Radomia, jak i ze Szczecina przyjeżdżałem w gościnne progi Politechniki Warszawskiej, kiedy potrzebowaliśmy najwyższej klasy laboratoriów fizyki i wsparcia wykładowców tej wyjątkowej uczelni. Moim skromnym zdaniem, nie było wówczas bardziej bezinteresownej, bardziej wspierającej uczelni niż PW, ale może mało wiem. Czułem się na Politechnice po prostu „u siebie”, bo byłem wśród moich byłych uczniów, którzy w danym czasie byli tam wykładowcami, dziekanami, a nawet Rektorem Politechniki Warszawskiej.

PF: Wśród Pana wychowanków byli jednak nie tylko olimpijczycy z fizyki, ale też finaliści i laureaci innych olimpiad. Jak Pan pro-

wadził ucznia, który zaczynał interesować się czymś „obok” fizyki albo równoległe z nią?

MG: Tak, rzeczywiście, wśród moich uczniów byli także finaliści i laureaci innych olimpiad, nie tylko z fizyki, ale także Olimpiady Astronomicznej, Wiedzy Technicznej, a w ostatnim czasie Olimpiady Wiedzy Elektrycznej i Elektronicznej „Euro-Elektra”. Nigdy nie powiedziałem: nie. Nigdy nie powiedziałem, że tylko fizyka mnie interesuje, jeśli chodzi o olimpiadę. Wyznawałem zasadę „nie gasić płomienia”, wspierać, pomagać i wierzyć, że moi uczniowie dadzą radę „dźwignąć” nawet kilka olimpiad równocześnie. A jeśli coś poszło nie tak, mawiałem: *to do następnego razu młody przyjacielu*. Nigdy nie okazywałem swojego niezadowolenia czy rozczarowania. Wspierałem, jak umiałem. Po prostu byłem, jak w naukowym „małżeństwie”, na dobre i na złe. Nie ma uniwersalnego przepisu, ale są uniwersalne wartości. Taką wartością dla mnie jest ustawiczny rozwój naukowy młodego człowieka. To czego się nauczy przygotowując się do olimpiady, to jego majątek, swego rodzaju „posag” w dorosłe, studenckie a może i naukowe życie.

PF: W Pana wypowiedziach laboratorium szkolne jawi się nie jako dodatek, lecz jako przestrzeń, w której fizyka funkcjonuje w sposób żywy i doświadczalny. Jaką rolę pełni ono w zrozumieniu zjawisk fizycznych? Czy uczeń o silnych predyspozycjach teoretycznych może osiągnąć bardzo wysoki poziom bez kontaktu z fizyką doświadczalną, a jeśli tak, to gdzie dostrzega Pan granice takiego podejścia?

MG: W każdej szkole, w której uczyłem zaczynałem od zrobienia, dosłownie własnymi rękami mebli laboratoryjnych, doprowadzenia zasilania do stanowisk laboratoryjnych oraz wyposażenia ich w sprzęt. Wyprzedzę pytanie – skąd brałem pieniądze na sprzęt, przecież tak drogi? Otóż podczas gdy jedni likwidowali pracownię fizyki, ja wraz z uczniami, przewoziłem swoim samochodem wszystko do placówki, w której w danym czasie pracowałem. Bardzo dużo sprzętu kupowałem za własne pieniądze, ale w domu do tego się nie przyznawałem. Bardzo pomagała mi Politechnika Warszawska. Przy każdym złomowaniu zużytego sprzętu z Wydziału Fizyki byłem gotowy przyjąć przysłowiowy „rupieć”, żeby dać mu nowe życie, jak zrobił to Geppetto w „Przygodach Pinokia”. To da się zrobić, ale nie ma się wtedy czasu na prywatność. Była to pasja i tak wyglądało moje życie zawodowe.

Chciałbym dodać, że tajemnica nie tkwi w istnieniu laboratorium fizyki, które jest martwe, w którym nie robi się doświadczeń, w którym nie przygotowuje się zestawów doświadczalnych – tak do nauki fizyki, jak i do części doświadczalnej Olimpiady. Nasze laboratorium pełniło jeszcze jedną funkcję, może nawet ważniejszą, sam do końca nie wiem. Tam tworzyła się mała Rodzina Fizyków, których łączyła pasja a nie rywalizacja. Pamiętam, jak jedna uczennica przyniosła swoją gitarę (omawialiśmy wtedy akustykę) i powie-



„Tam tworzyła się mała Rodzina Fizyków, których łączyła pasja a nie rywalizacja” – Marek Golka ze swoimi olimpijczykami.

działa, że w pracowni gitara się bardziej przyda niż w domu. Przygotowywaliśmy wtedy pokazy z fizyki dla młodszych klas licealnych i szkół podstawowych.

Nie znam laureatów Olimpiady, którzy bez kontaktu z fizyką doświadczalną zdobyli ten tytuł. Teoretycy, do pewnego momentu wsparci mocną matematyką, dadzą radę rozwiązać zadania rachunkowe, ale nie rozwiążą problemu natury doświadczalnej. Konkludując Pana pytanie, jaką rolę odgrywa laboratorium w nauczaniu fizyki, odpowiem krótko. Żadną, jeśli nie ma fizyka, który umie i kocha to robić. To jest tak, jak w muzeum – eksponaty są, ale zwiedzających nie ma, bo kustosz jest na emeryturze. Myślę, że dobrze oddałem to, co myślę.

PF: Pracował Pan w kilku szkołach, w dwóch miastach, w różnych środowiskach. Z czego wynikała ta zmiana miejsc: czy były to sprawy osobiste, czy raczej szukał Pan warunków, w których da się uczyć fizyki zgodnie z Pana wizją szkoły?

MG: Mój wyjazd z Radomia do Szczecina to prywatność połączona z ciekawością. W Szczecinie pracowałem w XIII Liceum Ogólnokształcącym, najlepiej ocenianej szkole w Polsce w tamtym czasie. Byłem ciekawy na czym polega ten fenomen, że są najlepsi. Cóż, w XIII LO osiągałem takie same sukcesy, jak w szkołach radomskich [VI LO im. Jana Kochanowskiego oraz Gimnazjum nr 5 – przyp. red.]. Fenomen polegał na tym, że w Szczecinie zgromadziło się kilku pasjonatów z innych dziedzin więc sukcesów było więcej. Co do sukcesów zawodowych, cenię sobie wolność i swobodę działania w drodze do sukcesu ucznia. Nie znoszę biurokracji i rad pedagogicznych, które zabierają czas. Więc jeśli w którejś szkole dyrektor przedobrzył z biurokracją, przypominając mi o niewypełnionych tabelkach lub jakichś innych (w mojej ocenie nieprzydatnych) działaniach, odchodziłem i tyle mnie widział.

PF: Rozmawialiśmy dotąd głównie o pasjonatach i tych, którzy weszli do „Rodziny Olimpijskiej”. A jak wyglądała Pana praca z uczniami, którzy nie mieli łatwości uczenia się fizyki albo po prostu nie czuli do niej serca? Jak Pan budował ich poczucie bezpieczeństwa i sprawiedliwości oceniania, a jednocześnie nie rezygnował z wysokich standardów wobec tych najambitniejszych?

MG: Rozumiem pańską myśl i pytanie: jak sobie radziłem z uczniami mniej rozumiejącymi świat fizyki? Szanowałem ich za ich inność, za ich pasję, nawet za miłość do chemii, gdy taką poczuli. Rozumiałem, że w każdej innej klasie mieliby co najmniej dobrą ocenę i taką dostawali. Myślę, że żaden uczeń w mojej 52-letniej karierze nauczycielskiej nie płakał przeze mnie. Średnia ocena matury z fizyki to około 85%. To chyba świadczy, że nie tylko na olimpijczykach skoncentrowana była moja uwaga. Wszyscy zawsze dostawali promocje, bo widziałem ich miłość a oni moją. Ich miłością, czasem większą, była matematyka, a moją – wiernie – fizyka. Ale cóż, miłość przychodzi sama i zawsze trzeba po nią wyciągnąć ręce. Nie musi to być fizyka.

PF: Wspominał Pan o „Rodzinie” i to słowo wracało w Pana opowieści kilka razy jako realne doświadczenie wspólnoty szkolnej. Jak to wygląda po latach? Czy ma Pan dziś kontakt z dawnymi uczniami?

MG: Oczywiście że mam bardzo serdeczny, emocjonalny i trwały kontakt. Nie byłoby tych kontaktów bez specyficznego klimatu dobrze funkcjonującej, swoistej „Rodziny”. Sam nie wiem, jak to Panu opowiedzieć. To nie są kontakty, to jest uczestniczenie nadal w ich życiu. To są ich śluby, wiadomości, że mają dzieci i inne. To są spotkania z dorosłymi

„chłopakami”, także przy piwie. Wiem, że nie zniknąłem z ich życia i że nadal jestem jego częścią. Ilość życzeń świątecznych i pozdrowień, które dostaję jest niezwykła. Nie mam odwagi chwalić się moimi wychowankami, to często wielcy ludzie na renomowanych stanowiskach. Powiem o jednym, który mieszkając w Warszawie raz w miesiącu przyjeżdża do Szczecina, aby mnie odwiedzić i zobaczyć czy czegoś nie potrzebuje, czy w czymś może mi pomóc (a ma już 38 lat, więc to już trwa parę lat). Takich przypadków trochę jest. To taka moja malutka prywatność, ci moi kochani uczniowie. Akurat w czerwcu spotkałem się z dużą grupką takich uczniów w wieku 64 lat. Czuliśmy się tak, jak dawniej, śpiewaliśmy, przypominaliśmy sobie dowcipy i kawały. Ja mam dużo bardzo dojrzałych już wychowanków.

PF: Skoro te kontakty trwają, to pewnie wie Pan również o dalszych losach zawodowych swoich wychowanków. Proszę opowiedzieć, gdzie ich zaprowadziła fizyka? Czy obecnie zajmują się nauką, nauczaniem lub zarządzaniem, a może wyjechali za granicę?

MG: Jak już wspomniałem, to często wielcy ludzie pracujący na całym świecie. Kilku moich dawnych uczniów pracuje w CERN-ie w Szwajcarii oraz w Dolinie Krzemowej w Stanach. Warto wspomnieć o Nikodemie Popławskim, który robi karierę na Uniwersytecie w New Haven. Dużo byłoby wymieniać, ale że jeden z moich wychowanków będzie Rektorem Politechniki Warszawskiej, mam na myśli Krzysztofa Zarembę, to nie przypuszczałem. Powiem Panu tak, to są wspaniali ludzie, przyjaźni, stateczni i odpowiedzialni. Takimi czyni nas fizyka – tak uważam.

Nie jestem w stanie wymienić wszystkich moich uczniów, którzy zostali finalistami i laureatami olimpiad. Jak powiedziałem, często piastują oni bardzo wysokie stanowiska, ale serce mi krwawi, gdy pomyślę, że Polska tak rzadko sięga po wybitnych specjalistów, których dostarcza każda olimpiada, nie tylko z fizyki. Kiedy o losach Ojczyzny decydują często ludzie przypadkowi, związani z tą lub inną opcją, „magazyn ogromnej wiedzy” opuszcza Polskę zasilając np. Dolinę Krzemową, bo u nas często nie ma dla nich żadnych propozycji.

PF: Na koniec chciałbym dotknąć sprawy szerszej. Pracuje Pan w oświacie od 1970 roku, ma Pan ogromną skalę porównawczą i doświadczenie z wielu szkół. Co Panu w polskiej szkole średniej najbardziej przeszkadzało, dawniej i dziś, jeśli chodzi o warunki pracy nauczyciela przedmiotów przyrodniczych?

MG: Tu postawiłbym kropkę w tej rozmowie. Analiza porównawcza szkolnictwa w naszym kraju, to osobny, bardzo poważny temat. Mam dużo do powiedzenia, bardzo wiele przemysleń, ale proszę zrozumieć, że po spacerze w przeszłość mojej pracy zawodowej, co tam gadać – mojego życia, nie dam rady teraz wylać gorzkości i rozczarowania, czy też znaleźć przepisu na uzdrowienie szkolnictwa. Ja zadam pytanie: uważa Pan Redaktor, że kogoś to interesuje, że ktoś wyciągnie jakieś wnioski, czy ktoś skorzysta z mojego doświadczenia? Nie sądzę, ale jeśli *Postępy Fizyki* będą zainteresowane, napiszę na ten temat odrębny artykuł o tym, jaka była, jaka jest i jaka powinna być oświata, oczywiście widziana moimi oczami – oczami pasjonata fizyki.

PF: Panie Profesorze, bardzo dziękuję za tę rozmowę. Wierzę, że dla wielu nauczycieli, dyrektorów i rodziców to będzie lektura nie tylko inspirująca, ale i ożywiająca: bo przypomina, że wyniki nie biorą się z procedur, tylko z obecności i pasji. Dziękuję za szczerość i za tę niezwykłą perspektywę kogoś, kto fizykę naprawdę przeżył razem z uczniami.

Wywiad przeprowadził Jerzy. E. Garbarczyk w styczniu 2026 roku.

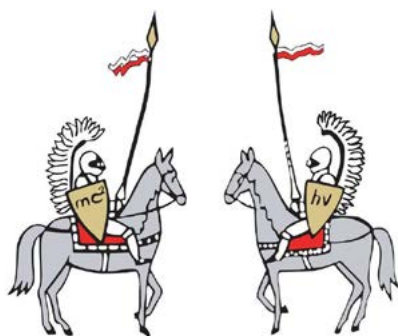


ŁUKASZ GŁADCZUK

SZKOŁA FIZYKI, KTÓREJ NIE DA SIĘ ZASTĄPIĆ PODRĘCZNIKIEM

Pasja do fizyki nie bierze się z opanowywania kolejnych wzorów ani rozwiązywania wielu zadań. Pojawia się dopiero wtedy, gdy uczeń samodzielnie przeprowadza doświadczenie, o którym dotąd czytał jedynie w podręcznikach. Może wówczas zweryfikować, czy w rzeczywistości przebiega ono tak, jak opisuje teoria. Bardzo często okazuje się, że właśnie nie. To tworzy swego rodzaju zagadkę. Uczeń zaczyna zastanawiać się, skąd biorą się niezgodności i jakie dodatkowe efekty nie zostały uwzględnione w modelu teoretycznym. Często są one bardzo nieoczywiste. Jeśli po wielu próbach uda się dojść do sedna problemu, daje to ogromną satysfakcję i motywuje do dalszego zajmowania się fizyką. Taki właśnie model pracy proponuje Turniej Młodych Fizyków.

Od wielu lat wspieram zawodników Klubu Naukowego Fenix w przygotowaniach do Turnieju, a od 2025 roku wykrzystuję to doświadczenie jako sekretarz, współtworząc jego organizację. Ta podwójna perspektywa pozwala mi patrzeć na zawody zarówno z punktu widzenia pracy z uczniami, jak i od strony organizacyjnej.



Logo Turnieju Młodych Fizyków

STRUKTURA ZAWODÓW

Turniej Młodych Fizyków (TMF) jest konkursem, który co roku stawia uczniów liceum przed siedemnastoma otwartymi problemami z fizyki. Wszystkie zadania dobrane są tak, aby badane zjawisko można było odtworzyć bez specjalistycznego wyposażenia laboratoryjnego. Jednocześnie każdy z problemów można analizować na różnych poziomach zaawansowania, a nawet przekształcić w rzeczywistą pracę badawczą. Dobrym przykładem jest zadanie z 2022 roku:

Niezatapialny dysk

Metalowy dysk z otworem na środku tonie w pojemniku wypełnionym wodą. Jednak gdy na środek dysku skieruje się pionowy strumień wody, dysk może się utrzymywać na powierzchni wody. Wyjaśnij to zjawisko i zbadaj istotne parametry.

Do wykonania doświadczenia wystarczy metalowy dysk i kran z wodą. Problem jest otwarty, a uczeń sam musi zdecydować, co powoduje obserwowany efekt, jakie prawa fizyki mają tu zastosowanie i jakie wielkości należy mierzyć. Zadanie to było analizowane przez uczniów z całego świata. Jedno z rozwiązań zostało ostatecznie opublikowane w recenzowanym czasopiśmie naukowym^[1].

Polska edycja TMF stanowi eliminację do zawodów międzynarodowych — International Young Physicists' Tournament (IYPT). Organizowana jest przez Polskie Towarzystwo Fizyczne we współpracy z ośrodkami akademickimi: Instytutem Fizyki PAN, Wydziałem Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Wydziałem Fizyki Politechniki Warszawskiej oraz Uniwersytetem Wrocławskim i Politechniką Wrocławską

Zawody składają się z trzech etapów: etapu korespondencyjnego (zwykle w styczniu), półfinałów (marzec) oraz finałów krajowych (kwiecień), które wyłaniają laureatów i reprezentację Polski na turniej międzynarodowy. W każdym z etapów uczestniczą pięcioosobowe drużyny prowadzone przez jednego lub dwóch opiekunów. Na przygotowania uczniowie mają czas od sierpnia i mogą korzystać z wszelkich dostępnych źródeł: książek, artykułów naukowych, konsultacji z nauczycielami oraz ekspertami.

¹ J. Turczynowicz, et al. "Preventing sinking of a disk by leveraging the boundary jump phenomenon" Phys. Rev. Fluids 10, L062801,(2025) DOI: 10.1103/jwmb-pvyz

Same zawody przypominają konferencję naukową. Uczniowie przyjmują jedną z trzech ról. Drużyna referenta prezentuje wyniki pracy w formie dziesięciominutowego referatu podczas tzw. potyczek fizycznych. Drużyna oponenta wybiera zagadnienie i wyzywa referenta do jego przedstawienia (referent może odrzucić ograniczoną liczbę zadań bez straty punktów). Po referacie oponent zadaje pytania oraz wygłasza krytyczną ocenę pracy. Następnie odbywa się dyskusja merytoryczna, w której referent odpowiada na szczegółowe zarzuty i broni swojej pracy oraz wyników. Trzecia drużyna pełni rolę recenzenta i podsumowuje dyskusję.

Całości przygląda się jury, złożone z pracowników naukowych oraz nauczycieli fizyki. Po zakończeniu wystąpień ocenia ono zarówno poprawność fizyczną argumentacji, jak i sposób prowadzenia dyskusji naukowej. Każda z drużyn otrzymuje ocenę punktową w skali od 1 do 10.

PRZYGOTOWANIE DO ZAWODÓW

Nasuwa się pytanie, jak przygotować uczniów do tak złożonych zawodów. Każda drużyna robi to inaczej, mogą jednak opisać, jak wygląda to w przypadku drużyny Klubu Naukowego Fenix, od wielu lat zajmującej czołowe miejsca w eliminacjach krajowych.

Praca zaczyna się w sierpniu, kiedy zarówno uczniowie, jak i opiekunowie po raz pierwszy zapoznają się z treścią zadań. Pierwsze tygodnie polegają przede wszystkim na próbach odtworzenia opisanego zjawiska. Uczniowie budują prowizoryczne układy doświadczalne z tego, co jest pod ręką: szklanek, gumek recepturek, sprężyn z długopisów, laserów wskaźnikowych czy wag kuchennych. Bardzo często pierwsze doświadczenia w ogóle nie działają.

Dla uczniów jest to jeden z najważniejszych momentów, zaczynają zauważać, które elementy układu są rzeczywiście istotne dla przebiegu doświadczenia. Pojawiają się pierwsze hipotezy wyjaśniające mechanizm zjawiska i to właśnie one stają się punktem wyjścia do dalszej pracy.

Następnie, uczniowie próbują opisać zjawisko matematycznie, początkowo przy użyciu prostych praw fizyki znanych ze szkoły, ale także bardziej zaawansowanych modeli jak na przykład równania ruchu cieczy czy drgań nieliniowych. Przewidywane zależności muszą zostać zweryfikowane pomiarem, co wymaga budowy odpowiednich układów i wielokrotnego powtarzania doświadczeń przy kontrolowanej zmianie parametrów.

Przy okazji młodzież poznaje rzeczywiste metody doświadczalne. Do analizy ruchu wykorzystuje się nagrania z kamer (często telefonów komórkowych) oraz programy do śledzenia położenia punktów w czasie, takie jak *Tracker*, pozwalające wyznaczać prędkości i przyspieszenia. Do analizy dźwięku stosowane są spektrogramy, a w układach z wirującymi elementami proste tachometry lub czujniki magnetyczne. Wykonują też pomiary pomocnicze: współczynnika tarcia, lepkości cieczy, stałej sprężystości sprężyny czy momentu bezwładności elementów układu.

Jednak Turniej nie jest wyłącznie projektem badawczym. Równolegle uczniowie opracowują referaty. Każdy problem musi zostać przedstawiony w dziesięciominutowej prezentacji, która nie polega na pokazaniu wszystkiego, co wykonano, lecz na zbudowaniu logicznej argumentacji: od obserwacji, przez model, po weryfikację eksperymentalną i ocenę zgodności z teorią. Uczniowie uczą się prezentacji danych, konstrukcji wykresów oraz jasnego formułowania wniosków.

Większym wyzwaniem okazuje się rola oponenta, którego zadaniem jest rzetelna ocena pracy innej drużyny i wskazanie jej ograniczeń: założenia modelu, możliwe błędy systematyczne, brakujące pomiary lub nieuprawnione wnioski. Wymaga to rzeczywistego zrozumienia fizyki problemu, a nie tylko własnego rozwiązania. W trakcie przygotowań prowadzone są zatem symulowane potyczki fizyczne — uczniowie prezentują prace przed kolegami, a pozostali pełnią rolę oponentów i recenzentów. W ten sposób uczą się dyskusji naukowej opartej na argumentach.

Pełne zrozumienie zjawiska oraz zgodność hipotez z mierzonymi wartościami przychodzi dopiero po wielu miesiącach pracy. Ten moment daje uczniom bardzo dużo satysfakcji, a poczucie sukcesu osiągają prezentując te wyniki przed gronem ekspertów podczas turnieju.



Zdobywcy złotego medalu International Young Physicists' Tournament IYPT'2024 z Klubu Naukowego Fenix

SUKCESY

Polscy uczestnicy Turnieju od wielu lat należą do ścisłej światowej czołówki, regularnie zdobywając medale na zawodach międzynarodowych. W ostatnich latach reprezentacja Polski zdobyła srebrny medal w 2025 roku oraz złote medale w 2024 roku na Węgrzech, w 2023 roku w Pakistanie, w 2022 roku w Rumunii i w 2021 roku w Gruzji. Także we wcześniejszych edycjach Polska wielokrotnie stawała na podium, sięgając po złoto między innymi w latach 2017, 2015 i 2014.

Wielu absolwentów Turnieju podejmuje następnie studia na najbardziej wymagających uczelniach w kraju i za granicą: m.in. w Oksfordzie i Cambridge, a swoją dalszą drogę zawodową wiąże z fizyką, matematyką lub inżynierią. Turniej staje się dla wielu z nich pierwszym realnym kontaktem ze wspólnotą naukową.

AUTOR



Dr **Łukasz Gładczuk** (ORCID: 0000-0001-7252-7619) jest doktorem fizyki Uniwersytetu Oksfordzkiego, założycielem Klubu Naukowego Fenix oraz mentorem młodzieży zaangażowanej w projekty badawcze i międzynarodowe turnieje naukowe. Od 15 lat zajmuje się przygotowaniem reprezentacji Polski do Turnieju Młodych Fizyków. Jego zainteresowania obejmują także rynki finansowe i analizę ilościową.



SCENARIUSZ LEKCJI

KLUCZ DO KOSMOSU

W czasach, gdy technologie kosmiczne coraz śmielej przenikają do naszego codziennego życia, edukacja szkolna staje przed wyjątkową szansą, by inspirować uczniów do odkrywania świata nauki w sposób praktyczny i angażujący. Ogólnopolski projekt „Klucz do Kosmosu” realizowany przez Polską Agencję Kosmiczną to inicjatywa, która pozwala szkołom podstawowym i ponadpodstawowym w całym kraju otworzyć drzwi do nowoczesnej edukacji STEAM i wprowadzić młodzież w fascynujący obszar technologii kosmicznych. Zgłoszenia do projektu przyjmowane są do wyczerpania zestawów (nie później niż do maja 2026 r.). Każda szkoła może pozyskać bezpłatnie od 1 – 5 zestawów edukacyjnych.

Program został zaprojektowany tak, aby nauczyciele mogli sprawnie i bez barier wdrożyć zajęcia w swoich szkołach. Na stronie internetowej projektu dostępne są przejrzyste instrukcje, gotowe scenariusze lekcji oraz materiały wspierające prowadzenie zajęć krok po kroku. Szczególną wartością stanowi videotutorial z udziałem Sławosza Uznańskiego-Wisniewskiego, polskiego astronauty projektowego, który w przystępny sposób pokazuje, jak złożyć zestaw edukacyjny i wprowadzić uczniów w podstawy elektroniki, techniki lutowania oraz praktyczne zastosowanie alfabetu Morse’a. Projekt zakłada użycie sprzętu pozyskanego przez szkoły m.in. w programie „Laboratoria przyszłości”: stacje lutownicze, drukarki 3D.

Udział w projekcie to znacznie więcej niż jednorazowe warsztaty. To możliwość rozwijania kompetencji przyszłości: kreatywności, pracy zespołowej, logicznego myślenia i podejścia inżynierskiego. Dzięki pracy metodą projektu uczniowie nie tylko zdobywają wiedzę, lecz także doświadczają procesu twórczego: od pomysłu, przez konstrukcję, aż po testowanie działania własnych urządzeń.

Warto, aby nauczyciele skorzystali z tej wyjątkowej inicjatywy i włączyli swoje szkoły do programu. „Klucz do Kosmosu”. Nie tylko wzbogaca to ofertę dydaktyczną, lecz przede wszystkim rozbudza ciekawość świata i pokazuje młodym ludziom, że nauka może być prawdziwą przygodą – taką, która zaczyna się w szkolnej ławce, a sięga gwiazd.

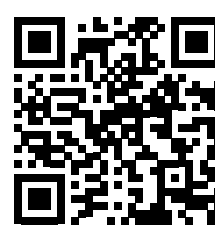
Jak opowiada nam koordynatorka projektu Anna Bukiewicz-Szul (Polska Agencja Kosmiczna): „Otrzymaliśmy już wiele tysięcy krótkich raportów od nauczycieli, którzy w swoich szkołach przeprowadzili zajęcia z zestawami „Klucz do Kosmosu”. Przekaz jest jednoznaczny, zarówno uczniowie, jak i nauczyciele opisują projekt w samych superlatywach. W wielu szkołach była to pierwsza w historii okazja do rozpoczęcia przygody z lutowaniem. Otrzymujemy informacje o kontynuacji działań inżynierskich w szkołach”



Strona internetowa
projektu
„Klucz do Kosmosu”



Formularz zgłoszenia
szkoły do projektu
„Klucz do Kosmosu”



Zapisy na kurs online
z nauki lutowania dla
nauczycieli

SCENARIUSZ LEKCJI MOŻE BYĆ DOWOLNIE KOPIOWANY I WYKORZYSTYWANY ZA PODANIEM ŹRÓDŁA

Przedmiot/edukacja: fizyka / nauki STEAM / edukacja techniczna

Autorka: Agnieszka Winiarska-Furtak, Ambasadorka Edukacji Kosmicznej ESERO Polska

Temat:

MONTAŻ I LUTOWANIE UKŁADU „KLUCZ DO KOSMOSU” – ELEKTRONIKA W PRAKTYCE

Grupa: uczniowie zainteresowani technologią i naukami ścisłymi

Czas trwania: 90 minut (2 godziny lekcyjne)

CELE ZAJĘĆ

Cele ogólne:

1. Poznanie pracy astronauty projektowego ESA Sławosza Uznańskiego-Wiśniewskiego (rola, misja, obowiązki).
2. Zrozumienie, czym jest orbitalne laboratorium ISS (*International Space Station*) – największe laboratorium na orbicie, w którym prowadzi się eksperymenty biologiczne, fizyczne, medyczne i technologiczne.
3. Nabycie praktycznych umiejętności z zakresu lutowania, montażu układów elektronicznych oraz pracy zgodnie z dokumentacją techniczną.
4. Rozwijanie kompetencji STEAM – łączenie nauki, technologii, inżynierii i kreatywnego projektowania.
5. Kształtowanie dokładności, cierpliwości, umiejętności współpracy, myślenia logicznego i odpowiedzialności.

Cele szczegółowe – uczeń:

- zna podstawowe elementy elektroniczne i potrafi je rozpoznać,
- rozumie, jak działa klucz telegraficzny i alfabet Morse’a,
- zna zasady BHP przy lutowaniu,
- potrafi poprawnie wykonać lut,
- montuje i uruchamia działający układ,
- interpretuje błędy montażowe i potrafi je samodzielnie naprawić,
- potrafi zastosować myślenie inżynierskie i kreatywne podczas budowy urządzenia,
- rozumie rolę astronautów i eksperymentów orbitalnych w rozwoju technologii.

METODY I FORMY PRACY

- metoda projektu,
- metoda pokazu i instruktażu,
- *problem solving*,
- praca w parach i małych grupach,

- elementy edukacji włączającej,
- STEAM (*Science Technology Engineering Arts Mathematics*).

ŚRODKI DYDAKTYCZNE

- zestawy POLSA „Klucz do Kosmosu” (płytki PCB, elementy elektroniczne),
- lutownice, cyna, kalafonia, podstawki, odsysacze, pęsety, lupy, obcinaczki boczne,
- instrukcja montażu POLSA (wydruk + slajdy),
- prezentacja multimedialna:
 - » sylwetka Sławosza Uznańskiego-Wiśniewskiego, stacja ISS,
 - » „Klucz do kosmosu”,
 - » model „ISS – laboratorium na orbicie”.

PRZEBIEG ZAJĘĆ

Faza wstępna – 15 min

Powitanie i wprowadzenie fabularne (STEAM + kosmos).

Nauczyciel rozpoczyna od pytania:

Czy wyobrażacie sobie miejsce, w którym każdy eksperyment odbywa się w stanie nieważkości?

1. Krótka prezentacja o polskim astronautce ESA

Sławosz Uznański-Wiśniewski:

- inżynier, doktor nauk technicznych, specjalista systemów kosmicznych,
 - wybrany na astronautę projektowego ESA,
 - odpowiedzialny za eksperymenty technologiczne i badawcze na orbicie,
 - symbol polskiej obecności w europejskiej astronautyce.
2. „Potężne laboratorium na orbicie” – prezentacja.
 - Nauczyciel pokazuje grafikę ISS i wyjaśnia:
 - » ISS to największe laboratorium orbitujące Ziemię.
 - » Prowadzi się tam badania nad elektroniką, materiałami, oddziaływaniem nieważkości na układy, organizmy i technologie.

- » Prace astronautów są zbliżone do pracy inżyniera (montaż, testowanie, diagnoza błędów, naprawy urządzeń)

Łączenie z lekcją:

Dziś wcielicie się w rolę techników/inżynierów, tak jak Sławosz Uznański-Wisniewski wykonacie montaż oraz test prawdziwego układu elektronicznego.

2. Faza teoretyczna – 10 min

- Omówienie zestawu:
 - przedstawienie płytki PCB,
 - omówienie elementów: diody LED, rezystory, kondensatory, tranzystory, brzęczyk, mikrofon,
 - schemat wyświetlony na slajdzie.
- Zasady BHP:
 - gorący grot lutownicy,
 - wietrzenie sali lekcyjnej / pomieszczenia warsztatowego,
 - stabilne stanowisko,
 - okulary ochronne,
 - kontrola kabli i wtyków.

3. Faza praktyczna – lekcja 1 (25 min)

Montaż układu – etap „suchy” (bez lutowania).

- Uczniowie rozmieszczają elementy na płytce zgodnie z instrukcją.
- Nauczyciel sprawdza poprawność.
- Omówienie możliwych błędów (np. odwrotne wlutowanie diody).
- Uczniowie rysują lub fotografują swoje stanowisko (STEAM – element dokumentacji technicznej).

4. Faza praktyczna – lekcja 2 (30 min)

Lutowanie i uruchamianie układu.

- Pokaz nauczyciela: jak wykonać poprawny lut.
- Uczniowie w parach lutują kolejne elementy.
- Nauczyciel monitoruje bezpieczeństwo i jakość wykonania.
- Po zakończeniu – test działania: czy zapala się dioda, czy działa buzzer, czy klucz wysyła sygnał.

Jeśli układ nie działa → uczniowie diagnozują błędy (postawa badawcza).

5. Faza podsumowująca – 10 min

Test funkcjonalny „Czy nasz układ nadaje wiadomość jak astronauta?”

Uczniowie:

- wysyłają alfabetem Morse’a krótkie komunikaty, np. SOS, OK, HELLO,
- porównują prędkość nadawania i jakość sygnału.

Refleksja (STEAM) - pytania nauczyciela:

- Co było najłatwiejsze?
- Co wymagało największej precyzji?
- Jakie kompetencje inżyniera/astronauty rozwijały te zajęcia?
- Jak można by ulepszyć swój układ, gdyby to był element satelity?

Nawiązanie końcowe

W kosmosie każdy element urządzenia musi działać idealnie. Dziś wykonaliście pracę, która jakościowo zbliżona jest do podstawowych zadań astronauty-inżyniera w laboratorium orbitalnym.

OCENA PRACY UCZNIÓW

- poprawność montażu,
- jakość lutów,
- działający układ = sukces,
- umiejętność współpracy i postawa badawcza,
- kreatywne modyfikacje,
- dbałość o bezpieczeństwo i porządek.

EWALUACJA

Uczniowie kończą lekcję krótką kartką:

Jaki kawałek wiedzy – swój „klucz do kosmosu” – zabierasz z dzisiejszej lekcji?

WNIOSKI DLA NAUCZYCIELA

- wzmocnić etap pokazowy lutowania,
- zaplanować dodatkowe wsparcie dla uczniów z trudnościami manualnymi,
- w przyszłości rozszerzyć zajęcia o druk 3D/krótkofalarstwo.



LIST OTWARTY

DO MINISTERA EDUKACJI NARODOWEJ P. BARBARY NOWACKIEJ

Szanowna Pani Minister!

W imieniu społeczności Polskiego Towarzystwa Fizycznego, reprezentującej fizyków pracujących na polskich uczelniach i w instytutach naukowych oraz nauczycieli fizyki, pragniemy zaprotestować przeciwko propozycji MEN dotyczącej planowanych zmian w siatce godzin szkół ponadpodstawowych tj. przeciwko drastycznemu zmniejszeniu liczby godzin przedmiotów realizowanych w zakresie rozszerzonym z 22 do 18. Przedmioty realizowane w zakresie rozszerzonym są ściśle powiązane z wyborem przedmiotów na egzaminie maturalnym i kluczowe dla podjęcia studiów wyższych na kierunkach istotnych dla rozwoju nowoczesnej gospodarki.

Dodatkowo uważamy, że narzucenie wszystkim uczniom realizacji przedmiotów rozszerzonych dopiero od klasy drugiej bądź trzeciej nie uwzględnia specyfiki i specjalizacji szkół oraz zróżnicowanych możliwości poznawczych poszczególnych uczniów.

Z niepokojem wskazujemy też na konsekwencje podjętych przez MEN decyzji w sprawie siatki godzin nauczania przedmiotu fizyka. Po zmniejszeniu liczby godzin z fizyki (ale też innych przedmiotów ścisłych i przyrodniczych w szkole podstawowej), przerwa w ich nauczaniu w zakresie rozszerzonym może spowodować dotkliwe, negatywne konsekwencje.

W związku z powyższym postulujemy uelastycznienie siatki godzin poprzez określenie łącznej liczby godzin przeznaczonych na każdy przedmiot w całym cyklu kształcenia w szkole ponadpodstawowej oraz wnosimy o pozostawienie decyzji o momencie rozpoczęcia nauczania w zakresie rozszerzonym dyrektorowi szkoły – jako osobie najlepiej znającej specyfikę danej placówki. Zwiększenie liczby godzin pozostających do dyspozycji dyrektora szkoły jako rozwiązanie realnie wzmacniające sprawczość kadry zarządzającej placówkami oceniamy pozytywnie. Zwracamy jednak uwagę, że w praktyce godziny te są obecnie obwarowane licznymi ograniczeniami, takimi jak brak możliwości realizacji w ich ramach podstawy programowej, ich fakultatywny charakter oraz utrudnienia w przydzielaniu ich grupom międzyoddziałowym. W związku z tym apelujemy również o uwolnienie godzin pozostających do dyspozycji dyrektora od wiążących je wytycznych i przekazanie ich do pełnej jego dyspozycji.

W imieniu społeczności Polskiego Towarzystwa Fizycznego postulujemy ponowną refleksję nad kierunkiem reformy, która powinna prowadzić do pogłębiania treści nauczania, a nie ich dalszego rozpraszania.



Prezes Polskiego Towarzystwa Fizycznego

Prof. dr hab. Stanisław Kistrzyn

STANOWISKO MINISTERSTWA EDUKACJI NARODOWEJ:

Dziękujemy Polskiemu Towarzystwu Fizycznemu za głos w dyskusji o przyszłości nauczania przedmiotów przyrodniczych w szkołach.

Postulaty opisane w liście otwartym nie są planowane przez Ministerstwo Edukacji Narodowej ani przez Instytut Badań Edukacyjnych – Państwowy Instytut Badawczy.

Dokumenty dotyczące zmian, czyli ramowe plany nauczania dla szkół ponadpodstawowych i podstawy programowe kształcenia ogólnego, są dopiero na etapie analiz w IBE – PIB.

Utrzymujemy dotychczasowe rozwiązania – przedmioty w zakresie rozszerzonym nadal będą realizowane w łącznym wymiarze 22 godzin, przy czym każdy z nich będzie miał co najmniej 6 godzin w całym cyklu nauki.

Uczniowie liceów ogólnokształcących będą mogli wybierać nawet cztery przedmioty rozszerzone, jeśli dyrektor szkoły zdecyduje się wykorzystać w tym celu godziny pozostające do jego dyspozycji.

Zwiększamy elastyczność nauczania w liceach – określamy tygodniowy wymiar godzin przedmiotów w klasie I oraz łączną liczbę godzin do podziału między te przedmioty w klasach II–IV.

W szkołach podstawowych zwiększamy liczbę godzin przedmiotów przyrodniczych – od września 2026 r. wzrośnie ona z 20 do 21. Jednocześnie zwiększamy liczbę godzin do dyspozycji dyrektora – z 4 do 6.

Godziny te będą mogły być wykorzystywane szerzej niż dotychczas – m.in. na zajęcia rozwijające kluczowe kompetencje uczniów, takie jak kompetencje językowe, matematyczne, cyfrowe czy ruchowe. Podobne rozwiązania planowane są również dla szkół ponadpodstawowych.

Planowane działania mają na celu zwiększenie elastyczności systemu edukacji, tak aby szkoły mogły lepiej odpowiadać na potrzeby uczniów. Dzięki temu licea ogólnokształcące będą skuteczniej przygotowywać młodych ludzi do studiów, a jednocześnie lepiej wspierać rozwój uczniów szczególnie uzdolnionych, w tym w obszarze nauk ścisłych i przyrodniczych.

Ministerstwo Edukacji Narodowej, Stanowisko w sprawie listu otwartego Polskiego Towarzystwa Fizycznego, 4 marca 2026, Gov.pl, [dostęp: 18.03.2026]

Czy kiedykolwiek zastanawiałeś się, dlaczego niebo jest niebieskie, jak działa grawitacja, albo co naprawdę dzieje się we wnętrzu czarnej dziury? Właśnie dlatego powstała inicjatywa „Zapytaj Fizyka” – popularnonaukowy projekt Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, który pozwala zajrzeć za kulisy nauki. Dzięki uprzejmości prof. Piotra Sułkowskiego, kierownika tego projektu, także czytelnicy Postępów Fizyki, będą mogli znaleźć odpowiedzi na nurtujące ich pytania w stałym dziale naszego pisma.

To tutaj cyklicznie będziemy zamieszczać wybrane pytania nadesłane przez czytelników wraz z odpowiedziami doświadczonych naukowców, fizyków, starszych studentów – od codziennych zagadek po najbardziej zaskakujące tajemnice Wszechświata. „Zapytaj Fizyka” na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego to jednak nie tylko odpowiedzi, to także regularne wykłady popularnonaukowe (których nagrania można obejrzeć na YouTube) prowadzone przez wybitnych badaczy i pasjonatów nauki, którzy pokazują, że fizyka może być fascynującą opowieścią o tym, jak działa otaczający nas świat. Serdecznie zachęcamy do udziału!



Proponuję jako ćwiczenie przeprowadzić odpowiednie obliczenie i zrobić wykres zależności kąta, pod jakim powraca promień świetlny, od kąta padania.

Powyższe wyjaśnienie zostało sformułowane przy użyciu optyki geometrycznej, a zatem nie uwzględnia takich falowych właściwości światła, jak interferencja czy dyfrakcja. Jest to uzasadnione, gdy rozmiar kropli jest bardzo duży w porównaniu z długością fal świetlnych.



DLACZEGO TĘCZA MA KSZTAŁT ŁUKU, A NIE ZAJMUJE CAŁEGO OBSZARU W KTÓRYM PADA DESZCZ (PRZED OBSERWATOREM, KTÓRY MA SŁOŃCE ZA PLECAMI)?

Odpowiedzi udzielił prof. Jan Gaj

W zasadzie tęcza powinna ten łuk wypełniać. Jednak nie widzimy tego, bo wewnątrz łuku natężenie światła jest bardzo małe. Promienie świetlne składające się na tęczę wchodzą do kropli wody załamując się, następnie odbijają się od wewnętrznej powierzchni kropli, po czym wychodzą z kropli załamując się ponownie. Kąt, o jaki promień wychodzący z kropli jest odchylony w stosunku do promienia padającego, zależy od kąta padania, a ten zależy od miejsca, w którym promień padł na kroplę. Przy padaniu na środek kropli promień zawraca pod kątem 180 stopni, co odpowiada środkowi łuku tęczy. Padając coraz dalej od środka kropli, promień wraca pod coraz mniejszym kątem, odchylając się coraz bardziej od 180 stopni, aż wreszcie odchylenie to osiąga maksimum przy pewnym kącie padania. Jeśli kąt padania dalej się powiększa, odchylenie promienia powracającego od 180 stopni zaczyna maleć. A zatem tęcza powinna wypełniać zakres kątów od zera do maksymalnego odchylenia.

Jednak w pobliżu maksymalnego odchylenia małe zmiany kąta padania nie powodują zauważalnych zmian kąta odchylenia. Dlatego pod kątami odchylenia bardzo bliskimi maksymalnemu obserwujemy silne zagęszczenie promieni powracających, co obserwuje się w postaci łuku tęczy. Tęcza jest kolorowa, bo ten maksymalny kąt zależy od współczynnika załamania, który jest trochę inny dla każdej długości fali, czyli koloru światła.



CZY KAŻDE CIAŁO JEST SPRĘŻYSTE? CZYM SIĘ RÓŻNI SPRĘŻYSTOŚĆ OD ELASTYCZNOŚCI?

Odpowiedzi udzielił Grzegorz Brona

Sprężystość jest to zdolność ciała do odzyskiwania kształtu oraz wymiarów po usunięciu czynnika zewnętrznego, który powoduje zniekształcenia. Ciała stałe są sprężyste, natomiast mogą tracić swoją sprężystość w wyniku zbyt dużych odkształceń, wskutek których powstają pęknięcia, zmiany plastyczne, itp. Z mikroskopowego punktu widzenia, w czasie odkształcenia sprężystego zmieniają się odległości międzyatomowe oraz kąty pomiędzy wiązaniami. Energia zgromadzona w układzie silnie wzrasta. Powoduje to, że odkształcenia sprężyste są stosunkowo małe. Po zniesieniu siły odkształcającej układ wraca do minimum energetycznego przywracając swój kształt.

Elastyczność to również zdolność do odzyskiwania pierwotnego kształtu, jednak dotyczy ona tylko niewielkiej grupy substancji, a jej opis mikroskopowy jest inny. W tym wypadku następuje rozprostowanie pierwotnie skłębionych długich łańcuchów polimerowych. Nie następują przy tym często jakiegokolwiek zmiany odległości międzyatomowych, ani w kątach pomiędzy wiązaniami. W czasie odkształcania materiał zmniejsza swoją entropię (prostują się łańcuchy, przez co zmniejsza się ilość ich możliwych ułożeń), wydzielane jest ciepło. Po zniesieniu siły odkształcającej system dąży do wzrostu entropii, czemu towarzyszy pobieranie ciepła. Odkształcenia elastyczne mogą być znacznie większe niż sprężyste.



KRZYSZTOF PETELCZYK (POLITECHNIKA WARSZAWSKA, WYDZIAŁ FIZYKI)

75 LAT „POSTĘPÓW FIZYKI”

CZĘŚĆ 2

W lipcu 1949 roku został wydany pierwszy numer nowego czasopisma Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Postępy Fizyki (PF) ukończyły w 2024 roku 75 lat. Każdy ich zeszyt przybliża odkrycia, postacie i wydarzenia, które przez dekady tworzyły historię fizyki w Polsce. Niniejsze opracowanie obejmuje momenty najważniejsze dla tożsamości samego czasopisma oraz wydarzenia historyczne uwiecznione na łamach PF. Wybór wspominanych tu artykułów jest subiektywny, dokonany przez autora. W części drugiej przedstawiono historię czasopisma od roku 1998 do 2014. Jest to okres dynamicznych zmian w Postęпах Fizyki mających na celu znalezienie właściwego miejsca w środowisku fizyków polskich XXI wieku.

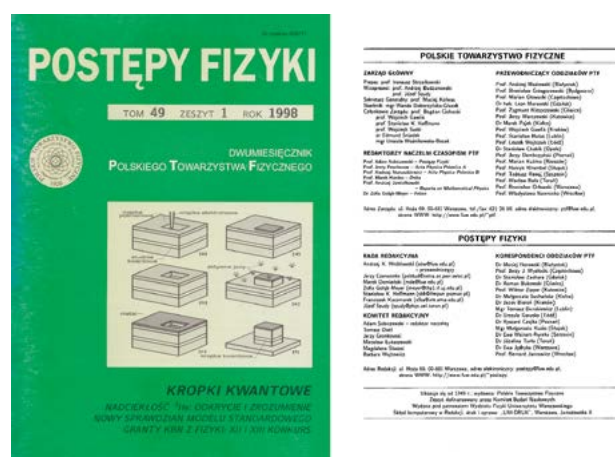
W 1997 roku^[1] w Postęпах Fizyki (PF 48, 2) ukazał się komunikat, że Zarząd Główny PTF ogłasza konkurs otwarty na dewizę i emblemat Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Przedmiotem konkursu jest projekt znaku graficznego, który obrazowałby cele, zadania i idee Towarzystwa, oraz hasło-dewiza spełniające te same zadania, sformułowana w języku łacińskim. Treści zawarte w tych składnikach powinny być takie, żeby mogły być zaakceptowane przez każdego fizyka bez względu na jego specjalność. W ramach założeń ustalono z góry, że emblemat musi się wpisywać w koło otoczone przez nazwę towarzystwa w języku polskim i łacińskim, rok jego założenia, tj. 1920 oraz zaproponowaną dewizę. Konkurs rozstrzygnięto podczas 34. Zjazdu Fizyków Polskich w Katowicach, a wynik ogłoszono w PF 48, 6. Wybrano propozycję prof. Stanisława Hałasa, geofizyka z Lublina, przewodniczącego Oddziału Lubelskiego PTF, która odtąd stała się oficjalną pieczęcią i znakiem Towarzystwa.

1998-2002

Przyjęcie emblematu Polskiego Towarzystwa Fizycznego zostało wykorzystane przez redakcję Postępów Fizyki do zmiany projektu okładki pisma. Od tomu 49 (1998) na okładce znalazły miejsce godło towarzystwa, ilustracja, tytuł jednego z artykułów oraz lista najważniejszych z zagadnień w treści zeszytu. Znikł natomiast dopisek o poświęceniu pisma upowszechnianiu wiedzy fizycznej, a zamiast niego pojawiło się jedynie hasło „Dwumiesięcznik Polskiego Towarzystwa Fizycznego”. Format arkuszy powiększono z B5 (176 × 250 mm) na A4 (210 × 297 mm), a kolor okładki stał się

charakterystyczny dla danego tomu. Pierwszy z nich otrzymał barwę zieloną. Dodatkowo treść układano odtąd w formacie dwuszpaltowym.

Redaktorem naczelnym pozostał Adam Sobieczewski, a Komitet Redakcyjny stanowili Tomasz Dietl, Jerzy Gronkowski, Mirosław Łukaszewski, Magdalena Staszal oraz Barbara Wojtowicz. Siedzibą redakcji była Warszawa. Działała także Rada Redakcyjna, której członkami byli ówczesnie przewodniczący Andrzej Kajetan Wróblewski i Marek Demiański z Warszawy, Jerzy Czerwonko z Wrocławia, Zofia Gołąb-Meyer z Krakowa, Stanisław Hoffmann i Franciszek Kaczmarek z Poznania oraz Józef Szudy z Torunia. Pracę redakcji uzupełniali także korespondenci każdego z 15 oddziałów PTF.



Rys. 1. Okładka i strona redakcyjna zeszytu PF 49, 1 (1998)

1 Część 1 artykułu zawierająca historię czasopisma w okresie 1949-1997 została opublikowana w PF 76, 3-4.

POSTĘPY FIZYKI

POSTĘPY FIZYKI, founded in 1949, is a bimonthly in Polish with abstracts in English. It is published by the Polish Physical Society, under patronage of the Physics Faculty of Warsaw University and support of the Polish State Committee for Scientific Research.

Editorial Council: Andrzej K. Wroblewski (Chairman), Jerzy Czerwonko, Marek Demianski, Zofia Golab-Meyer, Franciszek Kaczmarek, Józef Szudy

Editorial Committee: Adam Sobczewski (Editor-in-Chief), Tomasz Dietl, Jerzy Gronkowski, Mirosław Łukaszczyk, Magdalena Staszul, Barbara Wojtowicz

Address: ul. Hoza 69, PL-00681 Warszawa

Phone: (+48-22) 628 30 31 ext. 165

E-mail: postepy@fuw.edu.pl

INFORMATION FOR SUBSCRIBERS

A subscription order can be sent through the local press distributor or directly to "RUCH" S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy, ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, Poland.

WARUNKI PRENUMERATY

Cena prenumeraty krajowej w 1998 r. wynosi 13 zł 50 gr za pół roku, 27 zł za rok.

PRENUMERATA ZA POSREDNICTWEM "RUCH" S.A.

1. Wpłaty na prenumeratę przyjmują jednostki kolportażowe "RUCH" S.A. właściwe dla miejsca zamieszkania lub siedziby prenumerenta. Dostawa egzemplarzy następuje w uzgodniony sposób.
2. Cena prenumeraty ze zleceniem dostawy za granicę jest o 100% wyższa od krajowej. Wpłaty przyjmuje "RUCH" S.A. Oddział Krajowej Dystrybucji Prasy na konto w PIBK SA XIII O/Warszawa nr 11101053-16551-2700-1-67 lub w kasach Oddziału. Dostawa odbywa się pocztą zwykłą, z wyjątkiem zlecenia dostawy pocztą lotniczą, której koszt w pełni pokrywa zamawiający.
3. Terminy przyjmowania wpłat od osób zamieszkałych w kraju: do 5 grudnia - na I półrocze roku następnego, do 5 czerwca - na II półrocze roku bieżącego (prenumerata krajowa) oraz do 20 listopada - na I półrocze roku następnego, do 20 maja - na II półrocze roku bieżącego (prenumerata zagraniczna).
4. Zlecenia na prenumeratę dewizową, przyjmowane od osób zamieszkałych za granicą, realizowane są od dowolnego numeru w danym roku kalendarzowym.

PRENUMERATA ZA POSREDNICTWEM ZG PTF

Prenumeratę można także zamówić w Zarządzie Głównym PTF, drogą wpłaty na konto ZG PTF w PKO BP IX O/Warszawa nr 10201097-335245-270-1-111 lub w Biurze Zarządu Głównego PTF. Dostawa "Postępów Fizyki" następuje drogą pocztową na wskazany adres.

PRENUMERATA ZA POSREDNICTWEM ODDZIAŁÓW PTF

Prenumeratę można zamówić również w oddziale PTF. Członkowie PTF, którzy opłacają prenumeratę w oddziałach PTF na cały rok, otrzymują 20% zniżki. W przypadku, gdy oddział zamawia liczbę egzemplarzy przekraczającą 50% liczby członków, zniżka wynosi 30%. Taką samą zniżką (30%) przyśługuje studentom, nieczłonkom od oddziału prenumeratorów w danym oddziale. Dostawa "Postępów Fizyki" odbywa się za pośrednictwem oddziału PTF.

Rys. 2. Strona internetowa Postępów Fizyki (www.fuw.edu.pl/~postepy) z 20 stycznia 1998 r.

Krokiem milowym w historii pisma było uruchomienie z dniem 20 stycznia 1998 roku pierwszej strony internetowej Postępów Fizyki pod adresem www.fuw.edu.pl/~postepy. Prosta strona tekstowa w barwach niebiesko-białych zawierała podstawowe informacje o redakcji i warunkach prenumeraty.

Przewagę treści w tomie 49 (1998) stanowiły zagadnienia fizyki kwantowej, a szczególnie problemy fizyki przestrzeni kwantowych o obniżonej wymiarowości. Numer PF 49, 2 poświęcony został jednak stuleciu odkrycia polonu i radu oraz sylwetce ich odkrywczyni Marii Skłodowskiej-Curie. W zeszycie PF 49, 3 znalazły się zaś dwa ciekawe artykuły Jacka Turnaua, który pisał o popularyzacji fizyki oraz przybliżał klasyczną książkę Michaela Faradaya „Dzieje świecy”.

Na progu osiemdziesięciolecia istnienia PTF i pięćdziesięciolecia Postępów Fizyki redakcja zamieściła w PF 49, 5 szereg statystyk. Wynikało z nich, że Towarzystwo liczyło wówczas 1785 członków, a Postępy Fizyki prenumerowało 35% z nich. Największym oddziałem był Oddział Warszawski, jednak ponad 100 członków liczyły także Oddziały Gdański, Krakowski, Lubelski, Poznański i Wrocławski. Na uwagę zasługują także dwa kolejne oddziały pod względem wielkości. W Oddziale Łódzkim spośród 97 członków, Postępy Fizyki prenumerowało zaledwie ośmiu, zaś w Oddziale Toruńskim sytuacja była odwrotna i na 86 członków, pisma nie otrzymywało w ramach prenumeraty jedynie sześciu. Najmniejszym oddziałem był Oddział Bydgoski liczący sobie 25 członków. Na koniec redakcja zaznaczyła, że *oddziały, w których liczba prenumeratorów przekracza połowę liczby członków mają prawo (...) do 30% zniżki*.

Już po roku funkcjonowania zmieniła się strona internetowa czasopisma przyjmując bardziej graficzne oblicze wykonane w ramach pracy licencjackiej przez Tomasza Karaskę, studenta Szkoły Nauk Ścisłych w Warszawie. Strona przeniosła się na serwery Instytutu Fizyki PAN, choć oficjalnie nadal prowadził na nią adres: www.fuw.edu.pl/~postepy, skąd dopiero następowało automatyczne przekierowanie na student.ifpan.edu.pl/~postepy.

Jubileuszowy tom 50 (1999) otrzymał barwę złotą, natomiast tom 51 (2000) – kolor czerwony. Na okładce PF 50, 1 znalazła się okolicznościowa grafika przedstawiająca okładkę i spis treści pierwszego w historii zeszytu Postępów Fizyki

z 1949 roku (PF 1, 1). W słowie wstępnym redakcja przypomniała treść wszystkich zeszytów tomu 1 oraz zauważyła, że większość autorów publikujących artykuły w tych historycznym zeszytach to były postaci znane współczesnym fizykom. Jak czytamy: *Nie jest to chyba dziwne. Stanowią [one] bowiem niemalże i ważny fragment historii fizyki [w Polsce]. Ilustruje to także fakt, jak dobrze te pierwsze zeszyty «zakotwiczyły się» w środowisku fizyków. Czy trwa to tak do dzisiaj?* (PF 50, 1). To pytanie otwarte redakcja stawiała przed współczesnymi jej czytelnikami. W tym samym tekście po raz kolejny opisany został program dla Postępów Fizyki. Zgodnie z nim w piśmie powinny pojawiać się artykuły znakomitych fizyków polskich i innych osób tworzących fizykę. Zdaniem redakcji, tacy ludzie powinni też zawsze Postępy prowadzić, *gdyż nikt inny nie zna i nie rozumie lepiej problemów fizyki w Polsce niż oni sami*.

Próżno jednak było szukać osiągnięć polskich fizyków w zeszycie PF 50, 1 zawierającym tłumaczenie wykładu noblowskiego oraz artykuły dotyczące bardziej organizacji nauki niż jej osiągnięć. Podobnie wyglądały dwa następne zeszyty. Dopiero w PF 50, 4 pojawił się artykuł dotyczący osiągnięć badawczych jego autora. Kacper Zalewski, laureat Medalu Smoluchowskiego, opisywał manifestację kondensatu Bosego-Einsteina w zderzeniach wielocząstkowych dużych energii. W zeszycie tym pojawiła się także ciekawa analiza Andrzeja Hryniewiczza „Dyktał stałych Przyrody”, rozpoczynająca się od słów: *w moim przekonaniu (...) fizyka jest tą dziedziną nauki, która najpełniej zaspokaja naszą ciekawość otaczającego świata – ciekawość jego struktury, procesów w nim zachodzących i ogólnych zasad, którym te struktury i procesy podlegają*. Na uwagę zasługiwało także tłumaczenie wykładu laureata Nagrody Nobla z 1991 roku, Pierre’a-Gillesa de Gennesa wygłoszonego w 1971 roku w College de France i opublikowanego w PF 50, 5. Artykuł, któremu tłumacz Jerzy Gronkowski nadał tytuł „O błędach fizyków”, stanowił niezwykle ciekawe i pouczające spojrzenie na fizykę, które nie traci na aktualności.

Postępy stały się pismem starym. W takich pismach daje się zwykle jakieś wycinki tego, co pojawiało się w nich dawno temu – napisała redakcja w PF 51, 1 (2000). Zgodnie z tą ideą już w PF 50, 6 przypominała archiwalne artykuły dotyczące popularyzacji wiedzy pochodzące z 1935 (opublikowany



POSTĘPY FIZYKI

DWUMIESIĘCZNIK POŚWIĘCONY UPOWSZECZNIANIU
WIEDZY FIZYCZNEJ UKAZUJĄCY SIĘ OD 1949 R.
Zeszyty dofinansowane przez Komitet Badań Naukowych
Wydawane pod patronatem Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

- [ostatni numer](#)
- [wkrótce](#)
- [stopka redakcyjna](#)
- [informacje o prenumeracie](#)
- [informacje dla autorów](#)
- [short info in English](#)
- [numery wydane od roku 1993](#)
- [znajdź na stronach](#)

Redakcja Postępów Fizyki
ul. Hoża 69
00-681 Warszawa
postepy@fuw.edu.pl

Stronę przygotował w maju 1998 r. [Tomasz Karasek](#)
student III roku [Szkoły Nauk Ścisłych](#)
w ramach swojego projektu licencjackiego

Rys. 3. Strona internetowa Postępów Fizyki (student.ifpan.edu.pl/~postepy) z 2 października 1999 r.

oryginalnie w PF 35, 4 z 1984 roku) i 1955 roku (PF 6, 1). Natomiast w PF 51, 1 przytoczyła fragmenty streszczeń referatów z 12. Zjazdu Fizyków Polskich, który odbył się w 1949 roku w Warszawie i został opisany w PF 1, 3-4 (1949). Co ciekawe opis ten został zestawiony na kolejnych stronach ze wspomnieniami Aleksandry Kopystyńskiej z 35. Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku, który miał miejsce w 1999 roku, a więc dokładnie 50 lat później. Tomy 50 i 51 posiadały też zeszyty dodatkowe poświęcone w całości materiałom tego zjazdu. Jak na rok 1999 przystało, tom 50 zakończyła dyskusja o sporze dotyczącym początku XXI wieku w wykonaniu Jana Stankowskiego (PF 50, 5) oraz Bernarda Jancewicza (PF 50, 6).

Tom 52 (2001) Postępów Fizyki otrzymał fioletowy kolor okładki. Na zaznaczenie zasługuje w nim artykuł „Filozofia przyrody w roku 1000” ks. dr. Jerzego Witczaka (PF 52, 4). Poprzedził go wstęp redakcji Postępów Fizyki, która informując o otrzymaniu tego tekstu, będącego zapisem referatu wygłoszonego podczas dyskusji panelowej z okazji Milenijnego Festiwalu Nauki zachęca *wszystkich czytelników Postępów do «wyławiania» ciekawych wydarzeń związanych w najogólniejszym sensie z fizyką, które warte są rozpowszechniania przez nasze pismo (...). Staramy się zawsze podkreślać, że tworzenie pisma przez całe środowisko jest najlepszą gwarancją jego użyteczności dla tego środowiska* – dodała na koniec redakcja. Wartymi odnotowania były także: szczegółowe informacje o 36. Zjeździe Fizyków Polskich w Toruniu (2001) zamieszczone na końcu PF 52, 1 i analiza Kacpra Zalewskiego „Fizyka w Polsce w roku 2000” opublikowana w PF 52, 2. W PF 52, 3 znalazł się formularz zgłoszeniowy dla uczestników Zjazdu.

Tom 53 (2002) nawiązywał barwą do historii Postępów Fizyki. Błękit, który przez wiele lat zdobił okładki pisma pojawił się w tym tomie po raz ostatni. Po raz ostatni także pracami redakcji kierował Adam Sobiczewski. Po ponad 25 latach ofiarnej pracy dla Postępów Fizyki w kolejnym tomie przekazał on pałeczkę swoim następcom. Należy podkreślić, że za czasów jego pracy Postępy Fizyki były pismem o dobrze zdefiniowanej i konsekwentnie realizowanej wizji i wartości.

W treści zeszytów tomu 53 na pierwszy plan wybijały się rozważania na temat tego, jak wyglądać będzie fizyka w rozpoczętym stuleciu. Już w PF 53, 1 Józef Spałek stawiał pytanie „Czy fizyka ma szansę w XXI wieku?” i odpowiadał: *Musi (...) ciągle o to zabiegać*. W PF 53, 3 Manfred Schroeder w artykule „Rozwój i przyszłość fizyki” cytował Davida Hilberta: *Któż z nas nie chciałby uchylić rąbka zasłony skrywającej przyszłość, by spojrzeć na nadchodzące postępy naszej wiedzy i poznać tajemnice jej rozwoju w przyszłych stuleciach!*. Do dyskusji na łamach pisma włączył się także Jan Klamut zastanawiając się „Gdzie fizyka ma szukać szans w XXI wieku?” (PF 53, 4). Wreszcie Wiktor Niedzicki, znany redaktor programów popularno-naukowych w Telewizji Polskiej, starał się opowiedzieć „Jak przełamać lęk przed fizyką?” (PF 53, 5). Te pytania, mimo, że w treści artykułów autorzy poszukiwali rozwiązań, w większości pozostały otwarte.

2003-2014

Nowym redaktorem naczelnym Postępów Fizyki został w 2003 roku Jerzy Gronkowski. Z redakcji poza Adamem Sobiczewskim, który stał się redaktorem honorowym pisma, odszedł także Tomasz Dietl. Jak pisał prezes PTF Maciej Kolwas w PF 54, 1: *Nasze czasopismo, upowszechniające wiedzę fizyczną i służące środowisku polskich fizyków już od ponad 50 lat, musi lepiej dostosować się do wymogów dzisiejszych czasów. (...) Redakcja Postępów podjęła obecnie trud kolejnego unowocześnienia formy i uatrakcyjnienia zawartości czasopisma, rozumiejąc, że tylko w ten sposób można liczyć na zdobycie młodych czytelników, przyzwyczajonych do kolorowej grafiki komputerowej oraz Internetu*. Postępy zyskały więc nową szatę graficzną z ilustracją obejmującą całą okładkę (w inauguracyjnym zeszycie przedstawia ona zdarzenie zarejestrowane przez detektor w eksperymencie ATHENA) oraz wyszczególnionymi najważniejszymi tematami zeszytu. Wewnątrz natomiast zamieszczane były m.in. reklamy wydawnictw i dystrybutorów aparatury laboratoryjnej. Było to związane, jak pisze prezes, z tym, że ze względu na zmniejszające się subwencje od dotychczasowych sponsorów, a w szczególności Komitetu Badań Naukowych, Postępy będą w przy-



Rys. 4. Okładka i strona redakcyjna zeszytu PF 54, 1 (2003)

szości zmuszone do systematycznego pozyskiwania funduszy także z innych źródeł, np. od firm zamieszczających reklamy swych produktów.

W części naukowej inauguracyjny zeszycet nowej redakcji (t. 54 z. 1) zawierał ciekawy, autorski artykuł Magdaleny Kowalskiej nt. produkcji zimnego antyodoru, przybliżenie sylwetek noblistów z fizyki z 2002 roku oraz tłumaczenie wykładu noblowskiego Wolfganga Ketterle z 2001 roku nt. kondensacji Bosego-Einsteina i laserów atomowych. W dyskusji na temat miejsca fizyki w świecie XXI wieku zabrał głos Jerzy Kuciński w artykule „Refleksje na temat rozumienia fizyki” pisząc między innymi, że *proces dydaktyczny wyższych uczelni jest nastawiony na „wtłoczenie do głowy” możliwie znacznej ilości bitów, a wieloletnie powtarzanie wiedzy szkolnej w trakcie nauczania powoduje tak głębokie „zrozumienie”, że próba wskazania, że coś nie jest aż tak zrozumiałe, natrafia na opór. Jeżeli jeszcze uczeń jest w stanie się zainteresować tym, czego nie rozumiemy, to nauczyciel najczęściej zauważa w próbie wskazania na wątpliwości jedynie „chaos myślowy i niejasności”. I nic w tym dziwnego, skoro deklarowanym szandarowym celem nauki jest zrozumienie! Wydaje się, że byłoby korzystne dla fizyki zmienić ten stan rzeczy. Ten głos pokazywał jak ważnym i trudnym tematem była, ale też jest nadal, odpowiedź na pytanie: jak uczyć fizyki współczesnej? W dalszej części zeszytu opisano konferencję pod tym właśnie hasłem, która odbyła się w Katowicach. Treść uzupełniała obszerna kronika i zapowiedź tematów planowanych do podjęcia w kolejnych zeszytach.*

Od PF 54, 2 redakcja rozpoczęła tradycję zamieszczania na początku każdego zeszytu krótkich wstępów wprowadzających czytelników w tematykę publikowanych artykułów oraz zwięzłe komentujących bieżące wydarzenia i listy od czytelników. Przedmowy te kolejno pisali poszczególni członkowie redakcji – Jerzy Gronkowski, Barbara Wojtowicz, Mirosław Łukaszewski, Magdalena Staszal, Marek Więckowski (który dołączył do pisma od PF 55, 3). Oznacza to zapewne, że każdy numer miał swojego redaktora prowadzącego.

Zmiany zostały wprowadzone także w treści kolejnych zeszytów tomu 54 (2003). Pojawiły się w nich sprawozdania z działalności oddziałów i sekcji, informacje z posiedzeń Zarządu Głównego, autorskie artykuły naukowe, ale także tłumaczenia (przez członków redakcji) ciekawych artykułów zagranicznych zaczerpniętych z CERN Courier (H. Fritzsch, „Czy stałe podstawowe są naprawdę stałe?”, PF 54, 3), APS News (J. Marburger, „Mówmy prawdę o fizyce cząstek”, PF 54, 3) czy licznych referatów podczas wydarzeń na całym świecie (np. A. P. French, „Fizyka XX wieku: moje wspomnienia i fascynacje”, PF 54, 6). Opisywane były także syl-

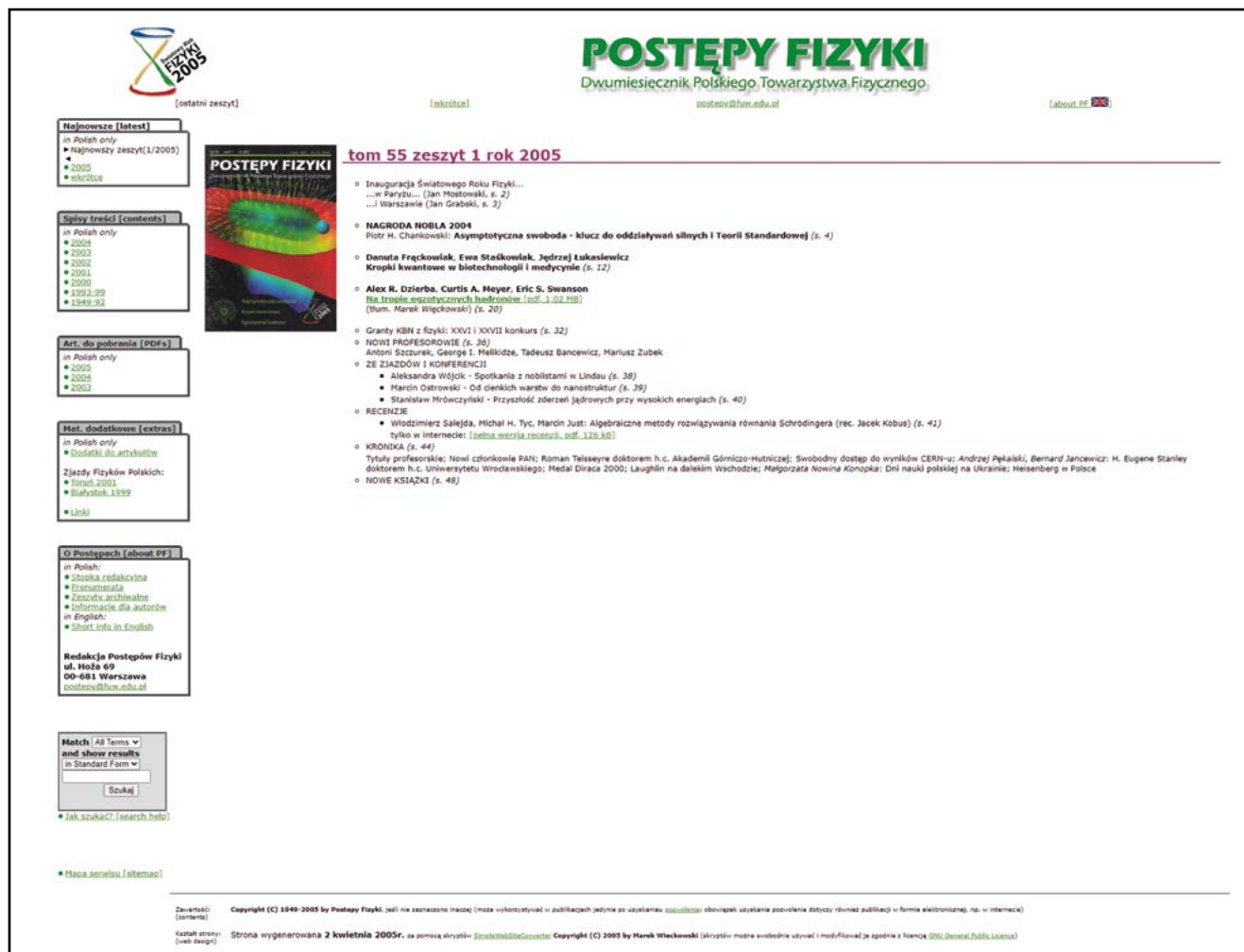
wetki nowo mianowanych przez Prezydenta RP profesorów fizyki, listy do redakcji oraz wspomnienia i biogramy fizyków z przeszłości.

Nie sposób nie zatrzymać się na chwilę przy artykule „Czwierć wieku w Postępiech Fizyki” (PF 54, 5) zawierającym wspomnienia Adam Sobiczewskiego z czasów kierowania piśmie. Każdy redaktor i każdy członek zespołu redakcyjnego takiego pisma jak *Postępy* ma wielki problem łączenia pracy redakcyjnej z działalnością naukową i dydaktyczną. Nie jest to łatwe, ale chyba nieuniknione, bo tylko taka osoba może dobrze rozumieć i autorów i czytelników, spośród których zdecydowana większość jest związana z jednym lub drugim czy też oboma rodzajami tej działalności. Ma on też wtedy większą szansę dobrej znajomości środowiska, dla którego przecież to pismo istnieje, i oddziaływania z nim. – napisał wieloletni redaktor naczelny przytaczając następnie historię pisma, warunki jego wydawania i założenia, które kierowały pracą redakcji. Sądzę, że rolą każdego nowego redaktora jest możliwe staranne zachowanie dorobku poprzednich redakcji, wszystkiego, co było w tym dorobku najwartościowsze, a dopiero następnie dbanie o dalszy rozwój pisma, sprostanie różnym nowym wyzwaniom czasu – kontynuował. Tekst można z pewnością traktować nie tylko jako świadectwo okresu, w którym redakcja pracowała pod kierunkiem Adama Sobiczewskiego, ale także jego swoisty testament dla osób odpowiedzialnych za pismo w przyszłości.

Tom 55 (2004) Mirosław Łukaszewski rozpoczął słowami: *Z różnych zamierzeń sprzed roku nie bardzo nam się udało akcja zdobywania reklam. Po roku stwierdzamy, że stale pomagały nam – i nadal pomagają – dwie firmy: Eurotek International i Wydawnictwo Naukowe PWN. Bez wątpienia zawdzięczamy to wielkiej życzliwości i sympatii pani dyrektor Anny Szemberg z PWN-u i pana doktora Józefa Dresnera z Euroteku. Dziękujemy Ci, Anko, dziękujemy Ci, Józku. Może tym śladem pójdą i inni...* Wspomniana Anna Szemberg stała się piętnaście lat później redaktorem naczelną *Postępow Fizyki*.

Od PF 55, 2 w każdym zeszycie zamieszczana była informacja o inicjatywie ONZ dotyczącej ogłoszenia roku 2005 Światowym Rokiem Fizyki w stulecie przełomowych prac Alberta Einsteina. Jednostronicowe artykuły informowały o planach PTF i środowiska fizyków polskich dotyczących obchodów tego roku. Miały to być konkursy, Zjazd Fizyków Polskich w Warszawie, Festiwal Nauki, konferencja „Foton 2005” i wiele innych inicjatyw. Polscy fizycy mieli aktywnie uczestniczyć także w imprezach międzynarodowych. Kulminacją tych obchodów stał się tom 56 (2005). Na okładkach wszystkich numerów tego rocznika pojawiła się charakterystyczna klepsydra będąca znakiem identyfikacyjnym Światowego Roku Fizyki. Można było przeczytać relacje z wydarzeń, a także artykuły o osiągnięciach sprzed 100 lat oraz o wkładzie fizyków w Polskę w postępie nauki w ciągu ostatniego wieku. Szczególnie PF 56, 6, zawierający relację z sympozjum „Albert Einstein – rok 1905” zorganizowanego na Uniwersytecie Warszawskim, pozwolił czytelnikom dokładnie zapoznać się z dziedzictwem patrona roku 2005.

W PF 56, 2 (2005) redakcja ogłosiła: *postanowiliśmy sprawić sobie nowe szaty – tym razem elektroniczne. [Redaktor] Marek Więckowski z zapałem ulepszył naszą stronę internetową, gdzie znaleźć można wszystko, co już tam było, lecz w bardziej nowoczesnym opakowaniu, a ponadto lepszą wyszukiwarkę oraz liczne odsyłacze do innych czasopism i organizacji fizycznych. Nowa strona internetowa pisma pod adresem postepy.fuw.edu.pl miała premierę 4 kwietnia 2005 roku.*



Rys. 5. Strona internetowa Postępów Fizyki (postepy.fuw.edu.pl) z 4 kwietnia 2005 r.

Aż trzy zeszyty tomu 57 (2006) zajęły relacje ze Zjazdu Fizyków Polskich 2005 w Warszawie^[2] (PF 57, 3, PF 57, 4, PF 57, 5). Warto podkreślić, że dziedzictwo tego zjazdu po raz pierwszy pozostało także jako relacje filmowe z całych wykładów oraz krótkie rozmowy. Realizację oraz archiwizację materiału audio-wideo zrealizowała telewizja akademicka ATVN i udostępniła w serwisie YouTube. W uzupełniającym ten tom zeszycie PF 57, 6 można z kolei było znaleźć artykuły i sporo zdjęć na temat muzeów nauki powstających ówczesnie w Polsce, m.in. teksty Stanisława Bednarka „Eksploratoria fizyczne w Polsce”, Anety Prymaki „Centrum Nauki Kopernik” oraz polemikę Jerzego Kuczyńskiego „Warto znać się na magii”.

Kolejny, tom 58 (2007) rozpoczął zeszyt (PF 58, 1) poświęcony w dużej mierze badaniom Wszechświata. Było to związane z inicjatywą ogłoszenia roku 2009 Rokiem Astronomii podjętą przez UNESCO. Można było w tym zakresie przeczytać obszerną analizę Mariusza Dąbrowskiego „Przyszłość Wszechświata”. Z kolei pośród wydarzeń kroniki znalazła się tabelka „Liczba członków PTF i prenumeratorów PF”. Zgodnie z nią na koniec 2006 roku Towarzystwo liczyło 2031 członków, z czego Postępy Fizyki prenumerowało niewiele ponad 18%. Największym oddziałem był ten z siedzibą w Warszawie (386 członków), zaś najmniejszym liczący 31 członków Oddział Białostocki (brak jest danych z oddziału ślupskiego). Najwierniejszych czytelników miał Oddział Opolski, gdzie co czwarty członek PTF prenumerował pismo. Z kolei najsłabiej pod tym względem wypadł Oddział War-

szawski. Tam prenumerat było mniej niż 7% liczby członków. Wydaje się, że to zanikanie prenumerat pisma, które było kontynuowane przez kolejne lata związane było z rosnącym dostępem do sieci Internet, gdzie Postępy Fizyki zamieszały wiele materiałów w tym wybrane artykuły w formacie PDF. Tom ten był też pierwszym, w którym na okładce pojawił się kod paskowy prezentujący numer ISSN pisma: 0032-5430.

W tomie 59 warto było zwrócić uwagę na, posiadający niezwykle barwny i wciągający sposób narracji, artykuł Lidii Smentek pt. „Schematy Jabłońskiego” (PF 59, 4). opublikowany z okazji 110 rocznicy urodzin twórcy słynnych schematów przejść energetycznych w atomach. Jak podsumowuje we wstępie redakcji Mirosław Łukaszewski: *autorka przekonuje nas, że prof. Aleksander Jabłoński pozostawił nam nie tylko swe słynne schematy fizyczne, lecz także liczne schematy nie-fizyczne, stanowiące cenne wskazówki życiowe.*

Rok 2009 i tom 60 Postępy Fizyki rozpoczęły w żałobie. Redaktor Naczelny Jerzy Gronkowski po walce z ciężką chorobą zmarł 6 lutego 2009 roku w wieku 60 lat. W pożegnialnym wspomnieniu opublikowanym w PF 60, 1, redakcja pisze: *My, zapamiętamy go chyba najlepiej z dyskusji redakcyjnych, podczas których cierpliwie i stanowczo tłumaczył swe argumenty wtedy, gdy wiedział, że ma rację, a z dużą uwagą pytał nas o zdanie lub radę, gdy nie miał co do tego pewności. Zazwyczaj zresztą rację miał, a pomysły miał znakomite i w wielkiej ilości. (...) Miał mnóstwo satysfakcji z każdego danego zeszytu.*

Od PF 60, 2 redaktorem naczelnym Postępów Fizyki zostaje członek Zarządu Głównego Jerzy Warczewski. Redak-

² Zjazd Odbył się na Politechnice Warszawskiej, a przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego był obecny Redaktor Naczelny Postępów Fizyki – prof. Jerzy E. Garbarczyk.

cję, która przenosi się formalnie do Katowic, tworzą nadal Mirosław Łukaszewski, Magdalena Staszal oraz sekretarz redakcji (od PF 59, 1) Ewa Lipka. Odchodzą natomiast Marek Więckowski (od PF 60, 2) oraz Barbara Wojtowicz (od PF 60, 3).

Nowy redaktor naczelny w PF 60, 2 pisze: *To czasopismo stanowiło i stanowi dla mnie – a także dla wszystkich jego czytelników – swego rodzaju szkołę w dziedzinie fizyki, trzeba bowiem powiedzieć, że popularyzuje ono fizykę na poziomie uniwersyteckim ze szczególnym ukłonem do poziomu popularyzacji dla studentów i dla zdolnych uczniów szkół średnich. Jest to niezwykle ważne, ponieważ fizyka jest fundamentem naszej cywilizacji i kultury. Trzeba również dodać, że wszystkie nauki przyrodnicze, w tym medycyna, są działami fizyki, wszystkie zaś nauki techniczne są jej zastosowaniami. (...) Pragnę spowodować, aby Postępy Fizyki: uzyskały nową szatę graficzną, tj. aby były drukowane w pełnych kolorach na papierze kredowym (podobnie jak np. Świat Nauki), były umieszczone na ministerialnej liście czasopism naukowych, co formalnie podniosłoby rangę czasopisma, służyły zatem także jako czasopismo, w którym mogliby drukować swoje prace nauczyciele w ramach swoich przewodów doktorskich, [jak również] doczekały się właściwego finansowania i żeby cena ich zakupu mieściła się w składce rocznej przekazywanej przez członka PTF bezpośrednio na konto ZG [Zarządu Głównego] PTF. (...) W tym roku [2009] Postępy Fizyki obchodzą swoje sześćdziesiąte urodziny. Na lekturze Postępów kształciło się już kilka pokoleń fizyków polskich. Tak jak ewoluuje fizyka, tak też i to czasopismo powinno ewoluować i nadążać za jej rozwojem, aby sprostać wyzwaniom epoki i co więcej umieć spojrzeć zawsze z odpowiedniej perspektywy na całość tej fundamentalnej dyscypliny wiedzy.*

Pismo nie od razu zmieniło swoją formę i charakter. Na początku utrzymane zostały te same rubryki i działy oraz kontynuowany był profil pisma obejmujący popularyzację osiągnięć naukowych, informacje o wydarzeniach ważnych dla społeczności polskich fizyków, a także biogramy i wspomnienia o zmarłych kolegach i koleżankach z Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Najwidoczniejszą zmianą było to, że skończyło się pisanie wstępów do kolejnych zeszytów przez różnych członków redakcji. Odtąd rolę tę wziął na siebie wyłącznie redaktor naczelny.

W tomach tworzonych przez nową redakcję warto zauważyć cykl „Ile jest fizyki w poezji i ile poezji w fizyce?”. Składał się na niego tekst Piotra Millati pt. „Fizyka i poezja w «Arrasie z Adromedy» Ryszarda Horodeckiego” (PF 60, 5) oraz cykl wierszy tego znakomitego fizyka kwantowego publikowanych w języku polskim i tłumaczeniu angielskim w kolejnych zeszytach (PF 60, 5 i PF 60, 6 oraz PF 61, 1, PF 61, 2, PF 61, 3, PF 61, 4 i PF 61, 5). Już w tej inicjatywie widać było poszukiwanie przez redakcję dróg wyjścia poza utarte schematy patrzenia na fizykę ograniczoną do zagadnień rozumienia świata przyrody.

Drugą manifestacją tego kierunku były pojawiające się od PF 60, 3 eseje Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych. Jak można było przeczytać pod pierwszym z nich: *specyfiką [tej instytucji] jest studiowanie zagadnień powstają-*

cych na styku nauk i filozofii, a także rozpatrywanie ich w kontekście ogólnokulturowym. Dzięki gościnności Postępów Fizyki rozpoczynamy publikowanie na łamach tego czasopisma cyklu esejów związanych z problematyką Centrum Kopernika, a dotyczących fizyki, tej najbardziej podstawowej ze wszystkich nauk empirycznych. Cykl rozpoczął artykuł Michała Hellera „Wielki Program Wszechświata” (PF 60, 3). W kolejnych zeszytach pod logiem Copernicus Center można było przeczytać m.in. o „upiornym oddziaływaniu na odległość” (Tadeusz Pabjan, PF 60, 4), o filozofii na strunach (Wojciech Grygiel, PF 60, 5) oraz o Marianie Smoluchowskim jako filozofie (Paweł Polak, PF 60, 6). Eseje z tego cyklu pojawiły się także we wszystkich zeszytach tomu 61, pierwszych trzech zeszytach tomu 62 oraz w zeszycie otwierającym tom 63.

W tomie 60 nie zapomniano także o Światowym Roku Astronomii 2009. W tym kontekście szczególną uwagę przykuwał zeszyt PF 60, 5, który otworzyła szeroka relacja z wydarzeń w Polsce i na świecie, a na okładce umieszczona została zwycięska praca w konkursie „Odkryj swój Wszechświat” organizowanym przez Polskie Towarzystwo Astronomiczne i czasopismo „Wiedza i Życie”.

Rozpoczynając tom 61 (2010) red. Warczewski (PF 61, 1) dał wyraz uczuciom obecnym w sercach wszystkich Polaków. *Pisząc te słowa nie mogę odrzucić kłębiących się w mojej głowie myśli, które przytłaczają wszystko inne. Tragedia narodowa wywołuje nieprzezwyciężoną rozpacz i ciąży niezwykłym brzemieniem. Ale jednak już w tej chwili świeci światelko nadziei i to nie tylko ponad morzem płonących zniczów i morzem kwiatów koło Pałacu, lecz także z milionowego morza ludzi, które tam fa-
luje i przepływa przez Pałac, to światelko nadziei promieniuje w postaci słów wypowiedzianych i współbrzmiących na jedną nutę: Jeszcze Polska nie zginęła...* Katastrofa Smoleńska, która przyniosła śmierć urzędującemu prezydentowi RP Lechowi Kaczyńskiemu i całemu szeregowi najważniejszych osób w państwie, istotnie napęliła żałobą cały naród, a redakcji kazała, już po raz drugi z rzędu, rozpoczynać rok z ciemną wstążką symbolicznie przewiązaną na okładce. Szczególnie kontrastowało to ze zmianami, które nastąpiły w formacie graficznym pisma. Po raz pierwszy w historii Postępy Fizyki zostały wydane w całości w pełnym kolorze i po nowoczesnym składzie. Zaszły także kolejne zmiany w redakcji. Ewę Lipkę zastąpiła Maria Matlak, zaś Mirosława Łukaszewskiego – Michał Matlak. Skład komitetu redakcyjnego uzupełniła Magdalena Staszal.

Nowy styl pisma otworzył artykuł Stanisława Bajtlika podsumowujący Rok Astronomii 2009 („O roku ów! Czyli o Międzynarodowym Roku Astronomii 2009”, PF 61, 1). Wkrótce jednak treść pisma zdominowały inne tematy. Naukowym wydarzeniem roku było uruchomienie Wielkiego Zderzacza Hadronów (LHC) w CERNie, największego urządzenia badawczego w historii. Postępy relacjonowały to słowami Małgorzaty Nowiny-Konopki w PF 61, 3 i PF 61, 6.

Mimo obecności wielu artykułów dotyczących fizyki i jej osiągnięć, a także umieszczenia Postępów Fizyki na ministerialnej liście B czasopism punktowanych (2010 – 6 punktów, 2012 – 3 punkty) czasopismo wyraźnie ewoluowało w kierunku tematyki okołofizycznej. Świadczy o tym chociażby

spis treści zeszytu otwierającego tom 62 (2011) (PF 62, 1). Znalazły się tam artykuły: „Fizyka źródłem innowacji technicznych, które rozwijają cywilizację i wzbogacają kulturę” (R. Tadeusiewicz), „Zasada komplementarności a filozofia” (T. Pabjan) oraz seria relacji z jubileuszy i wspomnień. Podobnie wyglądał następny zeszyt (PF 62, 2) zawierający artykuł-*hołd dla Zbigniewa Wróblewskiego i Karola Olszewskiego* (H. Kubbinga), tekst „Od Röntgena do ... czyli promieniowanie jonizujące w radioterapii” (K. Ślosarek) oraz „Jeszcze jeden koniec filozofii. Złowróżbne wieszczanie Hawkinga” (W. Sztumski). Redakcja opublikowała także „impresje i refleksje” z dwóch książek oraz relację Jerzego Warczewskiego z dyskusji panelowej „Oblicza fizyki – między fascynacją a niepokojem. Rola fizyki w rozwoju naszej cywilizacji i kultury”. Pod koniec numeru (PF 62, 2), po króciutkiej kronice PTF, znalazł się naukowy artykuł Krzysztofa Szymańca „Zastosowanie zjawisk kwantowych w metrologii”, a także dwa biogramy (Andrzeja Eskreysa i Jana Gaja, którego portret zdobi okładkę) oraz informacja o Nagrodzie im. H. Niewodniczańskiego przyznanej Małgorzacie Jasiurkowskiej. Warto podkreślić, że wszystkie te artykuły były bogato ilustrowane, co w połączeniu z barwnym drukiem czyniło z *Postępów Fizyki* pismo na poziomie mediów powszechnych. W zeszytach pojawiła się także dobrze widoczna niebieska ramka z listą 14 instytucji (członków) wspierających Polskie Towarzystwo Fizyczne.

Zeszyt PF 62, 6 (2011) został poświęcony między innymi historii warszawskiej fizyki oraz postaci Marii Skłodowskiej-Curie (z okazji Międzynarodowego Roku Chemii 2011 ustanowionego w stulecie nagrody Nobla z chemii dla Polki). O polskiej noblistce pisała Małgorzata Sobieszczak-Marciniak, dyrektor Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie („Interesujemy się ludźmi, ich życiem i osiągnięciami. Maria Skłodowska-Curie – uczona, kobieta, Polka, obywatelka Świata” PF 62, 6) oraz Lidia Smentek, („Portrety Legendy”, PF 62, 6), która cytowała m.in. wykład noblowski Wisławy Szymborskiej: *Gdyby moja rodaczka Maria Skłodowska-Curie nie powiedziała sobie „nie wiem”, zostałaby pewnie nauczycielką chemii na pensji dla pańienek z dobrych domów i na tej – skądinąd zaczęj – pracy upłynęłoby jej życie. Ale powtarzała sobie „nie wiem” i te właśnie słowa przywiodły ją, i to dwukrotnie, do Sztokholmu.*

Lidia Smentek nie pierwszy raz dostała od redakcji możliwość publikacji tekstów biograficznych, pisanych w charakterystycznym dla siebie, niezwykle wciągającym stylu. W PF 62, 3 zamieściła ona „Pożegnanie” z Zenonem Rokusem Rudzikasem (byłym prezesem Litewskiej Akademii Nauk), w PF 62, 4 wspominała Ernesta Rutherforda, zaś w PF 62, 5 znalazł się jej artykuł „Korzenie” na temat Alberta Abrahama Michelsona oraz rozmowa na temat tej postaci z Tomaszem Kardasiem zatytułowana „Biały Kruk”.

Ten ostatni temat powrócił niedługo potem z mocnym uderzeniem. Już po kilku miesiącach, 5 stycznia 2012 roku przewodniczący Rady Redakcyjnej Andrzej Kajetan Wróblewski napisał list do członków rady, przesyłając go także do wiadomości redaktora naczelnego *Postępów Fizyki* (a Jerzy Warczewski opublikował jego treść na łamach pisma w PF 63, 2). Zdaniem prof. Wróblewskiego, *artykuły prof. Lidii Smentek (...) budzą [jego] zastrzeżenia, gdyż słabo pasują do oczekiwanego profilu naszego czasopisma (...). Z artykułu wynika, że [autorka] nie zna ani historii fizyki, ani też nie zna podstaw, na których opiera się teoria względności. Uważam (...) za skandaliczne, żeby w „Postęпах Fizyki”, piśmie Polskie-*

go Towarzystwa Fizycznego, były propagowane takie bzdury. W konkluzji przewodniczący Rady Redakcyjnej wezwał redaktora naczelnego do złożenia wyjaśnień wobec niewywiązania się z *obowiązków dbania o stronę merytoryczną publikowanych treści.* Wraz z tym listem Jerzy Warczewski zamieścił w *Postęпах Fizyki* odpowiedź Lidii Smentek (która otrzymała od niego kopię listu w celu umożliwienia obrony) oraz zadeklarował, że nie zamierza się przed nikim tłumaczyć zarzucając prof. Wróblewskiemu podważanie autorytetu Polskiego Towarzystwa Fizycznego.

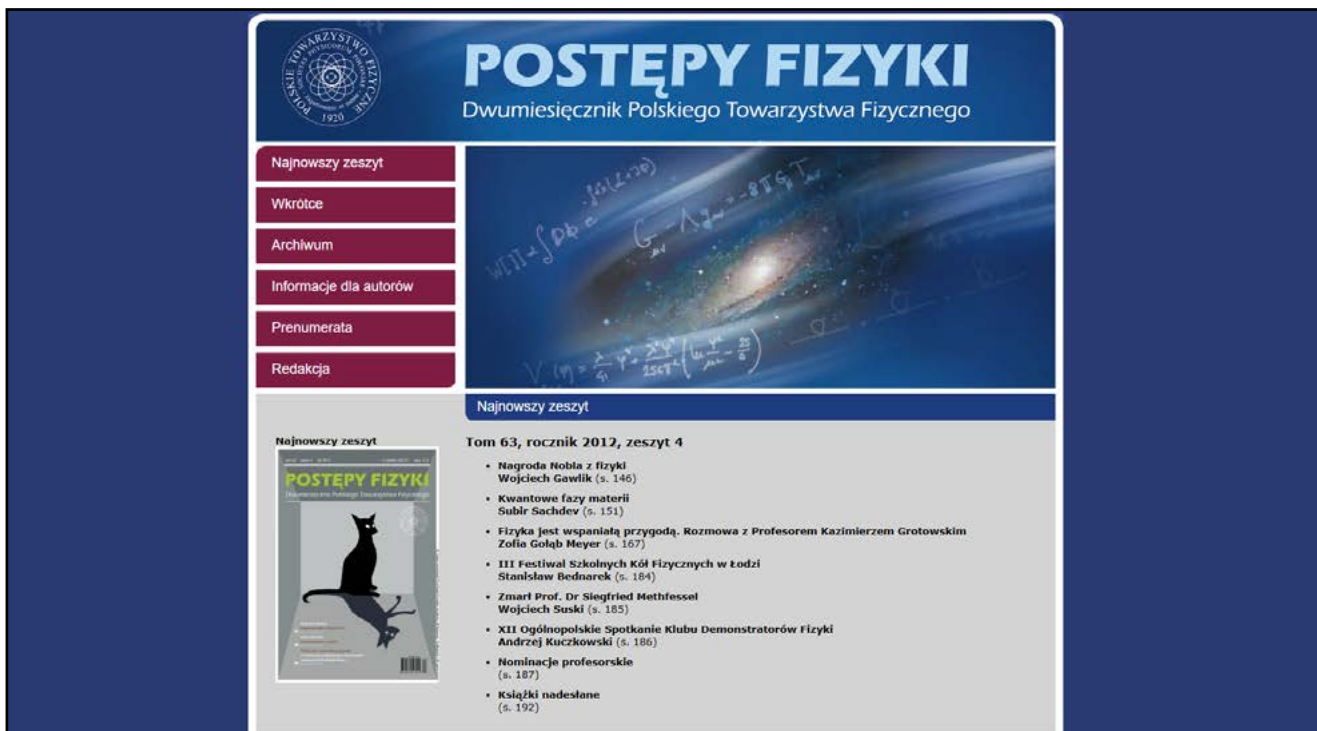
Ta wymiana zdań była odbiciem szerszego problemu, który narastał od dłuższego czasu w związku z interdyscyplinarnymi zainteresowaniami Jerzego Warczewskiego w obszarze związków fizyki ze sztuką, literaturą i muzyką. Tymczasem większość środowiska Polskiego Towarzystwa Fizycznego widziała swoją dziedzinę nauki w bardziej kanoniczny sposób i dryf tematyki *Postępów Fizyki* w kierunku poezji i felietonów okołonaukowych nie zgadzał się z ich wizją pisma. Na tej kanwie dochodziło do wielu konfliktów nawet w ramach Zarządu Głównego PTF, którego Jerzy Warczewski był członkiem.

Wydaje się, że upublicznienie tych spraw w PF 63, 2 przełamało czarę goryczy, bowiem konflikt skończył się błyskawicznie odejściem Jerzego Warczewskiego i prawie całej redakcji z *Postępów Fizyki*. Kolejny zeszyt (PF 63, 3) przygotowała nowa redakcja z Poznania, pod kierunkiem Piotra Tomczaka. W jej składzie pracę kontynuowała jedynie Magdalena Staszal, a wraz nią – Józef Barnaś, Konrad Kapić oraz Maria Marciniak (jako sekretarz). Mimo, że pismo nadal było drukowane w całości w kolorze znikły wszystkie elementy graficzne (co miało związek z odmową udostępnienia szablonów pisma przez Jerzego Warczewskiego). Publikowane treści miały już charakter ściśle naukowy lub stanowiły relacje z wydarzeń takich jak 41. Zjazd Fizyków Polskich w Lublinie czy Olimpiada Fizyczna 2011/2012. Pojawiły się także rozmowy z polskimi fizykami. Przez dwa kolejne zeszyty utrzymany został jeszcze dział „Nominacje profesorskie”, ale znikła „Kronika”, i „Listy do redakcji”. Nowy redaktor naczelny swoją wizję pisma określił jako *miejsce komunikowania, organizowania się i kształtowania tożsamości społeczności fizyków w Polsce oraz artykułowania naszego [Polskiego Towarzystwa Fizycznego] stanowiska w ważnych sprawach.* Podkreślił także, że chciałby, aby pismo stało się *miejscem promowania dobrej dydaktyki fizyki.*

W 2013 roku premierę miała nowa strona internetowa *Postępów Fizyki* pod adresem postepy.ptf.net.pl. Zyskała ona



Rys. 6. Strony pierwszych artykułów w PF 63, 2 pod red. Jerzego Warczewskiego (po lewej) i PF 63, 3 pod red. Piotra Tomczaka (po prawej)



Rys. 7. Strona internetowa Postępów Fizyki (postepy.ptf.net.pl) z 30 maja 2013 r.

bardziej nowoczesny wygląd ilustrowany grafiką oraz udostępniała pełną treść artykułów dla roczników 2005-2009. Na stronie pojawiła się też zakładka „Archiwum” pod którą umieszczone zostały skany wszystkich zeszytów Postępów Fizyki od początku istnienia czasopisma. Cały projekt był możliwy dzięki grantowi przyznanemu przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu Działalność Upowszechniająca Naukę (umowa nr 644/P-DUN/2013) w wysokości 57 tys. zł (+10 tys. zł środków własnych).

Niestety czasu i zdrowia nowemu redaktorowi starczyło tylko na pięć zeszytów. Otwierając tom 64 (2013) przyznał: *Rozpoczynając byłem pełen entuzjazmu, jednak w miarę upływu czasu opóźnienie w wydawaniu kolejnych numerów zwiększało się: okazało się, że zadanie, którego się podjąłem ma dwa oblicza. Otóż z jednej strony jestem zmuszony odmawiać publikowania, natomiast z drugiej strony przypominam potencjalnym autorom o tym, że kiedyś zgodzili się coś napisać dla Postępów. Zakończył konkluzją opartą na słowach prof. Iwona Białynickiego-Biruli (z którym wywiad zamieszczony jest w PF 64, 1): Choć przed wojną PTF nie miało pieniędzy, to jego ranga była ogromna. Czy jest możliwy powrót do tej sytuacji?*

Założenie naukowego profilu pisma sprawiło, że redakcja nie mogła sama tworzyć treści (jak robiła to za poprzednich redaktorów), lecz zależała od nadsyłanych artykułów od naukowców. Niestety te nadchodziły coraz rzadziej. PF 64, 3-6 został wydany jako połączony, a mimo to miał jedynie 47 stron. Tom 65 (2014) z kolei miał formę pojedynczego zeszytu (PF 65, 1-6). Poświęcony był 65-leciu pisma i z tej okazji na okładce znalazła się reprodukcja okładki pierwszego zeszytu w historii (PF 1, 1). Redaktor Tomczak napisał we wstępie (podpisany jako Redakcja): *Obecna, pozorna słabość pisma pozwala również widzieć lepiej, że to, do czego Postępy zostały powołane (...) wymaga ciągłej aktywności. (...) Liczba artykułów spada, w ogólnej opinii Postępy odchodzą do historii, a co więcej, nie do końca potrafimy zatrzymać ten proces. Tkwiący w świadomości czytelników brak odpowiednich wskaźników, którymi Postępy mogłyby się wykazać, wydaje się dyskwalifikować u potencjalnych autorów chęć do poświęcenia swojego*

czasu na napisanie o tym, co dla nich jest istotne i ciekawe. Na potwierdzenie tych słów w grudniu 2013 roku Postępy Fizyki znikły z listy czasopism punktowanych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Tymczasem polityka państwa wymagała od naukowców publikowania w dobrych, punktowanych czasopismach. Fizycy woleli więc poświęcić czas na pisanie publikacji, które liczyłyby się do ich dorobku naukowego, a nie przedstawiać je w „czasopiśmie upowszechniającym wiedzę”. Ten problem trwa do dziś.

W 52-stronicowym numerze PF 65, 1-6 można było przeczytać jedynie o „Kontroli nad fotonami «w pudle»” (Serge Haroche), „Indeterminizmie obliczeniowym w złożonych układach społecznych” (Krzysztof Kułakowski), poszukiwaniach antymaterii w CERNie (Małgorzata Nowina-Konopka) oraz „Pierwszych próbach zastosowania spektroskopii NMR w medycynie” (Genowefa Ślósarek). Dodatkowo zamieszczono stałą rubrykę „Nowi profesorowie” (choć tym razem przyjmuje ona formę listy, a nie biogramów), autobiografię Bronisława Średniawy, jedno wspomnienie oraz listę nagród Polskiego Towarzystwa Fizycznego za rok 2014. Zeszyt uzupełniła szczątkowa kronika. Łącznie osiem artykułów w całym roczniku. Nie można zaprzeczyć, że Postępy Fizyki weszły w największy kryzys w swojej historii.

AUTOR



Dr inż. **Krzysztof Petelczyc** (ORCID: 0000-0002-0138-1613) jest adiunktem na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej, optykiem, popularyzatorem nauki. Zajmuje się zagadnieniami z pogranicza optyki, optometrii oraz pomiarów ludzkiej percepcji. Ma także istotne osiągnięcia w przedstawianiu historii nauki, szczególnie w zakresie opracowania biografii prof. Mieczysława Wolfkego.



A black and white portrait of Wojciech Nawrociak, an older man with glasses, wearing a suit and tie, smiling. The background is slightly blurred, showing what appears to be an outdoor setting with a building.

MACIEJ WIESNER, MAREK SZAFRAŃSKI

(UNIwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Fizyki i Astronomii)

WOJCIECH NAWROCIK (1938–2026)

Z głębokim żalem przyjęliśmy wiadomość o śmierci prof. dr. hab. Wojciecha Nawrociaka – wybitnego fizyka, wieloletniego pracownika Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, dyrektora Instytutu Fizyki oraz dziekana Wydziału Fizyki, a także cenionego nauczyciela akademickiego i popularyzatora nauki.

Profesor Wojciech Nawrociak urodził się 16 stycznia 1938 roku w Lesznie. Studia fizyczne ukończył w 1960 roku na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, z którym związał całe swoje życie zawodowe. Stopień doktora habilitowanego uzyskał w 1980 roku, a tytuł profesora nauk fizycznych w 2002 roku. Do ostatnich lat pozostawał aktywny naukowo, dydaktycznie i popularyzatorsko jako profesor senior Wydziału Fizyki i Astronomii UAM.

Jego zainteresowania badawcze koncentrowały się na obszarze fizyki ciała stałego, w szczególności na fizyce dielektryków oraz dynamice układów molekularnych w fazie skondensowanej. Tworząc Zakład Kryształów Molekularnych, rozwinął badania nad kryształami plastycznymi, materiałami ferroelektrycznymi i relaksorami ferroelektrycznymi, wykorzystując zaawansowane metody eksperymentalne – od rozpraszania neutronów po spektroskopię dielektryczną – w szerokim zakresie temperatur i pod wysokim ciśnieniem. Wyniki tych prac znalazły odzwierciedlenie w licznych publikacjach, które ukazały się w renomowanych czasopismach międzynarodowych.

Profesor Nawrociak był znakomitym wykładowcą, który potrafił porywać studentów swoją pasją, jasnością wyводу i niezwykłą umiejętnością ukazywania piękna fizyki. Prowadził wykłady z mechaniki oraz fizyki fazy skondensowanej, a jego zajęcia wielokrotnie wskazywano jako impuls do wyboru kariery naukowej przez kolejne pokolenia studentów. Równocześnie był inspirującym popularyzatorem nauki – organizował wykłady otwarte, współtworzył europejskie festiwale Physics on Stage i Science on Stage, a za działalność popularyzatorską został uhonorowany m.in. nagrodą Polskiej Agencji Prasowej i Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Popularyzator Nauki” oraz Nagrodą Polskiego

Towarzystwa Fizycznego im. Krzysztofa Ernsta za Popularyzację Fizyki. W latach 1984–1985 wspierał również działalność dydaktyczną i naukową Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Zielonej Górze, dzieląc się swoją wiedzą i doświadczeniem z tamtejszym środowiskiem akademickim.

Był oddanym współpracownikiem i przyjacielem środowiska szkolnego. W 1991 roku współorganizował zaoczne studia doktoranckie dla nauczycieli fizyki, przyczyniając się do rozwoju ich kompetencji naukowych i dydaktycznych.

Profesora Nawrociaka zapamiętamy nie tylko jako wybitnego uczonego i nauczyciela, lecz także człowieka w najszerszym tego słowa znaczeniu – uważnego na innych, gotowego pomagać nie tylko w sprawach naukowych i zawodowych, ale również w trudnościach codziennego życia. Wielu z nas zawdzięcza Mu życzliwe słowo, mądrą radę i ciche wsparcie w ważnych momentach.

Pełnił liczne funkcje organizacyjne, w tym funkcję dyrektora Instytutu Fizyki (1987–1990) oraz dziekana Wydziału Fizyki UAM (1993–1999), doprowadzając w tym czasie do ukończenia budowy Collegium Physicum na kampusie Morasko. Aktywnie współpracował ze Zjednoczonym Instytutem Badań Jądrowych w Dubnej, uczestniczył w pracach gremiów naukowych i ministerialnych oraz angażował się w rozwój międzynarodowej współpracy akademickiej.

Za swoje zasługi został odznaczony m.in. Medalem *Homini Vere Academico* przyznawanym przez Rektora Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu oraz Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski. Był członkiem honorowym Polskiego Towarzystwa Fizycznego oraz Honorowym Obywatel Miasta Leszna.

Dorobek Profesora stanowi trwałą część historii polskiej fizyki akademickiej. Łączył w swojej działalności rzetelne badania naukowe, odpowiedzialne przywództwo instytucjonalne oraz pasję dzielenia się wiedzą. Pozostanie w pamięci współpracowników, studentów i uczniów jako uczony wielkiego formatu, nauczyciel z powołania i człowiek głęboko oddany nauce.

MÓJ PROFESOR

Rzadko się zdarza, aby jeden człowiek miał tak olbrzymi, pozytywny wpływ na życie tak wielu. Trzeba do tego niezwyklej charyzmy, kultury osobistej, niekłamanej, naturalnego zaangażowania, olbrzymiej wiedzy i serca. Dla wielkiej rzeszy polskich fizyków – naukowców, szkolnych i akademickich dydaktyków fizyki, ale i dla nauczycieli innych przedmiotów przyrodniczych, takim właśnie mentorem był profesor Wojciech Nawrociak, który własną pasją i miłością do fizyki potrafił skutecznie zarażać otoczenie.

Gdy sformułowanie „kreatywne działanie” nie było jeszcze popularne prof. Nawrociak już wcielał je w życie organizując na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu krajowe festiwale „Fizyka na scenie”, a później „Nauki przyrodnicze na scenie”. To dzięki Niemu polscy nauczyciele jako reprezentanci kraju mieli szansę na konfrontację swoich pomysłów oraz dzielenie się wiedzą i doświadczeniem z nauczycielami europejskimi podczas międzynarodowych festiwali „Physics on Stage” oraz „Science on Stage”. Prof. Wojciech Nawrociak uczył nauczycieli wiary w siebie i we własne możliwości podkreślając, że w niczym nie są gorsi od innych, a nawet w wielu dziedzinach są lepsi. Ten sposób myślenia już wkrótce przyniósł owoce, tj. międzynarodowe nagrody i wyróżnienia dla polskich nauczycieli, międzynarodowe projekty dydaktyczne realizowane na szeroka skalę oraz zwykłe ludzkie przyjaźnie. Niejako przy okazji, dzięki udziałowi w festiwalach, wielka grupa nauczycieli fizyki miała szansę naocznie doświadczyć jak pracuje się we wiodących europejskich laboratoriach takich jak CERN, ESA czy ESRF. Profesor był również inicjatorem wyjazdów szkoleniowych polskich nauczycieli do Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej.

Spotkania z nauką na najwyższym poziomie, udział w wykładach, rozmowy z ludźmi nauki – to wszystko na pewno wpłynęło na jakość pracy uczestniczących w tych szkoleniach nauczycieli. Na zasadzie domina zdobyta w ten sposób rzetelna wiedza trafiała dalej. Nauczyciele przekazywali ją swoim uczniom, zarażając ich swoją pasją na tyle, by zdecydowali się uczestniczyć w olimpiadach fizycznych oraz astronomicznych, konkursach młodych naukowców i turniejach fizycznych zdobywając w nich niekiedy również międzynarodowe uznanie.

W gronie nauczycieli, wielokrotnych uczestników Festiwalu „Science on Stage” odnaleźć można dziś aż czterech profesorów oświaty oraz wielu doradców metodycznych, którzy teraz dzielą się swoją wiedzą z innymi nauczycielami w swoich miastach i miasteczkach.

Niewiele osób wie, że prof. Wojciech Nawrociak obok swojej działalności naukowej był również współautorem przeprowadzonych w 16 europejskich krajach badań edukacyjnych dotyczących miejsca nauk przyrodniczych w europejskich systemach edukacyjnych „Comparison of European science education systems” (2015), a następnie (przy współudziale naukowców z Wielkiej Brytanii) w azjatyckich systemach edukacyjnych „Comparison of Asian Science Education Systems” (2016). Wyniki tych badań prezentowane były na międzynarodowych konferencjach w Londynie oraz w Wiedniu.



Od lewej: śp. Wojciech Nawrociak, Aneta Mika, Grzegorz Musiał, Maria Dobkowska, Jerzy Jarosz

To prof. Wojciech Nawrociak jako pierwszy dostrzegł też wielki potencjał polskich demonstratorów fizyki. 25 lat temu po raz pierwszy zaprosił małe zespoły uczelnianych pasjonatów eksperymentowania na Wydział Fizyki UAM do Poznania. Spotkanie to zaowocowało powstaniem Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki, który prężnie działa do dziś. Spotkania Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki organizowane corocznie na polskich uczelniach są prawdziwym świętem eksperymentu fizycznego. Stanowią dla uczestników platformę wymiany pomysłów i bazę do cennej współpracy.

Profesor od zawsze promował polską dydaktykę fizyki. Jako jeden z pierwszych dołączył też do nowopowstałej w 2025 roku ramach Polskiego Towarzystwa Fizycznego Sekcji Dydaktyki Fizyki i z zaangażowaniem śledził oraz mentalnie wspierał działalność tej Sekcji. Co ciekawe członkowie zarządu Sekcji prawie w stu procentach należą do założonego przez Profesora Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki. Dla nich wszystkich był on od zawsze niekwestionowanym mentorem. To między innymi dzięki wsparciu profesora Wojciecha Nawrocika, a następnie dzięki jego pozytywnej recenzji ponad dwadzieścia lat temu współzałożycielka (i obecnie przewodnicząca) Sekcji Dydaktyki Fizyki miała możliwość uzyskania tytułu doktora nauk fizycznych z zakresu... dydaktyki fizyki. W tamtych czasach było to przedsięwzięcie wręcz nierealne.

Nie wolno nam jednak zapominać o tym, że profesor Nawrociak był przede wszystkim wybitnym naukowcem. W latach 2004-2010 wchodził w skład Zespołu Nauk Ścisłych przyznających granty w ramach Komitetu Badań Naukowych. Były to czasy pionierskie tworzenia systemu, który nieco później przekształcił się w Narodowe Centrum Nauki.

Jako pierwszy dziekan Wydziału Fizyki UAM był inicjatorem powstania Forum Dziekanów Wydziałów Fizyki i Dyrektorów Instytutów Fizyki. Spotkania Forum odbywają się nadal cyklicznie, a ich celem jest dobro polskiej fizyki oraz nieustanna dbałość o jej wysoką jakość. Mają one też cel czysto ludzki – mocno konsolidują polskich fizyków i sprzyjają nawiązywaniu międzyuczelnianej współpracy.

Nie sposób wymienić w jednym miejscu wszystkich zasług Profesora Wojciecha Nawrocika. Na jedną jednak trzeba zwrócić szczególną uwagę. Profesor potrafił jednoczyć ludzi. Wiele osób wciąż mówi o Nim nie inaczej jak: „mój Profesor”. Był wizjonerem. Widział, że tylko razem da się zrobić więcej i lepiej. Był niezwykle, światłą i wybiegającą mentalnie w przyszłość osobowością, ale przede wszystkim był życzliwym i dobrym człowiekiem. Takim Go zapamiętamy.



16 lutego 2026 r. fizyka w Polsce poniosła bolesną stratę – odszedł prof. dr hab. Jan Żylicz, wybitny fizyk jądrowy.

Jan Lubart Żylicz urodził się 7 stycznia 1932 r. w Górze, w powiecie wejherowskim na Kaszubach. Czas drugiej wojny światowej spędził na Lubelszczyźnie. Naukę w liceum ogólnokształcącym zaczął w Lublinie, ale skończył w Olsztynie, gdzie zdał maturę w 1950 r. Jako laureat I ogólnopolskiej Olimpiady Matematycznej rozpoczął studia fizyczne na Uniwersytecie Warszawskim. Zakończył je w 1955 r. pracą maderską na temat budowy spektrometru beta o dużej świetlności, wykonaną pod kierunkiem Andrzeja Sołtana. Następnie pracował w zespole prof. Sołtana w Instytucie Badań Jądrowych, zajmując się głównie przemianami beta jąder silnie zdeformowanych. Na podstawie tych badań powstała rozprawa doktorska poświęcona promieniotwórczości izotopów ziem rzadkich, obroniona na Uniwersytecie Warszawskim w 1961 r. Ponieważ Andrzej Sołtan zmarł w 1959 r., na promotora rozprawy wyznaczono Zdzisława Wilhelmię. Po doktoracie Jan Żylicz odbył dłuższy staż naukowy w Instytucie Nielsa Bohra w Kopenhadze (1963–1965), który wówczas był ośrodkiem o światowej sławie. Pracował tam w kręgu oddziaływania wybitnych fizyków: Aage Bohra i Bena Mottelsona, którzy w 1975 r. otrzymali nagrodę Nobla. Podczas pobytu w Kopenhadze Jan Żylicz poznał swoją żonę Elżbietę i tam też przyszedł na świat ich syn Olaf. Ważnym wynikiem naukowym uzyskanym w Kopenhadze było wskazanie roli efektu Coriolisa w obracających się jądrach atomowych. Na tej podstawie Jan Żylicz uzyskał habilitację na Wydziale Fizyki UW w 1967 r. W latach 1970–1971 odbył kolejny dłuższy staż naukowy, tym razem w Europejskim Centrum Badań Jądrowych CERN w Genewie. Tam zainteresował się badaniami nuklidów bardzo dalekich od ścieżki trwałości beta przy użyciu separatora izotopów na wiązkę, co wywarło znaczny wpływ na jego dalszą działalność.

W 1972 roku na zaproszenie Jerzego Pniewskiego, ówczesnego dyrektora Instytutu Fizyki Doświadczalnej, Jan Żylicz rozpoczął pracę na Wydziale Fizyki Uniwersyte-

tu Warszawskiego, z którym pozostał związany do końca. Powierzono mu utworzenie od podstaw nowego Zakładu Spektroskopii Jądrowej (ZSJ) – kierował nim przez kolejne 22 lata. W styczniu 2014 r., w związku z przeprowadzką Wydziału Fizyki z Hożej 69 na Pasteura 5, ZSJ połączył się z drugim zakładem jądrowym Wydziału Fizyki, tworząc obecny Zakład Fizyki Jądrowej. W roku 1974 Jan Żylicz uzyskał tytuł naukowy profesora. W latach 1978–1979 oraz 1986–1987 pracował w niemieckim ośrodku badań ciężkojonowych GSI w Darmstadt. Bliska i wieloletnia współpraca z tym ostatnim laboratorium odegrała bardzo ważną rolę w rozwoju naukowym pracowników ZSJ, z których wielu (w tym autor tego wspomnienia) odbyło tam staże podoktorskie. Umożliwiły to relacje nawiązane przez Jana Żylicza, szczególnie z profesorami Ernstem Roecklem i Gottfriedem Münzenbergiem. W latach 1981–84 prof. Żylicz pełnił funkcję wicedyrektora, a w latach 1994–2002 dyrektora Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW. Od 1984 roku był członkiem Towarzystwa Naukowego Warszawskiego.

Główną dziedziną twórczości naukowej Jana Żylicza była spektroskopia promieniowania jądrowego jako narzędzie badania struktury jąder atomowych. Zaproponował i rozwinął szereg dużych projektów badawczych. Należy do nich badanie korelacji oktapolowych w jądrach aktywnych. Prace te, prowadzone we współpracy z uniwersytetami w Aarhus i w Moguncji, były do pewnego stopnia pionierskie i przyczyniły się do wzrostu zainteresowania tą tematyką teoretyków i eksperymentatorów w Polsce i za granicą. Szczególną uwagę poświęcił nuklidom egzotycznym, bardzo dalekim od ścieżki trwałości beta. Tu przykładem może być szeroko zakrojony program badań przejść Gamowa-Tellera w rejonie podwójnie magicznego izotopu cyny ^{100}Sn , realizowany głównie w GSI Darmstadt, ale też w ILL Grenoble, na Uniwersytecie Jyväskylä i w CERN-ISOLDE. Jan Żylicz miał też dar inicjowania wartościowych programów naukowych możliwych do realizacji w kraju, w skromnych warunkach aparaturowych, jakie mieliśmy w Warszawie u schyłku epoki PRL. Opracował na przykład nową metodę pomiaru jonizacji powłoki K przez cząstki naładowane, która stosowana na warszawskim

akceleratorze Van de Graaffa przez wiele lat przyniosła szereg wyników o dużym znaczeniu aplikacyjnym. Interesowały Go też zjawiska na pograniczu fizyki jądrowej i atomowej. Z jego inicjatywy powstał program badania radiacyjnego wychwyty elektronu w przemianach wzbronionych. Do najbardziej oryginalnych i wartościowych osiągnięć Jana Żylicza należą prace poświęcone niezwykle stanowi izomerycznemu w nuklidzie ^{229}Th , a w szczególności idea oscylacji zmieszania spinów w stanach wodoropodobnego jonu $^{229}\text{Th}^{89+}$. Prace te wyprzedziły swój czas – próby potwierdzenia przewidzianych przez Niego zjawisk są teraz prowadzone na pierścieniu kumulacyjnym ESR w GSI Darmstadt.

O autorytecie Jana Żylicza w środowisku naukowym wymownie świadczy to, że był autorem ponad stu recenzji doktorskich, habilitacyjnych i profesorskich. W 2005 roku Polskie Towarzystwo Fizyczne przyznało mu swoje najwyższe wyróżnienie – Medal Mariana Smoluchowskiego, a Europejskie Towarzystwo Fizyczne uhonorowało go tytułem EPS fellow. Został też odznaczony Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski.

Jan Żylicz był znakomitym dydaktykiem. Uznanie słuchaczy zdobywał klarownością wywodu i naciskiem na ukazywanie sedna problemów. Szczególną wagę przykładął do opieki nad młodą kadrą. Miał zawsze czas i cierpliwość dla doktorantów i początkujących badaczy. Traktował ich po-

ważnie, ale z życzliwością – dopingował ich i wspierał. Wysyłał na międzynarodowe konferencje i pomagał w organizacji wyjazdów stażowych do najlepszych ośrodków zachodnich, co było szczególnie ważne w czasach, gdy nie było to tak proste jak dziś. Przez niemal 40 lat prowadził środowiskowe seminarium poświęcone fizyce ciężkich jonów i spektroskopii jądrowej. Wyrazem uznania dla jego talentu dydaktycznego były zaproszenia do wygłoszenia wykładów kursowych na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu oraz na Uniwersytecie Łódzkim, subsydiowane przez Fundację na Rzecz Nauki Polskiej (program NESTOR). Jan Żylicz wychował wielu uczniów. Na Uniwersytecie Warszawskim wypromował 17 magistrów i 12 doktorów. Spośród tych ostatnich, sześciu zostało profesorami fizyki. Ich osiągnięcia sprawiały mu prawdziwą radość i napawały dumą. Znamienne jest to, że jako swoje główne osiągnięcie uznawał stworzenie warunków do rozwoju naukowego swoich młodszych kolegów. Nie ma przesady w stwierdzeniu, że był twórcą warszawskiej szkoły spektroskopii jądrowej.

Jan Żylicz był ciepłym, życzliwym człowiekiem o wielkiej kulturze. Cechowało go subtelne poczucie humoru. Mawiał, że profesorowie dzielą się na zwyczajnych i nienadzwyczajnych. Dla nas, jego uczniów, był zawsze profesorem nadzwyczajnym, w ścisłym tego słowa znaczeniu. Praca z nim dawała nam poczucie sensu, ogromną satysfakcję i wielką radość. W naszej pamięci zostanie na zawsze jako wzór uczonego i nauczyciela.



MACIEJ GÓRSKI, PIOTR GOLDSTEIN
(NARODOWE CENTRUM BADAŃ JĄDROWYCH)

HELENA BIAŁKOWSKA (1940–2025)

Profesor Helena Białkowska, przez przyjaciół i kolegów zwana Leną, urodziła się w Krakowie 25 kwietnia roku 1940 jako córka astronoma prof. Stefana Piotrowskiego oraz Zofii Smoleńskiej. Dziadek, profesor Jerzy Smoleński, znany polski geograf, nie dożył narodzin wnuczki: aresztowany w listopadzie 1939 w Sonderaktion Krakau, zmarł w obozie Sachsenhausen w styczniu 1940 roku. W domu wysoko ceniono naukę, co odnosiło się przede wszystkim do nauk ścisłych. *Wszelkie inne traktowano z szacunkiem, ale z leciutkim powątpiewaniem, czy to jest nauka* – tak jego atmosferę opisała Lena w rozmowie z Magdaleną Bajera (M. Bajera „Rody uczone – Kreski do szkicu”).

Profesor Białkowska ukończyła studia na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Po studiach pracowała najpierw na Uniwersytecie Warszawskim, później w Instytucie Badań Jądrowych. Jej mężem był fizyk-teoretyk Grzegorz Białkowski, który w trudnych warunkach po stanie wojennym objął funkcję rektora Uniwersytetu Warszawskiego, a w wyborach 4 czerwca 1989 został wybrany na senatora; niestety, zmarł przed zaprzysiężeniem Senatu. Syn Leny – Aleksander zwany Alo, archiwista, zmarł w roku 2023. Córka Jej, Weronika Śliwa ukończyła astronomię i pracuje w Centrum Nauki Kopernik jako popularyzatorka nauki.



Przez cały czas aktywności naukowej Lena Białkowska pracowała w kilkunastoosobowym zespole zajmującym się fizyką cząstek elementarnych i wysokich energii, składającym się z pracowników Uniwersytetu Warszawskiego oraz Instytutu Badań Jądrowych. Zespół ten do lat siedemdziesiątych prowadził badania przy zastosowaniu komór pęcherzykowych, głównie wodorowych. Analizowane dane pochodziły przede wszystkim z europejskiego laboratorium CERN w Genewie, a także z laboratoriów radzieckich (badanie zderzeń ciężkich jonów w Dubnej oraz mezonów π – w propanowej komorze pęcherzykowej w Sierpuchowie) i z amerykańskiego FNAL (Fermilab) niedaleko Chicago. Od lat siedemdziesiątych prof. Białkowska interesowała się głównie oddziaływaniami protonów z jądrami atomowymi oraz zderzeniami ciężkich jonów. Jest autorką lub współautorką prawie 1500 prac, większość z nich pochodzi z eksperymentu CMS (Compact Muon Solenoid) na akceleratorze LHC i pokrewnych eksperymentów prowadzonych w CERNie (NA22 – European Hybrid Spectrometer, NA35 – wysokoenergetyczne zderzenia jąder, NA49 – plazma kwarkowo-gluonowa). Oprócz tego opublikowała kilkanaście prac natury fenomenologicznej.

W CERNie prof. Białkowską ceniono wysoko. Przez cztery lata była członkiem SPSC – komitetu CERNowskiego zajmującego się rozdziałem czasu pracy akceleratora SPS (Super Proton Synchrotron) oraz akceptacją składanych projektów eksperymentów.

W Polsce Profesor Białkowska pełniła szereg ważnych funkcji naukowych. Była m.in. Sekretarzem Generalnym Polskiego Towarzystwa Fizycznego, wiceprzewodniczącą Rady Naukowej Instytutu Problemów Jądrowych, członkinią Komitetu Fizyki PAN oraz Rady Naukowej Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW.

Przez osiem lat współpracowaliśmy w czasie, gdy Lena była kierowniczką Zakładu Fizyki Wielkich Energii, a ja – jej zastępcą. Współpraca ta zawsze układała się bardzo dobrze – wspomina Maciej Górski. – Była ona osobą głębokiej wiedzy, zawsze zgłębiała zagadnienia, którymi się zajmowała, chętnie udzielała porad osobom ich potrzebującym.

Prof. Białkowska niezbyt często występowała publicznie, ale Jej wykłady cieszyły się świetną opinią – słuchacze podkreślali, że miała talent jasnego przedstawiania złożonych problemów. Przy swoich znaczących osiągnięciach, była osobą wielkiej skromności; z reguły usuwała się na drugi plan, żeby nikomu nie zająć pierwszego miejsca.

Prof. Lena Białkowska była też cenioną tłumaczką. Przełożyła na język polski m.in. popularną książkę Feynmana „QED. Osobliwa teoria światła i materii”, „Teorię wszystkiego” Jeremiego Bernsteina i (z Zofią Królikowską) „Wstęp do fizyki wysokich energii” Donalda Perkinsa.

Lena Białkowska była współzałożycielką NSZZ „Solidarność” w IBJ na Hożej w 1980 roku i pozostała w Związku do końca swojej pracy w NCBJ. Nie była typowym działaczem związkowym, raczej służyła za głos rozsądku, m. in. przeciw pokusom angażowania się w działalność polityczną w czasach wolnej już Polski. Nie do przecenienia była natomiast Jej praca w rozsyłanym pocztą elektroniczną, bezpłatnym dzienniku o przewrotnym tytule „Donosy”, wydawanym wprawdzie nie w ramach Związku, ale bardzo w duchu „Solidarności”. W roku 1994 została ich redaktorką naczelną i pełniła tę funkcję do końca istnienia pisma (którego w sumie wyszło 6949 numerów!). W czasach, gdy jeszcze obowiązywała cenzura, „Donosy” niosły wolne słowo, a przez cały czas przekazywały nieinteresujące prasy zagranicznej, a upragnione przez przebywających za granicą rodaków, informacje z kraju lub bezpośrednio z krajem związane. Początkowo odbiorcami pisma byli głównie fizycy, potem grono czytelników rosło. Już po dwóch latach „Donosy” miały 1600 abonentów; w szczycie wysyłano je do 3500 odbiorców, a prawdziwa liczba czytelników była o wiele większa, bo każdy numer był czytany co najmniej przez kilka osób. Publikowane w „Donosach” teksty były arcydziełem zwięzłości, promieniowały też charakterystycznym dla Leny, delikatnym a celnym humorem. Można było w nich przeczytać o wszystkim – od ważnych spraw międzynarodowych, pod znaczącym tytułem „To nas dotyczy” – po wiadomości o kwiatach, które zakwitły w Warszawie i o tym, że *wreszcie pojawiły się kapelusze w tramwajach*. Tak podsumowała Lena swoją działalność Naczelnaj „Donosów”, w „PAUzie” – tygodniku Polskiej Akademii Umiejętności:

W pewnym sensie – jest trudno. Niesamowita gęstość informacji, opinii, poglądów – i faktów. Ale staramy się wyciągać informacje, tak jakbyśmy chcieli je przekazać znajomym. I sami się trochę zmieniamy (...). Dlaczego wciąż piszemy: 1. Przyzwyczailiśmy się. 2. Może to się komuś przydaje. Przydaje się i nam – trzeba spojrzeć na ten cały bałagan i wyłowić, co ważne. 3. Lubimy to...

Ci, którzy znali prof. Lenę Białkowską, będą zawsze wspominać Jej prawość i dzielność, pogodną naturę, poczucie humoru, głęboką wiedzę i zaangażowanie w sprawy społeczne.



KRONIKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

STYCZEŃ – LUTY 2026



WARSZAWA: Nowi profesorowie fizyki

7 stycznia 2026 r. Prezydent RP Karol Nawrocki wręczył akty nominacyjne 112 nowym profesorom; w gronie nominowanych znaleźli się także dwaj naukowcy, Krzysztof Gibasiewicz (Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu) oraz Krzysztof Piotrzkowski (Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie), którym nadano tytuł profesora nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Prof. UAM dr hab. Krzysztof Gibasiewicz jest związany z Zakładem Biofizyki Molekularnej na UAM, gdzie prowadzi badania na styku fizyki i biologii. W swojej pracy koncentruje się na mechanizmach transportu elektronów i pierwotnych procesach rozdziału ładunku w układach fotosyntetycznych, w tym w kompleksie fotosystemu I, co znajduje odzwierciedlenie zarówno w tematyce jego prac, jak i w prowadzonych przez niego kierunkach kształcenia młodych badaczy. Równolegle rozwija nurt badań aplikacyjnych, w którym białka fotosyntetyczne są integrowane z materiałami funkcjonalnymi w celu budowy bio-fotoelektrod i rozwiązań dla fotowoltaiki/fotoelektrochemii.

Prof. dr hab. Krzysztof Piotrzkowski jest fizykiem doświadczalnym zajmującym się badaniem oddziaływań cząstek elementarnych, ze szczególnym uwzględnieniem fotonów wysokich energii i rozwoju metod ich pomiaru. W ramach swojej aktywności zaproponował i doprowadził do uruchomienia specjalistycznych detektorów instalowanych blisko wiązek akceleratorów HERA i LHC, a obecnie uczestniczy również w przygotowaniach eksperymentów dla przyszłych zderzaczy elektronowo-hadronowych EIC oraz LHeC. Jest także współautorem prac koncepcyjnych dotyczących programu elektronowo-hadronowego w otoczeniu infrastruktury LHC. Redakcja Biuletynu PTF składa obu Profesorom serdeczne gratulacje oraz życzenia dalszych sukcesów naukowych i dydaktycznych.

POZNAŃ: Forum Dziekanów Wydziałów Fizyki i Dyrektorów Instytutów Fizyki

W dniach 9–10 stycznia 2026 r. na Wydziale Fizyki i Astronomii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu odbyło się XXXV Ogólnopolskie Forum Dziekanów Wydziałów Fizyki i Dyrektorów Instytutów Fizyki — cykliczne spotkanie poświęcone najważniejszym zagadnieniom związanym



z działalnością naukową i dydaktyczną w naukach fizycznych, edukacją fizyki oraz perspektywami rozwoju tej dyscypliny w Polsce. Forum, powołane w 1999 r. z inicjatywy prof. Wojciecha Nawrocika, otworzyli prof. Michał Banaszak, prorektor UAM ds. Cyfryzacji i Współpracy z Gospodarką, oraz prof. Ireneusz Weymann, dziekan Wydziału Fizyki i Astronomii UAM, a wykład inauguracyjny o kontekście i znaczeniu Nagrody Nobla z fizyki za 2025 r. wygłosił prof. Adam Miranowicz. Istotną część obrad poświęcono systemowi oceny nauki i kształcenia: o ewaluacji działalności naukowej mówił prof. Zbigniew Kąkol, o akredytacji kierunków studiów — prof. Jacek Tarasiuk, o postępowaniach awansowych — prof. Marcin Hoffmann, a problematykę awansów naukowych w dydaktyce nauk ścisłych przedstawili dr Edyta Juskowiak i prof. Tomasz Łuczak. Wiele miejsca zajęła także dyskusja o nauczaniu fizyki na różnych poziomach edukacji, z udziałem dr Anety Miki, dr. hab. Krzysztofa Turzyńskiego i dr. hab. Wojciecha Wróbla. O bieżących sprawach środowiska mówili ponadto prof. Stanisław Kistryn, prof. Tomasz Dietl i prof. Maciej Maśka. Podczas Forum odbyła się również sesja prezentacji wydziałów i instytutów fizyki z różnych ośrodków w Polsce. Spotkanie zakończyła dyskusja podsumowująca, w której podkreślono potrzebę wspólnych działań środowiska fizyków w obszarze badań i kształcenia oraz powołano nowe Prezydium Forum.



WARSZAWA: Seminarium dla nauczycieli fizyki „Zmiany w podstawie programowej szkoły podstawowej”

10 stycznia 2026 r. na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego odbyło się kolejne spotkanie w ramach Seminarium dla nauczycieli fizyki poświęcone zagadnieniom nowej podstawy programowej fizyki w szkole podstawowej.

Wydarzenie skierowane było do nauczycieli oraz osób zaangażowanych w przygotowywanie materiałów dydaktycznych i programów nauczania.

Podczas seminarium wystąpili Monika Kokosza (Szkoła Podstawowa Fundacji Szkolnej) oraz Marcin Braun (Instytut Badań Edukacyjnych) – współautorzy podstawy programowej z fizyki dla szkoły podstawowej. Prelegenci przedstawili główne założenia nowego dokumentu, omówili zakres wprowadzanych zmian oraz ich konsekwencje dla praktyki szkolnej, w tym doboru treści, akcentów dydaktycznych i sposobów realizacji zagadnień fizycznych na tym etapie edukacyjnym.

Spotkanie stworzyło przestrzeń do dyskusji nad celami nauczania fizyki w szkole podstawowej oraz nad wyzwaniem, jakie niosą ze sobą planowane zmiany programowe. Seminarium wpisuje się w stały cykl działań Wydziału Fizyki UW wspierających nauczycieli w aktualizacji wiedzy merytorycznej i dydaktycznej oraz w dostosowywaniu nauczania do zmieniających się ram programowych.

ZIELONA GÓRA: Wykład pt. „Galinstan – ciekły metal do zastosowań w elastycznej elektronice”

14 stycznia 2026 r. w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Zielonogórskiego odbył się wykład pt. „Galinstan – ciekły metal do zastosowań w elastycznej elektronice”, zorganizowany wspólnie przez Instytut Fizyki UZ i Zielonogórski Oddział Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Prelegentem był dr Maciej Marć, adiunkt w Zakładzie Fizyki Materiałowej i Medycznej Instytutu Fizyki UZ, zajmujący się badaniami w obszarze nauk fizycznych. Wystąpienie poświęcono właściwościom galinstanu – bezpiecznego i nietoksycznego stopu galu, indu i cyny, który pozostaje ciekły w temperaturze pokojowej, a zarazem cechuje się wysoką przewodnością elektryczną. Jak podawali organizatorzy, podczas wykładu omówiono metody kształtowania z ciekłego metalu struktur submikrometrowych, rolę podłoża i warstwy tlenkowej w tworzeniu stabilnych ścieżek przewodzących oraz możliwe zastosowania tego materiału, obejmujące m.in. elastyczne sensory biomedyczne i miękką robotykę. Spotkanie wpisywało się w popularyzatorską i środowiskową działalność Zielonogórskiego Oddziału PTF oraz Instytutu Fizyki UZ, pokazując, jak współczesna fizyka materiałowa łączy badania podstawowe z perspektywami praktycznych zastosowań w nowoczesnej elektronice.



KRAKÓW: Naukowe Czwartki

15 stycznia 2026 r. odbył się kolejny wykład popularnonaukowy z cyklu „Naukowe Czwartki”. Spotkania te, organizowane raz w miesiącu na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UJ, skierowane są do uczniów starszych klas szkół podstawowych i szkół ponadpodstawowych oraz ich nauczycieli.

Tym razem dr Witold Zawadzki wystąpił z prelekcją pt. „Jak (nie) zabić własnego dziadka? Fizyka podróży w czasie dla kinomanów”. Podróże w czasie to jeden z najbardziej fascynujących motywów w kinie, ale ile w nich prawdy, a ile czystej fantazji? Podczas spotkania przeanalizowano popularne teorie fizyczne przez pryzmat wielkich produkcji filmowych. Uczestnicy dowiedzieli się, czy mechanika kwantowa pozwala na tworzenie alternatywnych linii czasowych i czy podróże do przeszłości jest w ogóle możliwa. To nie była kolejna nudna lekcja fizyki, lecz pasjonująca wyprawa przez czarne dziury, pętle czasu i uwielbiane przez wszystkich filmowe hity.



LUBLIN: American Corner Energy Security Debate

15 stycznia 2026 r. na Wydziale Matematyki, Fizyki i Informatyki UMCS odbyło się kolejne spotkanie z cyklu American Corner Energy Security Debate. Oś dyskusji stanowiło pytanie: „Czy w Polsce jest zapewnione bezpieczeństwo radiacyjne?”. Cykl ma formułę debat drużynowych i towarzyszy mu komponent popularyzatorsko-edukacyjny, w tym zachęta do sięgnięcia po zapis transmisji z wcześniejszego spotkania.

W tym miesiącu mocno wybrzmiał także wymiar dydaktyczny: debata była okazją do przybliżenia uczniom kierunku studiów „bezpieczeństwo radiacyjne” prowadzonego na WMFiI UMCS. W wydarzeniu uczestniczą nie tylko uczniowie, studenci i kadra akademicka, ale również specjaliści z sektora publicznego i prywatnego. Po debacie uczniowie mogą pytać ekspertów o specyfikę pracy i budowanie ścieżki zawodowej w obszarach powiązanych z tematyką bezpieczeństwa i energetyki.

KRAKÓW: Pokaz filmu „Aż poleje się krew” z komentarzem naukowym

Kolejny pokaz z cyklu „Filmy Bliżej Nauki” odbył się 20 stycznia 2026 roku. Tym razem goście Wydziału obejrzelili film „Aż poleje się krew” w reżyserii Paula Thomasa Andersona. To mocna i bezkompromisowa historia o początkach przemysłu naftowego w Stanach Zjednoczonych oraz o władzy, pieniądzu i konsekwencjach, jakie niesie ze sobą pogoń za zyskiem. Film opowiada o Danielu Plainviewie – przedsiębiorcy, który buduje swoje naftowe imperium, stopniowo tracąc więzi z ludźmi i moralne hamulce. Produkcja jest często uznawana za jedno z najważniejszych dzieł współczesnego kina i została nagrodzona dwoma Oscarami, m.in. za rolę główną Daniela Day-Lewisa.

Tradycyjnie przed seansem odbył się komentarz naukowy, w którym omówiono rzeczywiste realia wydobywania ropy naftowej, wpływ tej działalności na środowisko oraz to, w których momentach filmowa wizja rozmija się z wiedzą naukową. Komentarz wygłosiła dr inż. Kinga Jarosz z Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego, badaczka zajmująca się relacjami człowiek–środowisko oraz wpływem działalności przemysłowej na otoczenie.

KRAKÓW: Odznaczenia Państwowe dla pracowników Instytutu Fizyki Jądrowej PAN

Rok w Instytucie Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk rozpoczął się od ceremonii wręczenia odznaczeń państwowych nadanych pracownikom przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej na wniosek Prezesa Polskiej Akademii Nauk. W imieniu Prezesa PAN aktu dekoracji dokonała prof. dr hab. inż. Natalia Sobczak, wiceprezes Polskiej Akademii Nauk. Złotym Krzyżem Zasługi odznaczeni zostali Marek Stefan Scholz i Marta Jadwiga Wolny-Marszałek, Brązowym Krzyżem Zasługi: Barbara Dzieża, Katarzyna Górską, Andreas Ferdinand Willem van Hameren, Krzysztof Marian Korcyl, Władysław Piotr Kowalski, Wojciech Andrzej Królas, Jerzy Robert Łukasik oraz Agnieszka Panek, Medalem Srebrnym za Długoletnią Służbę: Małgorzata Borek i Katarzyna Anna Cerek, a Medalem Brązowym za Długoletnią Służbę: Dominika Joanna Perek. Po zakończeniu ceremonii dyrektor IFJ PAN, prof. Tadeusz Lesiak, wygłosił seminarium pt. „Quo vadis European Particle Physics”, w którym nakreślił perspektywy rozwoju fizyki cząstek w Europie i na świecie w nadchodzących dekadach.



KRAKÓW: Małopolska – Inspiration for Your Research Journey

Dnia 28 stycznia 2026 r. w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie odbyła się uroczysta konferencja pt. „Małopolska: Fostering Collaboration for Research Success – Project Launch”, zainaugurowała projekt „Małopolska – Inspiration for Your Research Journey”. Projekt realizowany jest w ramach programu Sieć NAWA-EURAXESS przez koordynatora Akademię Górniczo-Hutniczą we współpracy z Uniwersyteciem Jagiellońskim, Politechniką Krakowską, Uniwersyteciem Rolniczym w Krakowie oraz Instytutem Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN).

Spotkanie, prowadzone przez dr. Wiktora Parola, zgromadziło ponad 130 osób – szerokie grono przedstawicieli środowiska akademickiego, administracji publicznej oraz instytucji wspierających rozwój nauki i innowacji. IFJ PAN reprezentował prof. Bogdan Fornal – Zastępca Dyrektora ds. Naukowych. W wydarzeniu udział wzięli również m.in. Krzysztof Jan Klęczar – Wojewoda Małopolski, Maria Kłaman – Zastępca Prezydenta Miasta Krakowa, dr Piotr Kępski – Dyrektor Biura Programów dla Instytucji w Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej, a także przedstawiciele Małopolskiego Urzędu Wojewódzkiego, Urzędu Miasta Krakowa oraz Wojewódzkiego Urzędu Pracy.

Najważniejszym punktem wydarzenia był panel dyskusyjny, podczas którego zagraniczni pracownicy instytucji partnerskich dzielili się doświadczeniami związanymi z pracą naukową i życiem w Krakowie. IFJ PAN reprezentował dr hab.

René Poncelet, laureat ERC Starting Grant 2025. Po zakończeniu panelu przedstawiciele projektu CARDEA (realizowanego z udziałem IFJ PAN): Barbara Chiuconci – Kierownik Biura ds. Grantów w Uniwersytecie w Macerata, dr Ivona Pernel – Kierownik ds. Integracji, Projektów oraz Programów Międzykulturowych na Uniwersytecie Juraj Dobrila w Puli oraz dr LLuis Rovira – Dyrektor ds. ewaluacji w Agencji for Management of University and Research Grants – AGAUR, omówili wyzwania stojące przed jednostkami naukowymi w kontekście wdrażania strategii internacjonalizacji



GDAŃSK, WROCŁAW: Nowy Zarząd Oddziału Gdańskiego i Oddziału Wrocławskiego PTF

Oddział Gdański Polskiego Towarzystwa Fizycznego powołał nowy Zarząd. Przewodniczącym został dr hab. Paweł Możejko, prof. PG, funkcję skarbnika powierzono dr hab. inż. Grażynie Jarosz, prof. PG, a sekretarzem została dr hab. inż. Beata Bochentyn, prof. PG. W skład Zarządu weszli ponadto: dr hab. Ryszard Drozdowski, prof. UG; dr hab. Violetta Drozdowska, prof. IO PAN; dr hab. inż. Marta Łabuda, prof. PG; prof. dr hab. inż. Jarosław Rybicki; dr inż. Angelina Łobejko. Dziękujemy Zarządowi poprzedniej kadencji za dotychczasową pracę, a nowemu zespołowi życzymy kreatywnych i dynamicznych działań na rzecz środowiska fizyków w Polsce.

Z kolei 28 stycznia 2026 r. w sali im. Jana Rzewuskiego na Wydziale Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Wrocławskiego odbyło się zebranie sprawozdawczo-wyborcze Oddziału Wrocławskiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego (OWR PTF). W spotkaniu uczestniczyli członkowie Oddziału posiadający czynne i bierne prawo wyborcze. Po przedstawieniu i przyjęciu sprawozdań ustępującego Zarządu – rzeczowego, finansowego oraz sprawozdania Komisji Rewizyjnej – członkowie Oddziału dokonali wyboru nowych władz na kolejną kadencję. W wyniku głosowania do dziewięćosobowego Zarządu zostali wybrani (w kolejności alfabetycznej): Janusz Andrzejewski, Ewa Dębowska, Tomasz Greczyło, Janusz Miśkiewicz, Adam Pikul, Wojciech Rudno-Rudziński, Piotr Sitarek, Dobromiła Szczepaniak i Maria Szławska. W skład trzyosobowej Komisji Rewizyjnej weszli (również w kolejności alfabetycznej): Iwona Mróz, Anna Musiał i Paweł Tomaszewski.

Na pierwszym posiedzeniu nowo wybranego Zarządu, które odbyło się 5 lutego 2026 r. w trybie zdalnym, wyłoniono jego Prezydium. Funkcje objęli: Ewa Dębowska – Przewodnicząca, Tomasz Greczyło – Wiceprzewodniczący, Janusz Miśkiewicz – Skarbnik, Wojciech Rudno-Rudziński – Sekretarz. Z kolei Komisja Rewizyjna podczas własnego zebrania wybrała na swoją Przewodniczącą Annę Musiał.

Podczas styczniowego zebrania podsumowano działalność Oddziału w minionej kadencji obejmującą m.in. regularne posiedzenia naukowe, współorganizację wykładów dla uczniów w ramach cyklu „Wykłady z fizyki”, organizację

Dni Wrocławskiej Fizyki oraz aktywny udział w przedsięwzięciach konkursowych i olimpijskich. Oddział pozostaje ważnym forum integracji środowiska fizyków akademickich i nauczycieli regionu. Nowo wybrane władze zapowiedziały kontynuację dotychczasowych inicjatyw oraz dalsze wzmacnianie współpracy między ośrodkami naukowymi Wrocławia i Dolnego Śląska, a także rozwijanie działań popularyzujących fizykę wśród młodzieży.

SZCZYRK: IOS'2026: Integrated Optics – Sensors, Sensing Structures, and Methods

W dniach 9–13 lutego 2026 r. w Szczyrku odbyła się jubileuszowa, 20. edycja międzynarodowej konferencji „Integrated Optics – Sensors, Sensing Structures and Methods (IOS'2026)”, organizowanej przez Photonics Society of Poland we współpracy z Komitetem Elektroniki i Telekomunikacji PAN, Górnośląskim Oddziałem Polskiego Towarzystwa Akustycznego, Katedrą Optoelektroniki Politechniki Śląskiej oraz Komitetem Optoelektroniki FSNT-NOT. Spotkanie, goszczące w hotelu Meta w Beskidzie Śląskim, poświęcono praktycznym zastosowaniom fotoniki i optoelektroniki w metrologii oraz technice sensorowej. Program obejmował zagadnienia związane m.in. z czujnikami optoelektronicznymi, układami i strukturami fonicznymi, zintegrowanymi obwodami optycznymi, technologiami nano – i mikrosystemowymi, metodami modelowania falowodów oraz nowymi metodami metrologicznymi w optoelektronice. Organizatorzy podkreślali, że celem konferencji jest stworzenie forum wymiany wiedzy o rozwoju optoelektroniki, zintegrowanej optyki i techniki sensorycznych; przewodniczącym konferencji był prof. Tadeusz Pustelny.



KRAKÓW: Odważne w Nauce

13 lutego 2026 r. w Muzeum Sztuki i Techniki Japońskiej Manggha w Krakowie odbyła się piąta edycja konferencji „Odważne w Nauce”, poświęconej roli kobiet w badaniach naukowych i innowacjach. W wydarzeniu uczestniczyło blisko 200 naukowców z całej Polski. Program obejmował panele dyskusyjne, wystąpienia motywacyjne, spotkania networkingowe oraz finał konkursu „Odważna w Nauce”, w którym wyróżniono kobiety za osiągnięcia badawcze, działalność wspierającą inne naukowczynie i popularyzację nauki. Organizatorzy podkreślali znaczenie wzajemnego wsparcia, współpracy i równości w środowisku akademickim, wskazując, że większa różnorodność sprzyja rozwojowi nauki i powstawaniu innowacyjnych rozwiązań. Konferencja wpisła się także w obchody Międzynarodowego Dnia Kobiet i Dziewcząt w Nauce i była okazją do przypomnienia, że tworzenie bardziej otwartego i solidarnego świata nauki pozostaje jednym z ważnych wyzwań współczesnego życia akademickiego.

WARSZAWA: Tajne komplety: fizyka mimo wszystko

12 lutego 2026 r. w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów odbyło się spotkanie pt. „Tajne komplety: fizyka mimo wszystko”, z wprowadzeniem Eweliny Kędzierskiej. Wydarzenie organizowane przez Oddział Warszawski PTF miało charakter roboczej dyskusji poświęconej wspieraniu dydaktyki fizyki w sytuacji systemowego ograniczania czasu przeznaczonego na ten przedmiot oraz rosnących oczekiwań wobec szkół w zakresie kompetencji i pracy projektowej.

Hasło „tajne komplety” stanowiło świadome nawiązanie historyczne do idei oddolnego podtrzymywania jakości edukacji w niesprzyjających warunkach. Współcześnie może ono oznaczać budowanie sieci współpracy nauczycieli, tworzenie małych pakietów dydaktycznych (krótkie doświadczenia, mini-projekty, narzędzia oceniania wspierającego uczenie), wspólną bibliotekę materiałów niewymagających specjalistycznego sprzętu oraz włączanie elementów fizyki w inne przedmioty i projekty szkolne.

W dyskusji wyraźnie wybrzmiał głos nauczycieli praktyków. Celem spotkania było wypracowanie krótkiej, realistycznej listy działań, które Oddział Warszawski PTF mógłby szybko uruchomić, tak aby wsparcie dla fizyki szkolnej miało wymiar realny i odczuwalny w szkołach.

WROCŁAW: Tesla Prize 2025

Międzynarodowy zespół naukowców kierowany przez dr. hab. inż. Macieja Pieczarkę, prof. uczelni z Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej otrzymał prestiżową nagrodę Tesla Prize 2025 za „kwantowy przełom w nowoczesnej fotonice”.

Nagrodzony projekt dotyczy kondensacji Bosego–Einsteina fotonów w standardowych laserach półprzewodnikowych typu VCSEL (vertical-cavity surface-emitting lasers) – rzeczywistych urządzeniach wykorzystywanych m.in. w telekomunikacji. Uznanie kapituły przypieczętowało odkrycie nowego trybu działania tych laserów wykazanego w praktycznie stosowanym urządzeniu, a nie jedynie w modelowych układach laboratoryjnych.

Badania zespołu wykazały, że kondensat Bosego–Einsteina może powstawać w VCSEL-ach wykorzystanych w typowych zastosowaniach technologicznych. Kondensat ten jest makroskopowym stanem falowym z udziałem fotonów uwięzionych w rezonatorze, który zachowuje się zgodnie z przewidywaniami statystyki Bosego–Einsteina.

Projekt, którego wyniki opublikowano w czasopiśmie *Nature Photonics* (2024) i zaprezentowano na najważniejszych światowych konferencjach z zakresu fotoniki, był realizowany przy współpracy badaczy z Polski, Niemiec i innych ośrodków naukowych. W skład międzynarodowego zespołu weszli m.in.: mgr inż. Aleksandra Bojakowska (WPPT PWr), dr inż. Marcin Gębski (Politechnika Łódzka), prof. James A. Lott (TU Berlin), dr hab. Axel Pelster (RPTU University Kaiserslautern-Landau), dr hab. inż. Michał Wasiak (Politechnika Łódzka) oraz prof. Tomasz Czystanowski (Politechnika Łódzka).

Twórcy podkreślają, że choć zjawisko kondensacji Bosego–Einsteina pierwotnie utożsamiano z cząstkami posiadającymi masę w ekstremalnie niskich temperaturach, to fotony również mogą się skondensować, jeśli zostaną uwięzione w rezonatorze i odpowiednio oddziałują z materią. Badanie to zmienia klasyczne rozumienie działania laserów półprzewodnikowych i otwiera nowe perspektywy dla technologii VCSEL oraz badań nad właściwościami fotonów w kondensacie.

Nagroda Tesla Prize upamiętnia wybitnego naukowca Niokola Teslę i jest przyznawana za osiągnięcia wyróżniające się oryginalnością i znaczącym wpływem naukowym oraz społecznym.



GDAŃSK: Nagroda Naukowa im. Jana Heweliusza 2025

Prof. dr hab. Michał Horodecki z Międzynarodowego Centrum Teorii Technologii Kwantowych (ICTQT) Uniwersytetu Gdańskiego został uhonorowany Nagrodą Naukową Miasta Gdańska im. Jana Heweliusza za rok 2025 w kategorii nauk przyrodniczych i ścisłych. Nagroda im. Jana Heweliusza, często określana jako „gdański Nobel”, jest jednym z najważniejszych wyróżnień naukowych w regionie, przyznawanym od prawie czterech dekad wybitnym uczonym za znaczący dorobek badawczy i twórcze osiągnięcia. Uroczystość wręczenia odbyła się w Gdańsku 9 lutego 2026 r., a statuetkę Heweliusza wręczyła laureatowi Prezydent Miasta Gdańska Aleksandra Dulkiewicz. Prof. Horodecki został wyróżniony za fundamentalne osiągnięcia w teorii informacji kwantowej i termodynamice kwantowej, potwierdzające jego pozycję jako jednego z najbardziej wpływowych fizyków teoretycznych w Polsce i za granicą. Nagroda podkreśla wysoką rangę pracy naukowej laureata oraz jego wkład w rozwój nowoczesnej fizyki.



WARSZAWA: Gala Nauki Polskiej

19 lutego 2026 r., w Dniu Nauki Polskiej obchodzonym w rocznicę urodzin Mikołaja Kopernika, podkreślano znaczenie badań naukowych dla rozwoju państwa, zaś dzień później, 20 lutego, podczas Gali Nauki Polskiej w Teatrze Polskim w Warszawie wręczono Nagrody Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W gronie uhonorowanych badaczy związanych z fizyką znaleźli się m.in. prof. Iwo Białynicki-Birula z Centrum Fizyki Teoretycznej PAN oraz prof. Wojciech Maria Kwiatek z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN, nagrodzeni za całokształt dorobku; w tej samej części uroczystości wyróżniono także przedstawicieli pokrewnych nauk ścisłych. Za znaczące osiągnięcia w działalności naukowej nagrody otrzymali natomiast prof. Krzysztof Kutak z IFJ PAN, dr hab. Remigiusz Augusiak z Centrum Fizyki Teoretycznej PAN, a także zespół z Politechniki Warszawskiej kierowany przez

prof. Mariusza Zdrojka i zespół z Politechniki Śląskiej, którego liderem był prof. Dawid Witold Janas; wyróżniono również interdyscyplinarny zespół z Politechniki Białostockiej z udziałem prof. Włodzimierza Wiktora Lewandowskiego. Szczególnym akcentem gali było ponadto wręczenie złotego medalu „Zasłużony dla Nauki Polskiej – Sapientia et Veritas” Sławoszowi Uznańskiemu-Wisniewskiemu, którego obecność nadawała wydarzeniu dodatkowy wymiar symboliczny, łącząc polską tradycję naukową z najnowszymi osiągnięciami badań kosmicznych.

KARPACZ: WE Heraeus Physics School oraz 62. Karpacz Winter School in Theoretical Physics

Od 28 lutego do 6 marca 2026 r. w Karpaczu odbyła się WE Heraeus Physics School oraz 62. Karpacz Winter School in Theoretical Physics pod hasłem „Multimessenger Astrophysics and Cosmology”. Szkoła była poświęcona współczesnym zagadnieniom astrofizyki wieloaspektowej i kosmologii, ze szczególnym uwzględnieniem gwiazd neutronowych, fal grawitacyjnych, zderzeń obiektów zwartych oraz związków między mikrofizyką gęstej materii a obserwacjami kosmologicznymi. W programie znalazły się także tematy dotyczące napięcia Hubble’a, zmodyfikowanej grawitacji, pierwotnych pól magnetycznych oraz czarnych dziur pierwotnych. Zajęcia prowadzili wykładowcy z ośrodków naukowych w Stanach Zjednoczonych, Niemczech, Wielkiej Brytanii i Kanadzie, a organizatorami wydarzenia byli Armen Sedrakian z Uniwersytetu Wrocławskiego i Frankfurt Institute for Advanced Studies, David Blaschke z Uniwersytetu Wrocławskiego oraz HZDR/CASUS w Görlitz, a także Volker Springel z Max-Planck-Institut für Astrophysik w Garching. Karpaczańska szkoła po raz kolejny potwierdziła swoją rangę jako ważnego forum spotkań badaczy zajmujących się fizyką teoretyczną, astrofizyką i kosmologią.

KRAKÓW: ATLAS mini-conference

26 lutego 2026 r. na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH w Krakowie odbyła się czwarta edycja ATLAS Poland mini-conference, spotkania skupiającego polskich badaczy zaangażowanych w prace eksperymentu ATLAS przy Wielkim Zderzaczu Hadronów w CERN. Zgodnie z informacjami opublikowanymi przez AGH, w konferencji uczestniczyli naukowcy i studenci zajmujący się analizą danych, rozwojem oprogramowania oraz pracami sprzętowymi związanymi z detektorem. Program obejmował omówienie bieżącego stanu analiz fizycznych, postępu prac nad modernizacją układów detekcyjnych, zagadnień przetwarzania i walidacji danych, a także planów na najbliższe miesiące i lata w kontekście przerwy w pracy detektora i przygotowań do nowej infrastruktury eksperymentu. Ważnym elementem wydarzenia była także sesja młodych naukowców, podczas której doktoranci i studenci przedstawili wyniki swoich badań. Organizatorzy podkreślali, że konferencja służy koordynacji działań między polskimi zespołami współpracującymi w ramach ATLAS, wymianie doświadczeń i ustalaniu priorytetów badawczych.

SPROSTOWANIE:

W składzie zarządu Oddziału Łódzkiego PTF, który został opublikowany w Kronice Postępów Fizyki **76**, 3-4 znalazła się niestety pomyłka: jako sekretarz Oddziału podany został dr Paweł Dąbrowski, który w rzeczywistości podjął się tylko wykonania pewnego zadania. Natomiast stanowisko sekretarza objął prof. Jarosław Perkowski.

POSTĘPY FIZYKI

CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ

BIURO MEDIALNE PTF:

Materiały do działu *Kronika PTF* przygotował zespół Biura Medialnego PTF w składzie: Krzysztof Petelczyc – koordynator, Adam Balcerzak (Szczecin), Mikołaj Baranowski (Poznań), Beata Bochentyn (Gdańsk), Jakub Borkowski (Toruń), Katarzyna Deja (Warszawa), Zbigniew Ficek (Zielona Góra), Janusz Filiks (Lublin), Marcin Jarosik (Częstochowa), Michał Kaczor (Rzeszów), Krzysztof Karpierz (SDF), Janusz Kuliński (Łódź), Dawid Mazur (Opole), Wojciech Olszewski (Białystok), Adam Pikul (Wrocław), Piotr Rączka (SFP), Grzegorz Siudem (SFENS), Bogumiła Świeżewska (SFOF), Andrzej Wilczek (Katowice), Witold Zawadzki (Kraków), Yuriy Zorenko (Bydgoszcz)

ZAPYTAJ FIZYKA

Dział „Zapytaj Fizyka” powstaje dzięki uprzejmości prof. Piotra Sułkowskiego, we współpracy z projektem „Zapytaj Fizyka” prowadzonym przez Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. W ramach tej inicjatywy naukowcy oraz studenci starszych lat odpowiadają na pytania dotyczące fizyki, a projekt obejmuje także popularyzatorskie wykłady. Więcej informacji na stronie zapytajfizyka.fuw.edu.pl.

ŹRÓDŁA I AUTORSTWO ILUSTRACJI:

Okładka: Quardia Inc. – stock.adobe.com; **str. 1:** Arni – stock.adobe.com, 2. Fotiev Michail – stock.adobe.com, 3. pressmaster – stock.adobe.com; **str. 2:** tiero – stock.adobe.com, **str. 3:** Fade Creative – CSC; **str. 4:** G. Wlazłowski, opracowanie własne na podstawie danych z pracy 10.1038/s41467-025-65967-7, CC BY 4.0; **str. 6:** 1L. G. Wlazłowski, opracowanie własne na podstawie danych z pracy 10.3390/atoms12120065, 1P. G. Wlazłowski, opracowanie własne; **str. 8:** na podst. Gary Settles, “Laminar-turbulent transition.jpg”, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0; modyfikacja: G. Wlazłowski; **str. 9:** Na podstawie pracy 10.1093/pnasnexus/pgae160, CC BY 4.0; **str. 10:** Na podstawie 10.1145/3743149, CC BY 4.0; modyfikacja G. Wlazłowski; **str. 12:** Thongden_studio – stock.adobe.com; **str. 13:** G. Bękarski, opracowanie własne; **str. 14:** G. Bękarski, opracowanie własne; **str. 16:** G. Bękarski, opracowanie własne; **str. 18:** 1L. DVisions – stock.adobe.com, 1P. ROWTECH – stock.adobe.com; **str. 19:** 1L. dottedyeti – stock.adobe.com, 2L. amixstudio – stock.adobe.com, 1P. Peter Hansen – stock.adobe.com; **str. 20:** 1L. vrx123 – stock.adobe.com, 1P. ktsdesign – stock.adobe.com; **str. 21:** 1L. niknikp – stock.adobe.com, 2L. Andriy – stock.adobe.com; **str. 22:** Fotiev Michail – stock.adobe.com; **str. 23:** Agnieszka Winiarska-Furtak; **str. 24:** Martyna Szramek, Politechnika Warszawska; **str. 29:** 1. Oksana Klymenko – stock.adobe.com, 2. Zdjęcie udostępnione przez M. Golkę; **str. 30:** Zofia Golka; **str. 32:** 1. Halfpoint – stock.adobe.com, 2P. Turniej Młodych Fizyków – IF PAN; **str. 33:** Turniej Młodych Fizyków – IF PAN; **str. 34:** European Space Agency, Polska Agencja Kosmiczna POLSA; **str. 36:** 1L. Polska Agencja Kosmiczna POLSA, 1P. Agnieszka Winiarska-Furtak; **str. 38:** 1L. Zapytaj Fizyka – Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, 2L. marsad – stock.adobe.com, 1P. Viktor – stock.adobe.com; **str. 39:** 1. Krzysztof Petelczyc, 2P. Postępy Fizyki, Polskie Towarzystwo Fizyczne; **str. 40:** Internet Archive / Wayback Machine; zrzut ekranu K. Petelczyc; **str. 41:** Internet Archive / Wayback Machine; zrzut ekranu K. Petelczyc; **str. 42:** Postępy Fizyki, Polskie Towarzystwo Fizyczne; **str. 43:** Internet Archive / Wayback Machine; zrzut ekranu K. Petelczyc; **str. 45:** Postępy Fizyki, Polskie Towarzystwo Fizyczne; **str. 46:** Internet Archive / Wayback Machine; zrzut ekranu K. Petelczyc; **str. 47:** Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu; **str. 48:** Cezary Filipiuk; **str. 49:** Michał Baj; **str. 50:** zdjęcie udostępnione przez Weronikę Śliwę; **str. 51:** zdjęcie udostępnione przez Weronikę Śliwę; **str. 52:** 1L. Przemysław Keler – Kancelaria Prezydenta RP, 1P. Justyna Dzik, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, 2P. Melania Deresz, Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki; **str. 53:** 1L. Witold Zawadzki, Uniwersytet Jagielloński, 1P. Maciej Szymonika, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie; **str. 54:** 1L. Mentari Mukti, Centrum Spraw Międzynarodowych, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, 1P. Fotografia dostarczona przez P. Możęjkę – rozszerzenie kadru wykonane przez redakcję przy użyciu Adobe Firefly (AI); **str. 55:** Piotr Wojnarowski – Kancelaria Prezydenta Miasta Krakowa; **str. 56:** 1L. Dominik Paszliński – www.gdansk.pl, 2L. Serwis gov.pl. Zdjęcia portretowe autorów zostały udostępnione przez autorów.

INFORMACJA O WYKORZYSTANIU NARZĘDZI SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

Przy opracowaniu części materiałów zamieszczonych w działach *W Skrócie*, *Kwartal Badań* oraz *Kronika PTF* wykorzystano narzędzia sztucznej inteligencji jako wsparcie badawcze. W szczególności w pracach nad selekcją, porządkowaniem i wstępnym opracowaniem informacji. Ostateczny dobór treści, ich redakcja oraz odpowiedzialność za publikację należą do redakcji.

INFORMACJE DLA AUTORÓW

Publikujemy teksty rzetelne, atrakcyjne i weryfikowalne, które upowszechniają wiedzę z fizyki, prezentują najnowsze osiągnięcia badań, skuteczne metody dydaktyczne, ważne postaci i wydarzenia oraz pokazują zastosowania oraz aspekty interdyscyplinarne. Oczekujemy materiałów zgodnych z dobrym warsztatem naukowym: autor powinien rozróżniać fakty, interpretacje i hipotezy, unikać uproszczeń zniekształcających sens fizyczny oraz sygnalizować założenia, przybliżenia i zakres stosowności modeli. Jednocześnie PF mają formę popularyzatorską: tekst powinien być zrozumiały dla określonego odbiorcy (na poziomie niewyższym niż reprezentowany przez studentów II stopnia kierunków ścisłych i technicznych) i prowadzić czytelnika spójną narracją od tła i postawienia problemu, przez wyjaśnienie mechanizmu i przedstawienie najważniejszych wyników lub argumentów, po interpretację oraz wnioski istotne również dla osób spoza wąskiej specjalności. Wymagania techniczne opisane są na stronie <https://www.ptf.net.pl/PF/autorzy>, zaś formularz zgłoszenia propozycji artykułów oraz więcej informacji o oczekiwanej tematyce można znaleźć na stronie <https://www.ptf.net.pl/PF/wyslij>. Redakcja zastrzega sobie prawo do skracania i redagowania tekstów, w tym wprowadzania niezbędnych zmian terminologicznych. Zgodnie z obowiązującym prawem autorskim autorzy będą mogli dokonać korekty autorskiej artykułu przygotowanego do druku. Opublikowanie artykułu w PF wiąże się z nieodpłatnym udostępnieniem go na stronie internetowej PTF na podstawie licencji Creative Commons BY 4.0.

INFORMACJE DLA REKLAMODAWCÓW:

Postępy Fizyki” zapraszają do współpracy wydawców książek i serii wydawniczych, instytuty, laboratoria, organizatorów konferencji oraz zespoły realizujące projekty badawcze. Oferujemy reklamę, artykuły sponsorowane i pakiety promocyjne obejmujące m.in. promocję nowych książek, prezentację katalogów wydawniczych oraz upowszechnianie wyników projektów i działalności instytucji związanych z fizyką. Informacje: www.ptf.net.pl/PF/reklama

Strona internetowa: www.ptf.net.pl/PF

Prenumerata: www.ptf.net.pl/PF/prenumerata

Adres e-mail redakcji PF: postepy.fizyki@ptf.net.pl

PF są dostępne bezpłatnie w wersji elektronicznej: www.ptf.net.pl/PF/archiwum

Spis treści PF (od 1949): www.ptf.net.pl/PF/spis-treści



nr indeksu 369 721

ISSN 0032-5430



9

770032 543264

0.1