

POSTĘPY FIZYKI



CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ

Diamenty

NLPQT

Einstein o Einsteinie

Feynman skrzywdzony

1 / 2023
TOM 74



ISSN 0032-5430
9 770032 543233 01

nr indeksu 369721



POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE (PTF)

www.ptf.net.pl

ZARZĄD GŁÓWNY

Teresa Rząca-Urban (prezes)
Bogdan Kowalski (sekretarz generalny)
Jan Grabski (skarbnik)
Leszek Sirko (prezes honorowy)
Katarzyna Chałasińska-Macukow
Zofia Drzazga
Dariusz Grech
Bohdan Grządkowski
Stanisław Kistryn
Adam Maj
Sławomir Miernicki
Józef Spątek
Aneta Szczygielska-Łaciak
Andrzej Ślebarski
Andrzej Wysmołek

BIURO ZARZĄDU

ul. Pasteura 5
02-093 Warszawa
tel. (+22) 553 28 56 pok.4.56 (4. piętro)
e-mail: biuro@ptf.net.pl

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW

Krzysztof Szymański (Białystok)
Adam Gadomski (Bydgoszcz)
Ewa Mandowska (Częstochowa)
Jarosław Rybicki (Gdańsk)
Adam Michczyński (Gliwice)
Paweł Zajdel (Katowice)
Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce)
Józef Spątek (Kraków)
Marcin Turek (Lublin)
Karol Jakub Jędrzejczak (Łódź)
Katarzyna Książek (Opole)
Andrzej Łapiński (Poznań)
Gaweł Żyła (Rzeszów)
Mirosław Brozis (Słupsk)
Adam Balcerzak (Szczecin)
Michał Pawlak (Toruń)
Aneta Drabińska (Warszawa)
Ewa Dębowska (Wrocław)
wacat (Zielona Góra)

POSTĘPY FIZYKI (PF) czasopismo ukazuje się od 1949 roku

CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ

www.ptf.net.pl

RADA REDAKCYJNA

Andrzej Kajetan Wróblewski (przewodniczący)
Mieczysław Budzyński
Witold Dobrowolski
Henryk Drozdowski
Józef Spątek
Józef Szudy
Arkadiusz Wójs

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Wojciech Olszewski (Białystok)
Beata A. Pietrewicz (Bydgoszcz)
Piotr Gębara (Częstochowa)
Tomasz Wąsowicz (Gdańsk)
Lucyna Grządziel (Gliwice)
Aleksandra Piórkowska-Kurpas (Katowice)
Maciej Rybczyński (Kielce)
Witold Zawadzki (Kraków)
Janusz Filiks (Lublin)
Janusz Kuliński (Łódź)
Katarzyna Książek (Opole)
Mikołaj Lewandowski (Poznań)
Jacek Fal (Rzeszów)
Agnieszka Włodarkiewicz (Słupsk)
Janusz Typek (Szczecin)
Michał Pawlak (Toruń)
Grzegorz Siudem (Warszawa)
Ewa Dębowska (Wrocław)
Lidia Najder-Kozdrowska (Zielona Góra)

REDAKCJA

Anna Szemberg (redaktor naczelna)
Krzysztof Turzyński
Redakcja „Postępy Fizyki” – Wydział Fizyki UW
Pasteura 5, pok. 2.80 (2. piętro), 02-093 Warszawa
e-mail: postepy.fizyki@ptf.net.pl

INFORMACJE DLA AUTORÓW

Przyjmujemy do publikacji przystępnie napisane artykuły przeglądowe i monograficzne w języku polskim i angielskim, które otrzymają pozytywne recenzje wydawnicze. Teksty należy przysyłać e-mailem na adres: postepy.fizyki@ptf.net.pl w formie przyjętej w czasopiśmie <https://www.ptf.net.pl/PF/archiwum> w systemie LATEX (plik źródłowy + pdf) lub w programie Word; tekst powinien zawierać afiliację i nr ORCID autora, streszczenie i słowa kluczowe w j. polskim oraz j. angielskim, **bibliografię** wyłącznie załącznikową (patrz wskazówki dotyczące sporządzania bibliografii na stronie PTF: <https://www.ptf.net.pl/PF/autorzy>), podpisy do ilustracji; **ilustracje** mogą być zamieszczone w tekście, ale **należy** je również **przysłać w osobnych plikach** o rozdzielczości co najmniej 300 dpi; **w przypadku ilustracji zapożyczonych** z innych źródeł, podpis musi zawierać źródło pochodzenia ilustracji, przy czym na autorze spoczywa obowiązek uzyskania zgody na jej publikację w jego artykule w *Postęпах Fizyki*. 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.

PRENUMERATA 2023 DLA PODMIOTÓW ZEWNĘTRZNYCH

- cena pojedynczego numeru PF wynosi 29,70 PLN (w tym 8% VAT)
- cena prenumeraty rocznika (4 numery z 9% rabatem) – 108,00 PLN (w tym 8% VAT)
- **koszty wysyłki czasopisma pokrywa zamawiający**

• zamówienie prenumeraty należy wysłać na adres postepy.fizyki@ptf.net.pl

Szczegółowe warunki prenumeraty PF znaleźć można na stronie internetowej PTF <https://www.ptf.net.pl/PF/prenumerata>

Cena pojedynczego, archiwalnego numeru PF opublikowanego do końca 2019 roku (tj. do tomu 70 włącznie) wynosi 12,00 PLN brutto + **koszty wysyłki**.

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 Czytelnicy,

pierwszy numer 74 tomu POSTĘPÓW FIZYKI otwierają dwa bardzo aktualne artykuły, pierwszy o diamentach autorstwa fizyków krakowskich, a drugi dotyczy ogólnopolskiego projektu infrastrukturalnego NLPQT koordynowanego przez warszawiaków. Zapraszam do lektury!

Znajdą tu Państwo także recenzje dwóch nowo wydanych przekładów książek opowiadających o dwóch wielkich fizykach XX w.: Einsteinie (CCPress) i Feynmanie (PWN), przy czym recenzję tej drugiej trzeba traktować jako ostrzeżenie, rzut oka bowiem na tę i inne nowe publikacje PWN (w szczególności tłumaczenia) w dziedzinie fizyki i nauk pokrewnych wystarcza, by się przekonać, że w trzeciej dekadzie XXI wieku firma o nazwie PWN wykorzystuje bez żadnego już merytorycznego uzasadnienia zasłużoną reputację swoich protoplastów: Państwowego Wydawnictwa Naukowego, a od lat 90. XX w. Wydawnictwa Naukowego PWN.

Dziękujemy organizatorom różnych wydarzeń „fizycznych” jak i korespondentom oddziałów PTF za nadesłane informacje do Kroniki – stałego działu naszego kwartalnika. Bardzo prosimy, by teksty do Kroniki wpływały do Redakcji PF do końca kwartału, którego dotyczą.

redaktor naczelna

Adres PF: postepy.fizyki@ptf.net.pl

PF są dostępne bezpłatnie w wersji elektronicznej:

<https://www.ptf.net.pl/PF/archiwum>

Spis treści PF (od 1949):

<https://www.ptf.net.pl/PF/spis-treści>

Informacje dla autorów PF:

<https://www.ptf.net.pl/PF/autorzy>

Centra barwne azot-wakancja w diamentie – od klejnotów do technologii kwantowych

M. Mrózek, A. M. Wojciechowski, W. Gawlik 2

Narodowe Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych – NLPQT

P. Fita, M. Suster 14

Ł. A. Turski, recenzja 19

Einstein o Einsteinie

H. Gutfreund i J. Renn 21

Feynman przez PWN skrzywdzony, czyli degrengolada wydawnictwa

P. Chankowski 26

Mikołaj Kopernik – rys biograficzny

K. Mikulski 32

Henryk Stachowiak (1933-2022)

G. Kontrym-Sznajd, G. Stachowiak, M. Šob 34

Kronika Polskiego Towarzystwa Fizycznego 37

48. Zjazd Fizyków Polskich, Gdańsk, 1-7.09.2023 44



Stanowisko mikroobróbki laserowej powstające na Politechnice Wrocławskiej (materiały projektu NLPQT)

Centra barwne azot-wakancja[†] w diamentcie – od klejnotów do technologii kwantowych

Mariusz Mrózek*, Adam M. Wojciechowski**, Wojciech Gawlik***

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

Abstrakt. Diamenty zachwycają doskonałym pięknem i niezwykłymi właściwościami. Najczęściej kojarzone są z branżą jubilerską lub z zastosowaniem w przemyśle szlifierskim. Najciekawsze i najważniejsze własności diamentów związane są z tym, że możemy je badać i modyfikować do nietypowych zastosowań. W szczególności specyficzne defekty diamentu, centra barwne azot-wakancja, otwierają niezwykle ciekawe możliwości, z których kilka opisujemy poniżej. W artykule omówione zostały podstawowe właściwości diamentów, ich pochodzenie i metody syntezy, a także niedoskonałości struktury krystalicznej diamentu, które mogą wykazywać nowe właściwości optyczne i spektroskopowe. Druga część artykułu prezentuje strukturę i właściwości jednego z takich defektów – centrum barwnego azot-wakancja (NV). W końcowej części omówione zostały praktyczne zastosowania centrów NV w charakterze czujnika wielkości fizycznych takich jak pole magnetyczne i temperatura, a także w dziedzinie przetwarzania informacji kwantowej – być może zaowocuje to powstaniem komercyjnego komputera kwantowego zbudowanego na ciele stałym.

Słowa kluczowe: diamenty, centra barwne, spektroskopia

Abstract. Diamonds impress with their perfect beauty and extraordinary properties. They are most often associated with the jewellery industry or with the use in grinding industry. The most interesting and important ones can be studied and modified. In particular, specific diamond defects, the nitrogen-vacancy color centers, have extremely interesting properties. They also allow for very attractive applications, some of which are described below. Here we discuss the basic properties of diamonds, their origin, and methods of synthesis, as well as the defects of their crystal structure, which may exhibit exciting new optical properties. In the second part of the article, we focus on the structure and properties of one such defect – the nitrogen-vacancy (NV) color center. The following parts present some practical applications of NV centers as sensors of physical quantities such as magnetic field and temperature, as well as in the field of quantum information processing. The latter option opens a window to the construction of a commercial solid-state quantum computer, which would be a great help in mass production.

Keywords: diamonds, color centers, spectroscopy

1. Wstęp

Od wieków diamenty zachwycają nas swoim pięknem i niezwykłymi właściwościami. Najciekawsze i najważniejsze z nich związane są z niedoskonałościami struktury diamentu – domieszkami i defektami, na które można wpływać i w ten sposób kształtować nowe, atrakcyjne właściwości tego niezwykłego materiału. W tym artykule przedstawiamy wyniki badań i możliwości zastosowań tzw. centrów barwnych typu NV (azot-wakancja) w diamentcie.

Najwcześniejsze zachowane informacje o wydobywanych diamentach i ich niezwykłych właściwościach pochodzą z Indii z około IV wieku p.n.e. Diamenty były już wtedy cenione ze względu na ich wytrzymałość i blask, a także zdolność do załamывania światła widzialnego i możliwości grawerowania metalu. Diamenty były zatem noszone jako ozdoby, używane jako narzędzia tnące,

służyły także jako talizmany do odpędzania zła oraz uważano, że zapewniają ochronę w bitwie. Źródła podają, że pierwszy nieoszlifowany diament pojawił się w Rzymie ok. III w. p.n.e., a już w I-II w. n.e. diament staje się kamieniem coraz bardziej powszechnym i wysoko cenionym, o czym świadczą zapiski Pliniusza Starszego. Samo słowo diament po raz pierwszy pojawia się w XIII w., kiedy to głównym rynkiem diamentowym była Wenecja i Brugia (*fr. diamant = d'aiament – przyciągający lub kochany*) [1]. W średniowieczu diamenty były również używane jako lekarstwo. Uważano, że spożycie sproszkowanego diamentu leczy choroby i przyspiesza gojenie ran. Do XVIII wieku [2] sądzono, że jedynym źródłem diamentów są Indie. Kiedy indyjskie zasoby diamentów zostały wyczerpane, rozpoczęto poszukiwania alternatywnych źródeł tych kamieni szlachetnych. Chociaż w 1725 r. znaleziono w Brazylii niewielkie złoża, podaż nie była wystarczająca, aby zaspokoić światowe zapotrzebowanie na ten materiał. W roku 1866 15-letni chłopiec Erasmus Jacobs badał brzegi rzeki Orange (Afryka Południowa), kiedy natknął się na coś, co uważał za najzwyklejszy kamień, ale po

[†]luka węglowa (przyp. red.).

*ORCID: 0000-0003-1824-8357

**ORCID: 0000-0003-1805-6718

***ORCID: 0000-0002-9886-5736

ogłędzinach okazało się, że jest to ponad 20-karatowy (1ct = 0,2 g) diament. W 1871 r. na wzgórzu zwanym Colesberg Kopje (Afryka Południowa) odkryto ogromne złoża diamentów. Oba te odkrycia wywołały napływ tysięcy poszukiwaczy diamentów do regionu i doprowadziły do otwarcia pierwszej kopalni wydobywczej, znanej jako kopalnia Kimberly. Nowo odkryte złoża znacząco zwiększyły światową podaż diamentów powodując jednocześnie duży spadek ich ceny.

Dostępne dziś światowe złoża diamentów powoli się wyczerpują. Mniej niż 20% wydobywanych diamentów to diamenty o jakości klejnotów (bardzo cennych, wykorzystywanych w branży jubilerskiej). Pozostałe około 80% wydobywanych diamentów wykorzystywane jest do zastosowań przemysłowych takich jak szlifowanie, piłowanie i wiercenie. Zazwyczaj trzeba wydobyć ponad 250 ton rudy, aby znaleźć jednokaratowy (1 ct = 0,2 g) kamień o jakości klejnotu. Liderami wydobywania diamentów są obecnie Rosja, Botswana i Kanada (odpowiednio 29, 18 i 16% światowego wydobywania w 2018 r. [3]).

1.1. Powstawanie diamentów

Diamenty naturalne występują w niewielkiej ilości w przyrodzie. Badania dotyczące diamentów pozwalają sądzić, że wykrystalizowały one z alkalicznej magmy *in situ* ok. 1-4 mld lat temu, na dużych głębokościach (100-400 km pod powierzchnią ziemi), w temperaturze 900-1400°C i pod ciśnieniem ok. 5 MPa. Do strefy powierzchniowej ziemi zostały przetransportowane później, gdy magma gwałtownie wznosiła się podczas wybuchów wulkanów i towarzyszących im silnych ruchów tektonicznych, podczas których skały węglanowe, dostając się w głębsze warstwy w warunkach wysokiego ciśnienia i temperatury ulegały termicznemu rozkładowi, a pojawiające się przy tym pojedyncze atomy węgla wykazywały dużą zdolność do łączenia się w różne konfiguracje przestrzenne. W efekcie tego pojawiło się wiele alotropowych odmian krystalicznych, m.in. grafit oraz diament. Ruchy tektoniczne i związane z nimi gwałtowne wzrosty ciśnienia mogą powodować erupcję i pojawianie się kominów wulkanicznych o owalnym przekroju i średnicy od kilkudziesięciu do kilkuset metrów, wypełnionych frakcją diamentonosną.

Diamenty naturalne po odpowiednim oszlifowaniu są wykorzystywane w jubilerstwie, najczęściej w postaci brylantów – okrągłych diamentów posiadających nie mniej niż 33 fasety (oszlifowane powierzchnie – przyp. red.) w koronie i 22 w podstawie. Na wartość handlową diamentów jubilerskich składają się cztery czynniki: masa, czystość, szlif i kolor. Szlif jest decydującym czynnikiem wydobywającym ceniony blask diamentów uzyskiwany dzięki wyprowadzeniu na zewnątrz kryształu

światła wielokrotnie odbijającego się od licznych oszlifowanych ścianek. Jego współczesne formy rozwinęły się dopiero w XIX w. po wprowadzeniu wydajnych szlifierek.

Syntetyczne diamenty. Z powodu trudności w wydobywaniu diamentów i rosnącego zapotrzebowania, naukowcy starali się znaleźć metody wytwarzania sztucznych diamentów. Pierwszy raz otrzymano syntetyczne diamenty w 1954 r. w laboratorium firmy General Electric przez jednoczesne zastosowanie wysokiej temperatury i ciśnienia [4]. Obecnie stosuje się trzy metody otrzymywania sztucznych diamentów.

Pierwsza z nich nosi nazwę HPHT (ang. *High Pressure High Temperature*) i jest w zasadzie rozwinięciem wczesnego sposobu General Electric z ciśnieniem około 10 GPa i temperaturą około 1600°C. Metoda ta wykorzystuje warunki zbliżone do panujących głęboko w skorupie ziemskiej. Pozwala wytwarzać próbki monokrystaliczne o rozmiarach paru milimetrów sześciennych, co zrewolucjonizowało przemysł diamentowy uniezależniając branżę diamentów od tradycyjnego wydobywania w kopalniach [5].

Drugą metodą stosowaną do wytworzenia diamentów jest chemiczne osadzanie z fazy gazowej CVD (ang. *Chemical Vapour Deposition*). Ta metoda polega na wprowadzeniu do gazowej komory reakcyjnej prekursorów: H₂, CH₄ oraz dostarczeniu energii w formie mikrofal (moc rzędu kW). Powstająca w wyładowaniu plazma rozkłada prekursor na pojedyncze składniki, które osiadają na specjalnie przygotowanym podłożu. W ten sposób nakładane są kolejne warstwy diamentu, dzięki czemu otrzymywane są próbki diamentowe, w większości przypadków polikrystaliczne. Proces CVD wymaga długiego czasu, szczególnie gdy chcemy otrzymać grube (do 1 mm) próbki diamentowe [6].

Trzecią metodą, dzięki której otrzymujemy głównie nano- i mikrodiamenty, jest metoda detonacyjna. Polega ona na wywołaniu eksplozji materiału wybuchowego zawierającego związki typu C_aH_bN_cO_d z niedostatkiem tlenu. Temperatura i ciśnienie niesione razem z falą uderzeniową powstającą w eksplozji są wyższe niż 3000°C i 10 GPa. Węgiel w tym procesie zamienia się w diament w około 75% w postaci kryształitów o wielkościach od kilku nm do kilkudziesięciu μm. Ta metoda ma szczególne zastosowanie w przemyśle. Tak powstałe diamenty stosowane są najczęściej w materiałach ściernych [7].

1.2. Alotropowe odmiany węgla

Diament to jedna z wielu alotropowych odmian węgla. Najważniejszymi poznanymi do tej pory innymi odmianami węgla są:

Grafit – atomy węgla ułożone w regularne sześciokąty o wspólnych bokach. Sieć krystaliczna grafitu zbudowana jest z płaskich warstw ułożonych jedna nad drugą,

każda warstwa przypomina strukturę plastra miodu. Grafit zawiera atomy węgla o hybrydyzacji sp^2 . W obrębie każdej warstwy atomy są połączone silnymi wiązaniami kowalencyjnymi z trzema sąsiednimi atomami węgla. Natomiast między warstwami występują tylko słabe oddziaływania van der Waalsa, dlatego kryształy grafitu są bardzo miękkie i łatwo odłupują się warstwami. Każdy atom posiada jeden niesparowany elektron na niezhybrydowanym orbitalu p , dzięki czemu grafit przewodzi prąd elektryczny.

Fulereny – cząsteczki zbudowane z parzystej liczby atomów węgla (od kilkudziesięciu do kilku tysięcy), które tworzą zamkniętą strukturę (sferę). Najbardziej rozpoznawalny jest fullerene C_{60} wyglądem przypominający piłkę zbudowaną z 60 atomów, które tworzą 12 pierścieni pięcioatomowych i 20 pierścieni sześciatomowych o hybrydyzacji sp^2 . Fulereny naturalnie można spotkać w szungicie [8] (minerał) i w tzw. strzałkach piorunowych – tworach powstałych w miejscu uderzenia pioruna w ziemię.

Grafen – pojedyncza warstwa grafitu o grubości jednego atomu, także o hybrydyzacji sp^2 . Warstwa grafenu jest niezmiernie cienka, więc zazwyczaj nanosi się go na jakieś podłoże. Jest on bardzo dobrym przewodnikiem ciepła (dziesięciokrotnie lepszym od srebra). Podobnie jak grafit jest również bardzo dobrym przewodnikiem prądu elektrycznego.

Cyklokarbon – składa się z 18 atomów węgla i ma kształt pierścienia. Każdy atom węgla łączy się jedynie z dwoma sąsiadującymi atomami; występują tu naprzemiennie wiązania potrójne i pojedyncze. Badania nad strukturą cyklokarbonu sugerują, że ma właściwości półprzewodnikowe; oznacza to, że ma potencjalne zastosowanie w elektronice. Cyklokarbon powinien pozwolić na stworzenie bramek logicznych czy tranzystorów o wielkości porównywalnej z rozmiarami atomu, co być może pozwoli na dalsze postępy w zakresie miniaturyzacji urządzeń elektronicznych.

Nanorurki – zbudowane są z grafenu zwiniętego w rurkę o średnicy około 1 nm i długości od kilku nanometrów do kilkunastu milimetrów. W zależności od ilości warstw rozróżniamy nanorurki jedno- i wielościenne. Podobnie jak grafit czy fulereny mają hybrydyzację sp^2 . Nanorurki są mocniejsze od stali, a także lżejsze od aluminium oraz twardsze od diamentu. Sfunkcjonalizowane powierzchniowo nanorurki (nanorurki ze zmienioną powierzchnią – przyp. red.) węglowe mogą służyć jako biosensory. Puste wnętrza może być wypełnione różnymi nanomateriałami, lekami itd. oddzielając je i osłaniając od otaczającego środowiska, co wydaje się przydatne w nanomedycynie, np. do transportu leków w organizmie.

Diament – regularna sieć przestrzenna o kształcie czworościanu foremnego (tetraedru). Atomy połączone są silnymi wiązaniami kowalencyjnymi jednakowej długości (orbitale walencyjne atomów węgla mają hybrydyzacje sp^3), wszystkie elektrony walencyjne są wykorzystane do tworzenia wiązań. Własności fizyczne diamentów to m.in.: wysoka przezroczystość w zakresie od ultrafioletu do dalekiej podczerwieni, gęstość wynosząca $3,53 \text{ g/cm}^3$, duży współczynnik załamania światła $n = 2,41$ (dla długości fali światła 532 nm), przerwa energetyczna 5,4 eV, wysoki współczynnik przewodnictwa cieplnego $2 \times 10^3 \text{ W/mK}$ (bardzo dobrze odprowadza ciepło), wytrzymałość na ściskanie 110 GPa, wytrzymałość na rozciąganie 2,2 GPa. Dwa ostatnie parametry dają diamentowi najwyższą notę 10 w skali Mohsa, czyli największą twardość wśród naturalnie występujących minerałów.

Sposób klasyfikowania diamentów polega na określeniu ilości domieszek:

Typ Ia – stanowi 98% całkowitego wydobycia; zawiera znaczne ilości azotu (około 0,1%), który nadaje intensywny żółto-brązowy kolor.

Typ Ib – stanowi 1% całkowitego wydobycia; zawiera do 0,01% azotu i ma jasno żółte zabarwienie.

Typ IIa – prawie nie zawiera azotu; rzadko występuje w przyrodzie, jest transparentny.

Typ IIb – zawiera domieszkę boru; jest błękitny.

Znane obecnie technologie produkcji sztucznych diamentów pozwalają na kontrolę i znaczne zmniejszenie koncentracji domieszek względem naturalnych kamieni. Do grupy Ib należą prawie wszystkie diamenty syntetyczne. Wydobycie diamentów naturalnych szacuje się na około 150 mln karatów [9], produkcja diamentów sztucznych to około 15 mld karatów [10].

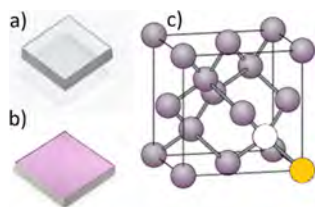
1.3. Defekty występujące w diamentach

Kryształy o idealnie periodycznym uporządkowaniu elementów strukturalnych nie występują w naturze. Naturalne kryształy zawierają rozmaite defekty, które powodują pewne odstępstwa od perfekcyjnej sieci krystalicznej i są ośrodkami gromadzenia energii – odkształcania wynikającego stąd, że każdy defekt powoduje przesunięcie atomów z ich położeń równowagi. Wpływ defektów sieci na własności kryształów jest bardzo istotny, dlatego dzielimy je na kilka kategorii:

- Punktowe (wakancja) – wolne miejsca w sieci krystalicznej, a także obecność innych atomów międzywęzłowych niż węgiel. Defekty takie odpowiadają za szybkość dyfuzji atomów w sieci krystalicznej, właściwości półprzewodnikowe, optyczne, jak i katalityczne.
- Liniowe (m.in. krawędziowe) – powstają poprzez wprowadzenie dodatkowej płaszczyzny między nieco

rozsunięte płaszczyzny sieciowe. Do defektów liniowych zalicza się także defekty śrubowe powstające w wyniku przesunięcia płaszczyzn atomowych. Odpowiadają one za odkształcanie tworzyw metalicznych pod wpływem sił znacznie słabszych od powodujących zniszczenie czystego materiału i mają wpływ na plastyczność metali.

- Powierzchniowe (tzw. granice międzyziarnowe) – to wąska strefa materiału, gdzie atomy ułożone są w sposób nieuporządkowany. Wpływają do pewnego stopnia na wzmocnienie materiału, czyli wzrost oporu materiału stawianego działającej sile w trakcie odkształcenia plastycznego.
- Przestrzenne (szczeliny i pory) – to duże przestrzenne braki w sieci krystalicznej. Bardzo wpływają na zmniejszenie wytrzymałości materiału.



Ryc. 1. Syntetyczny diament wytworzony techniką CVD: a) przed oraz b) po napromieniowaniu go wiązką elektronów i wygrzaniu – widoczna różowa barwa pochodząca od wytworzonych centrów NV; próbki przedstawione na rysunkach są sprzedawane komercyjnie (ich typowe rozmiary są rzędu 2-4 mm, a grubości 0,3-0,5 mm). c) Komórka podstawowa sieci krystalicznej diamentu zawierająca centrum barwne NV. Żółta kulka przedstawia atom azotu, biała wakancję, a pozostałe to atomy węgla

Szczególną pozycję wśród defektów pełnią centra barwne, czyli takie, które mają zdolność pochłaniania i reemitowania światła. W większości przypadków centrum powstaje przez zastąpienie jednego lub kilku sąsiednich atomów węgla atomem innego pierwiastka lub pozostawienie pustego oczka sieci krystalicznej (wakancji). Diamenty są dobrym medium dla centrów barwnych z powodu wysokiej przezroczystości (> 90%, od ultrafioletu po podczerwień), pozwalającej na łatwą obserwację fluorescencji lub absorpcji. Szeroka przerwa wzbroniona diamentu (rzędu 5,4 eV w temperaturze pokojowej) sprawia, że poziomy energetyczne elektronów związanych z takim centrum barwnym są znacznie oddalone od pasm diamentu. Dzięki temu są one dobrze izolowane od wpływu otoczenia, a przez to mają małą szerokość spektralną. Pozwala to na traktowanie centrów barwnych jako „sztuczne atomy” uwięzione w sieci krystalicznej i posiadające charakterystyczne wąskie widma optyczne. Do tej pory w diamentcie zostało zaobserwowanych około 600 różnych typów centrów barwnych [11].

2. Centrum barwne azot-wakancja

Jednym z najważniejszych centrów barwnych w sieci krystalicznej diamentu jest centrum NV azot-wakancja

(ang. *Nitrogen-Vacancy*). Składa się ono z atomu jednego z dwóch izotopów azotu ^{14}N lub ^{15}N (odpowiednio 99,634% i 0,366% naturalnego składu), w którego najbliższym sąsiedztwie znajduje się wakancja V, czyli luka po atomie węgla (ryc. 1c). Orientacja wiązania NV wyznacza oś centrum. Atom azotu wtrącony do sieci diamentu posiada pięć elektronów walencyjnych. Trzy z nich związane są z atomami węgla znajdującymi się wokół niego a pozostałe dwa z wakancją, dzięki czemu całe centrum jest obojętne elektrycznie. Układ taki nazywany jest neutralnym centrum barwnym NV^0 . Jeśli do wakancji przyłączony zostanie kolejny elektron, to ten defekt zamienia się w centrum barwne oznaczane NV^- . Ze względu na ciekawe właściwości i ważne zastosowania [12-16] centrum NV jest najczęściej badanym centrum barwnym w diamentach i dlatego poświęcamy mu resztę tego artykułu. Między NV^0 a NV^- zachodzi może konwersja ładunkowa (np. pod wpływem fotojonizacji NV) w obie strony. Rzadko zdarza się, że atom azotu ma tylko cztery elektrony walencyjne i powstaje centrum barwne NV^+ [17]. Taki defekt nie jest jednak aktywny optycznie.

W każdym diamentcie, niezależnie czy naturalnym, czy otrzymanym sztucznie, występuje jakaś naturalna zawartość azotu. Z reguły jest ona znacznie większa niż liczba wakancji, a więc by powstały w próbce liczne centra NV konieczne jest wytworzenie dostatecznej koncentracji wakancji. Uzyskujemy to poprzez napromieniowanie diamentu za pomocą elektronów, protonów, jonów albo fotonów. Przy stosowaniu wiązek elektronowych ich energie powinny być przynajmniej rzędu ~150 keV, choć najczęściej stosuje się energie rzędu kilku MeV, aby zapewnić wysoką jednorodność wakancji w całej objętości próbki (typowe rozmiary płytek diamentowych są rzędu 2-4 mm, grubość 0,3-0,5 mm). Gdy jednak trzeba wytworzyć cienką warstwę centrów NV wyłącznie przy powierzchni diamentu, wtedy naświetlamy próbkę diamentową protonami lub jonami (np. He^+), które nie wnikają głęboko w próbkę. W zależności od energii wiązki implantującej (od kilku do kilkuset keV) możemy kontrolować głębokość wytwarzania wakancji w zakresie od pojedynczych nanometrów do kilkudziesięciu mikrometrów. Po wytworzeniu wakancji przez napromieniowanie, prawdopodobieństwo, że znajdą się one w sąsiedztwie azotu, nie jest duże. W celu połączenia atomów azotu z wakancjami i wytworzenia wielu centrów NV wygrzewa się napromieniowaną próbkę w temperaturze pomiędzy 600-1200 °C w próżni bądź atmosferze ochronnej (np. w argonie). Wygrzewanie zwiększa mobilność wakancji w kryształce (przeskok atomu do wakancji likwiduje ją, tworząc jednocześnie inną w sąsiadującym oczku sieci zwolnionym przez atom) i tym samym zwiększa prawdopodobieństwo połączenia się atomu azotu z wa-

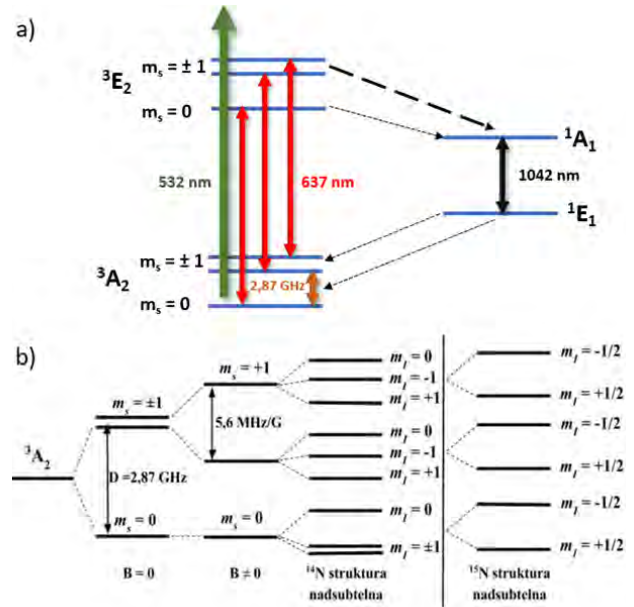
kancją w termodynamicznie stabilny układ centrum NV. Osiągana wydajność konwersji N do NV wynosi od kilku do kilkunastu procent. W zależności od czasu wygrzewania, zastosowanej temperatury oraz początkowych koncentracji azotu i wakancji możemy otrzymać różną zawartość centrów barwnych azot-wakancja (ryc. 1b) [18], przy czym już około 1 ppm centrów NV nadaje różowy kolor diamentom.

Współczesne badania centrów w próbkach diamentowych obejmują zarówno pojedyncze centra NV, jak też ich zespoły (ang. *ensembles*). Pierwsze są szczególnie istotne dla technologii kwantowych, kiedy bardzo ważne jest zapewnienie, że mamy do czynienia z pojedynczym obiektem kwantowym (lub z dokładnie określoną ich liczbą). Drugie dominują w zastosowaniach sensorycznych (np. magnetometrii), gdzie indywidualny charakter poszczególnych centrów nie ma znaczenia, natomiast względna dokładność pomiarów (stosunek sygnału do szumu) rośnie z liczbą obserwowanych centrów n jak \sqrt{n} .

Ważnym elementem metodyki doświadczeń z centrami barwnymi NV jest zastosowanie optycznej mikroskopii konfokalnej, w której zarówno wiązka światła wzbudzająca odpowiedni fragment próbki, jak i emitowane z niego promieniowanie fluorescencyjne mają wspólne trajektorie na długim odcinku. Ta metodyka wzmocniona obiektywem o dostatecznie dużym kącie bryłowym (duża wartość apertury numerycznej) pozwala na rejestrację sygnałów od centrów zlokalizowanych w niewielkiej objętości próbki.

2.1. Struktura elektronowa NV

Najciekawsze właściwości i najważniejsze zastosowania centrum NV⁻ wiążą się z jego strukturą elektronową a zwłaszcza paramagnetyzmem wynikającym z niezrównowagi spinu $S = 1$. Tak samo jak w widmach atomowych, centrum to posiada poziomy elektronowe trypletowe i singletowe (ryc. 2). W odróżnieniu jednak od struktur atomowych, w kryształach występuje pole krystaliczne (będące skutkiem głównie magnetycznego oddziaływania spin-spin), które sprawia, że nawet w zerowym polu magnetycznym trypletowy stan podstawowy jest rozszczepiony na podpoziom $m_S = 0$ i dwa podpoziomy $m_S = \pm 1$ oddalone w skali częstotliwości o około 2,87 GHz (w temperaturze pokojowej). Pod wpływem światła mogą zachodzić przejścia pomiędzy stanem podstawowym 3A_2 a wzbudzonym 3E_2 (także trypletem) zachowujące rzut spinu ($\Delta m_S = 0$). Przejście pomiędzy najniższymi poziomami wibracyjnymi tych stanów (nieujęte na ryc. 2), zachodzące bez wzbudzeń fononowych, nazywane jest przejściem bezfononowym ZPL (ang. *Zero-Phonon Line*) i wiąże się z wymianą fotonu



Ryc. 2. a) Schemat poziomów elektronowych centrum NV⁻. Linie ciągłe oznaczają przejścia promieniste a linie przerywane – przejścia bezpromieniste. Grubsza linia przerywana, oznacza większe prawdopodobieństwo przejścia. b) Schemat stanu podstawowego 3A_2 NV⁻ bez pola magnetycznego ($B = 0$) i z uwzględnieniem wpływu pola magnetycznego ($B \neq 0$) oraz oddziaływania nadsubtelnego z tworzącym centrum atomem azotu ^{14}N lub ^{15}N

o energii 1,945 eV odpowiadającej długości fali 637 nm. Stany singletowe to stan podstawowy 1A_1 i wzbudzony 1E_1 . Przejście między nimi ma linię bezfononową o energii 1,19 eV odpowiadającej długości fali 1042 nm.

2.2. Optyczna kontrola stanów spinowych

Istnienie omówionej struktury elektronowej pozwala na wzbudzenie optyczne centrum NV⁻ przez absorpcję światła o długości fali poniżej 637 nm. W większości doświadczeń stosuje się do tego celu zielone światło laserowe (np. 532 nm). Stan wzbudzony 3E_2 oraz niezaznaczone na ryc. 2a wyżej leżące stany fononowe emitują czerwone promieniowanie fluorescencyjne, co nadaje charakterystyczne zabarwienie kryształowi i uzasadnia nazwę *centrum barwne*. Gdyby cała populacja stanu 3E_2 powracała po wzbudzeniu do stanu 3A_2 z zachowaniem spinu, wówczas obsadzenia spinowych podpoziomów stanu podstawowego nie zmieniałyby się w wyniku wzbudzenia i emisji. Tak się jednak nie dzieje, ze względu na istnienie tzw. przejść z konwersją międzysystemową (ang. *Intersystem Crossing*, ISC) między stanami trypletowymi i singletowymi. Konwersja pomiędzy trypletem a singletem odbywa się niepromieniście – ilustrują ją linie przerywane na rycinie 2. Przejścia ze wzbudzonego stanu trypletowego 3E_2 do singletu 1A_1 odbywają się z większym prawdopodobieństwem ze stanów $m_S = \pm 1$ niż z $m_S = 0$. Ze stanu 1A_1 następuje później bardzo szybkie przejście do stanu 1E_1 (głównie promieniste, choć także możliwe jest niepromieniste). Następnie dolny stan

singletowy 1E_1 bezpromieniście deekscytuje do trypletowego stanu podstawowego 3A_2 . Taki proces prowadzi do nierównowagowego obsadzenia spinowych podpoziomów stanu podstawowego 3A_2 ; po wzbudzeniu światłem populacja stanów podstawowych z $m_S = 0$ jest większa niż stanów z $m_S = \pm 1$, a to oznacza wytworzenie *polaryzacji spinowej* stanu podstawowego. Proces ten stanowi przykład pompowania optycznego – ważnej metody badań atomów, molekuł i ciał stałych, za którą przyznano w 1966 roku nagrodę Nobla Alfredowi Kastlerowi [19]. W centrach NV pompowanie optyczne z konwersją międzysystemową pozwala na uzyskanie polaryzacji spinowej sięgającej nawet 80%.

2.3. Oddziaływanie z zewnętrznymi polami

Wpływ pola magnetycznego na centrum NV jest szczególnie silny ze względu na jego niezerowy spin. Symetria diamentu sprawia, że wpływ ten zależy od orientacji pola magnetycznego względem kierunków krystalograficznych. Pole magnetyczne działające wzdłuż osi centrum (kierunek wiązania NV) rozszczepia zeemanowsko stany $m_S = \pm 1$ nie zaburzając poziomu $m_S = 0$ (ryc. 2b, 4a). Takie rozszczepienie pozwala na obserwację dwóch niezależnych par przejść, jakie można indukować rezonansowym polem mikrofalowym: $m_S = 0 \leftrightarrow m_S = -1$ oraz $m_S = 0 \leftrightarrow m_S = +1$. Przejścia te pełnią rolę kubitów w inżynierii stanów kwantowych. Dla innych orientacji pola magnetycznego względem osi NV rozszczepienie zeemanowskie daje inny rozkład składowych (par przejść $m_S = 0 \leftrightarrow m_S = \pm 1$), co pokazano na ryc. 4a, 4b, 4c.

Podpoziomy zeemanowski stanu podstawowego 3A_2 zależą też od pola elektrycznego, a także od naprężeń sieci krystalicznej, zgodnie z hamiltonianem

$$H = H_S + H_{SI} + H_I, \quad (1)$$

w którym można wyróżnić trzy główne składowe pochodzące kolejno od spinu elektronowego ($S = 1$), oddziaływania nadsubtelnego ze spinem jądra azotu ($I = 1$ dla ^{14}N lub $I = 1/2$ dla ^{15}N) oraz oddziaływania związanego z kwadrupolowymi i dipolowymi momentami jądra [20]. Poszczególne człony całkowitego hamiltonianu są dane przez:

$$\begin{aligned} H_S &= DS_z^2 + E(S_x^2 - S_y^2) + g_S \mu_B \vec{B} \cdot \vec{S}, \\ H_{SI} &= A_{\parallel} S_z I_z + A_{\perp} (S_x I_x + S_y I_y), \\ H_I &= PI_z^2 - g_I \mu_N \vec{B} \cdot \vec{I}, \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie S oznacza spin elektronu, I spin jądra (ze składowymi x, y, z), \vec{B} zewnętrzne pole magnetyczne, D i E to odpowiednio podłużny i poprzeczny współczynnik rozszczepienia w polu zerowym (w typowych warunkach $D = 2,87$ GHz a E jest rzędu MHz), A_{\parallel} i A_{\perp} to odpowiednio stałe nadsubtelne: osiowa i poprzeczna (typowo obie wartości są bliskie 2 MHz), P kwadrupolowy współ-

czynnik rozszczepienia ($P = 4,95$ MHz), $g_S = 2,003$ i $g_I = 0,403$ to wartości elektronowego i jądrowego współczynnika Landego, μ_B i μ_N to odpowiednio magneton Bohra i magneton jądrowy. W zależności od rodzaju izotopu azotu tworzącego centrum NV mamy: ^{14}N ze spinem jądra $I = 1$ oraz ^{15}N z $I = 1/2$. Do członu jądrowego H_I we wzorach (1, 2) pewien wkład wnosi także spin jądra $I = 1$ paramagnetycznej domieszki izotopu ^{13}C . W niektórych zastosowaniach, głównie z zakresu technologii kwantowych, może on odgrywać ważną rolę rejestru kwantowego. Także kontrolowana zawartość innych domieszek paramagnetycznych może być istotna dla protokołów kwantowych [21, 22]. Występujące w hamiltonianie zależności od zewnętrznych pól (2) pozwalają także na opracowanie i konstrukcję czujników szeregu wielkości fizycznych, z których kilka omówimy w rozdziale 3.

2.4. Manipulacja spinem

2.4.1. Pompowanie optyczne – inicjalizacja spinu

W warunkach równowagi prawie wszystkie centra są w stanie podstawowym z jednakowymi populacjami wszystkich podpoziomów m_S i elektronowy spin centrum NV nie ma żadnej wyróżnionej orientacji przestrzennej. Spiny te można jednak spolaryzować światłem, o długości fali < 637 nm. Zazwyczaj robi się to światłem zielonym (532 nm). Indukuje ono przejścia ze stanu 3A_2 do stanu 3E_2 . Przejścia między stanami $m_S = 0$ zachowują spin, a więc populacja podpoziomu $m_S = 0$ powraca do stanu wyjściowego. Inaczej jednak będzie z populacją stanów wzbudzonych $m_S = \pm 1$, która ma niezerowe prawdopodobieństwo emisji do stanu singletowego 1A przez tzw. konwersję międzysystemową. Pojawia się więc ucieczka populacji ze stanów 3E z $m_S = \pm 1$ do 1A a następnie 1E i ostatecznie do $m_S = 0$ w stanie podstawowym. W konsekwencji takiego pompowania optycznego następuje inicjalizacja kubitów polegająca na wytworzeniu nierównowagowego obsadzenia stanu podstawowego, czyli spinowa polaryzacja stanu podstawowego.

2.4.2. Manipulacja polem rezonansowym, optycznie wykrywany rezonans magnetyczny

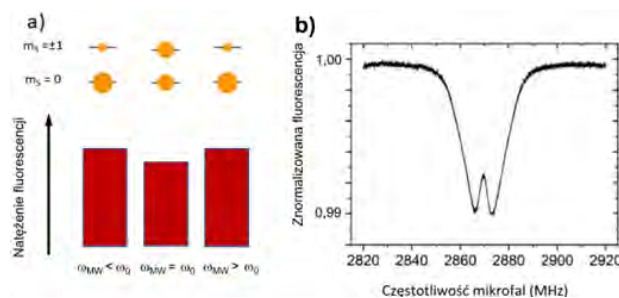
Dzięki niezerowemu spinowi, centrum NV^- umożliwia stosowanie technik elektronowego rezonansu spinowego (inaczej paramagnetycznego). Zjawisko rezonansu magnetycznego występuje rutynowo, kiedy układ posiada przynajmniej dwa stany kwantowe, między którymi może nastąpić przejście indukowane polem magnetycznym oscylującym z częstotliwością rezonansową dopasowaną do odległości między tymi stanami. Aby można je było obserwować, niezbędne jest istnienie nierównowagowego obsadzenia tych stanów, np. opisanej

wcześniej polaryzacji spinowej kreowanej przez pompowanie optyczne.

W przypadku stanu podstawowego centrum NV^- pole rezonansowe może sprzęgać dwie pary podpoziomów, czyli kreować dwie superpozycje kwantowe (kubity): $m_S = 0$ z $m_S = -1$ oraz $m_S = 0$ z $m_S = +1$, których częstości są w zakresie mikrofal. Za pomocą zewnętrznych pól możliwa jest manipulacja tymi superpozycjami polegająca na zastosowaniu rozmaitych technik z dziedziny rezonansu magnetycznego, obejmujących oscylacje Rabiego, zmiany fazy superpozycji, echa spinowe, rezonanse Ramsey'a itp.

Niezwykłą cechą centrów azot-wakancja jest fakt, że światło nie tylko inicjalizuje kubity i polaryzuje spiny NV^- , ale także pozwala na pomiar stopnia tej polaryzacji, ponieważ natężenie fluorescencji wzbudzonego centrum barwnego jest zależne od populacji dolnych podpoziomów: gdy centrum NV zostaje wzbudzone ze stanu $m_S = 0$ poziomu podstawowego 3A_2 , to fluorescencja jest silniejsza niż w przypadku wzbudzenia ze stanów $m_S = \pm 1$. Spowodowane jest to dostępnością innego kanału deekscytacji, tj. omówionej wyżej konwersji międzysystemowej tryplet-singlet, w której centra wzbudzone ze stanów $m_S = \pm 1$ „grzezną” na około 300 ns nie emitując przy tym czerwonego światła. Stan $m_S = 0$ jest zatem stanem jaśniejszym zarówno od stanów $m_S = \pm 1$, jak też od równowagowego rozkładu populacji (każdy stan wchodzi z wagą 1/3 całkowitej populacji).

Jeżeli oświetlone zielonym laserem centra NV umieścimy w ciągłym, oscylującym polu magnetycznym z zakresu mikrofalowego, którego częstość jest w rezonansie z odległością odpowiednich podpoziomów zeemanowskich, to wówczas populacje stanów spinowych zaczną się wyrównywać, czego skutkiem będzie spadek natężenia fluorescencji. W konsekwencji, przy przestrajaniu (skanowaniu) częstości pola rezonansowego przez wartość rezonansową (dla NV w zerowym polu magnetycznym jest to 2,87 GHz) i pomiarze natężenia fluorescencji rejestrowany jest sygnał ODMR, czyli optycznie wykrywany rezonans magnetyczny (ang. *Optically Detected Magnetic Resonance*). Metoda ODMR jest podstawową techniką spektroskopii i badania dynamiki spinowej centrów barwnych NV^- . Na rycinie 3b widoczne jest typowe widmo rezonansu ODMR dla centrum barwnego azot-wakancja w zerowym polu magnetycznym. Odwrócona krzywa rezonansowa związana jest ze spadkiem fluorescencji do wartości odpowiadającej brakowi polaryzacji spinowej, czyli równowagowemu obsadzeniu stanów, a podwójna struktura tego rezonansu jest wynikiem małego rozszczepienia między stanami $m_S = \pm 1$, wynikającego z naprężenia sieci krystalograficznej (parametr E w hamiltonianie). Maksymalny osiągalny kontrast (względna głębokość rezonansu) dla zespołów cen-



Ryc. 3. a) Schematyczny rozkład populacji stanów $m_S = 0$ i $m_S = \pm 1$ oraz związane z nimi natężenie fluorescencji w funkcji częstotliwości mikrofal ω_{MW} względem rezonansu ω_0 . Rozmiar żółtej kropki symbolizuje populację danego stanu. b) Przykładowe widmo ODMR dla próbki diamentowej NV^- zarejestrowane w zerowym polu magnetycznym; populacje stanów $m_S = 0$ i $m_S = \pm 1$ oraz związane z nimi natężenie fluorescencji zmienia się w funkcji częstotliwości mikrofal ω_{MW}

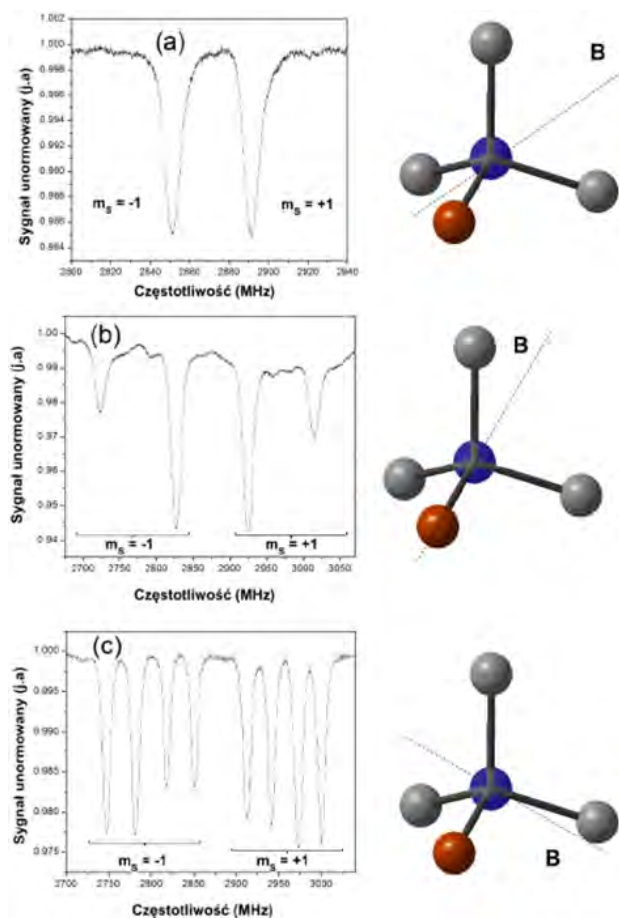
trów barwnych wynosi od kilku do kilkunastu procent a dla pojedynczych centrów może przekraczać 30% przy zerowej wartości pola magnetycznego [23].

3. Przykłady zastosowań

3.1. Pomiar pola magnetycznego

W zerowym polu magnetycznym rozszczepienie między stanami spinowymi wynosi 2,87 GHz. Stany $m_S = \pm 1$ są dodatkowo rozszczepione w zerowym polu magnetycznym z powodu występowania naprężeń sieci, co demonstrowuje podwójna struktura widma z próbki o dużej gęstości centrów NV na ryc. 3b. W niezerowym polu magnetycznym, zorientowanym wzdłuż kierunku krystalograficznego [100] w diamencie (każda z 4 orientacji centrów w monokryształach tworzy wtedy z wektorem pola kąt $109,47^\circ/2 = 54,7^\circ$) stany $m_S = \pm 1$ rozszczepiają się o: $\cos(54,7^\circ) \times 5,6 \text{ MHz/G} \approx 3,2 \text{ MHz/G}$. Dla innych orientacji pola względem osi centrów NV stany $m_S = \pm 1$ też są rozszczepiane, ale wielkość tego rozszczepienia może być różna dla każdej z czterech orientacji w zależności od kąta, jaki tworzy wektor pola magnetycznego z odpowiednim dla danej orientacji kierunkiem krystalograficznym. W konsekwencji liczba rozróżnialnych par rezonansów może wynosić od jednej do czterech, gdyż niektóre rezonanse mogą się na siebie nakładać (następuje *degeneracja*). Gdy pole magnetyczne jest równoległe do osi NV (kierunek [111]), stany $m_S = \pm 1$ tej grupy centrów rozszczepiają się o 5,6 MHz/G.

Na rycinie 4 widoczne są trzy widma ODMR kryształu diamentu z centrami NV w polu magnetycznym ustawionym w wybranych kierunkach względem sieci krystalograficznej. Widmo na ryc. 4a odpowiada kierunkowi pola magnetycznego wzdłuż osi krystalograficznej [100]. Widoczne są wtedy dwa rezonanse pochodzące od stanów $m_S = -1$ i $m_S = +1$ początkowo zdegenerowane ze względu na identyczną wartość rzutu wektora pola magnetycznego na wszystkie 4 orientacje (kierunki krystalograficzne) centrów NV . Na rycinie 4 b pokazano widmo



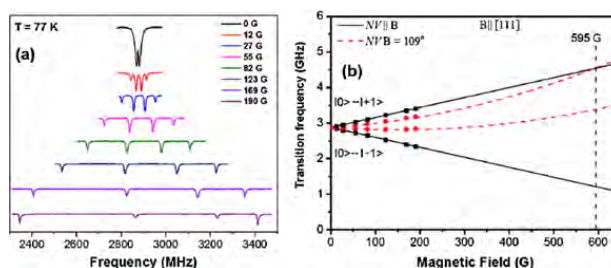
Ryc. 4. Widma ODMR dla różnych kierunków przyłożonego pola magnetycznego względem wybranych osi krystalograficznych przedstawionych po prawej stronie rysunku. a) [100], b) [111], c) nieskorelowany z żadną z osi krystalograficznych

dla pola magnetycznego równoległego do osi [111]. Widoczne są wtedy cztery rezonanse, z których zewnętrzna para jest związana z centrami ustawionymi w kryształce wzdłuż kierunku [111], a wewnętrzne rezonanse pochodzą od trzech pozostałych orientacji centrów barwnych, z których każda jest skierowana pod identycznym kątem $109,47^\circ$ do kierunku pola magnetycznego (trzykrotna degeneracja). Widmo na ryc. 4b odpowiada natomiast przypadkowej orientacji pola magnetycznego, niezwiązanej z żadnym wyróżnionym kierunkiem krystalograficznym. Uwidacznia ono aż 8 rezonansów pochodzących od 4 możliwych ustawień centrów barwnych azot-wakancja w diamentcie, z których każdy zawiera dwie różnie rozszczepione składowe $m_S = \pm 1$.

Rejestrując widma ODMR można wyznaczać pole magnetyczne wokół NV^- poprzez pomiar częstości składowych rezonansów dla określonej orientacji kryształu. Na rycinie 5a przedstawione są widma ODMR w zależności od przyłożonego pola magnetycznego w kierunku krystalograficznym [11], na ryc. 5b zaś pokazano zależność częstości poszczególnych rezonansów od natężenia pola. Istotna jest tu liniowa zależność pozycji zewnętrznych rezonansów od pola. Wewnętrzne rezonanse po-

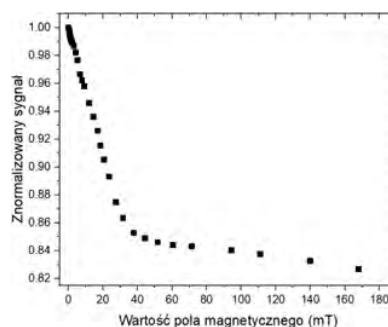
chodzące od innego kierunku ułożenia centrów barwnych NV^- w komórce elementarnej diamentu względem pola magnetycznego zależą natomiast od pola nieliniowo z powodu degeneracji kilku stanów własnych hamiltonianu (1).

Przy użyciu techniki ODMR, możliwe jest mierzenie pól magnetycznych z czułością magnetyczną sięgającą nawet setek pT/\sqrt{Hz} . Taka dokładność pozwala np. na rejestrację na powierzchni klatki piersiowej sygnałów magnetycznych pochodzących od serca [24].



Ryc. 5. a) Widma ODMR w zależności od przyłożonego pola magnetycznego. b) Przebieg przejść między stanami $m_S = 0 \leftrightarrow m_S = \pm 1$ dla pola magnetycznego ustawionego równoległe do kierunku krystalograficznego [111] [25]

Warto w tym miejscu wspomnieć, że nie wszystkie pomiary indukcji pola magnetycznego wymagają wykorzystania mikrofal i techniki ODMR. Jak widać na ryc. 6, w okolicy zerowego pola i aż do ok. 30 mT, natężenie fluorescencji centrów NV w próbce spada o kilkanaście procent wraz ze wzrostem pola, nawet bez indukowania rezonansu ODMR polem mikrofalowym. Po odpowiednim wykalibrowaniu, zależność ta może być wykorzystana do wyznaczania wartości pola magnetycznego oferując szeroki zakres dynamiczny pola (rzędu 30 mT), ale przy ograniczonej precyzji jego wyznaczania.

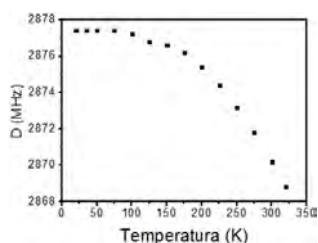


Ryc. 6. Zależność poziomu fluorescencji (unormowana do maksimum) od wartości przyłożonego pola magnetycznego. Przy wartości pola około 35 mT obserwujemy spadek rzędu 15% [26]

3.2 Pomiar temperatury

Precyzyjne pomiary spektroskopowe pokazały, że położenie rezonansu ODMR pochodzącego od centrum barwnego azot-wakancja w diamentcie zależy także od temperatury. Zależność ta jest wynikiem rozszerzalności

cieplnej oraz oddziaływania elektronów z fononami [27]. Na rycinie 7 przedstawione są wyniki pomiarów położenia środka rezonansu ODMR (odpowiadającego parametrowi D w hamiltonianie H_s (2), w zerowym polu magnetycznym (ryc. 3b) od temperatury próbki chłodzonej za pomocą kriostatu.



Ryc. 7. Zależność położenia centralnego rezonansu w zerowym polu magnetycznym w zależności od temperatury [28]

Dla temperatur poniżej 80 K przesunięcie rezonansu jest praktycznie niemierzalne. Powyżej tej temperatury rezonans przesuwa się ku niższym częstotliwościom stopniowo, coraz szybciej wraz ze wzrostem temperatury. Dzięki temu zjawisku centrum barwne NV^- może pełnić rolę miniaturowego termometru. Dla wąskiego zakresu zmian temperatur zmiana częstotliwości rezonansu może być w przybliżeniu traktowana jako liniowa, a w temperaturach bliskich pokojowej zmiana ta wynosi około -74 kHz/K [29].

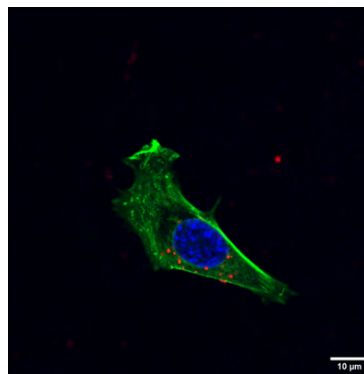
Analiza wzoru (1) pozwala zauważyć, że pomiar wszystkich składowych widma ODMR w określonym polu magnetycznym i temperaturze umożliwia równoczesne określenie obu tych wielkości fizycznych. W praktyce istnieje jeszcze kilka czynników, które mogą wpływać na strukturę poziomów energetycznych takiego układu, jak wpływające na parametr D we wzorze (2) wysokie ciśnienie i naprężenia lub też pole elektryczne, przy czym jednoznaczne wyznaczenie wszystkich tych parametrów wymaga dbałości o szczegóły prowadzonego doświadczenia.

3.3. Zastosowania mikro- i nanodiamentów

Zastosowania czujników z centrami NV obejmują także mikro- i nanodiamenty. Możliwości wyznaczania pól i temperatur w skali mikro i nano są ogromnym atutem umożliwiającym pomiary tych ważnych wielkości fizycznych z wysoką przestrzenną zdolnością rozdzielczą. W połączeniu z nowoczesnymi technikami współczesnej mikroskopii optycznej i mikroskopii skaningowej otwiera to bardzo atrakcyjne perspektywy dla wielu dyscyplin nauki.

Jedną z technik rozwijanych w Zakładzie Fotoniki Uniwersytetu Jagiellońskiego wykorzystuje się możliwość pokrycia rozmaitych powierzchni cienkimi warstwami zawierającymi mikro- lub nanodiamenty z centrami NV.

Po optycznym wzbudzeniu możliwa jest przestrzenna rejestracja ich fluorescencji i obrazowanie w szerokim polu (ang. *wide-field imaging*) przy użyciu kamery. Pozwala ono uzyskiwać przestrzenne mapy nie tylko rozkładów gęstości centrów pokrywających daną powierzchnię, ale także rozkład pól magnetycznych lub temperatury na tej powierzchni [30, 31].



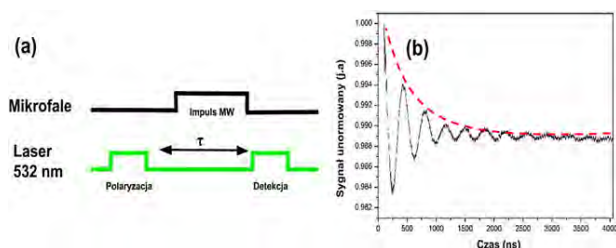
Ryc. 8. Zdjęcie z mikroskopu konfokalnego pojedynczej komórki zarodkowego fibroblastu mysiego. Włókna aktynowe (niemal cały obszar komórki) są zielone, nanodiamenty zawierające centra NV są widoczne jako czerwone punkty, natomiast jądro komórkowe jest niebieskie (powiększenie 40x, $103 \times 103 \mu\text{m}^2$) (za zgodą Armina Ebrahimi – autorzy dziękują za udostępnienie zdjęcia)

Ponieważ nanodiament zawierający centrum barwne azot-wakancja składa się z nietoksycznych związków węgla – podstawowego budulca związków organicznych i śladowych ilości azotu, idealnie nadaje się do badań biologicznych. Taki nanodiament może być umieszczony w komórce biologicznej i wykorzystany do przedstawionych powyżej pomiarów przy użyciu centrów NV. Wykorzystuje się także fakt, że centra barwne NV nie blakną pod wpływem światła (ang. *photo bleaching*), dzięki czemu diamenty z centrami NV doskonale nadają się do długoterminowego fluorescencyjnego znacznikowania i obrazowania przyłączonych do nich związków chemicznych czy biologicznych. Na rycinie 8 przedstawione jest zdjęcie komórki zarodkowego fibroblastu mysiego wykonane za pomocą mikroskopu konfokalnego, które przedstawia doskonale widoczne nanodiamenty zawierające centra barwne azot-wakancja. W istocie jest to złożenie trzech zdjęć, robionych osobno dla każdego koloru. W kolorze niebieskim widoczne jest jądro komórkowe, zielonym kolorem zaś zobrazowane zostały włókna aktynowe obejmujące swoim zasięgiem niemal całą komórkę. Komórkę oświetlono laserami o trzech kolorach, z których zielony wzbudził czerwoną fluorescencję nanodiamentów. W takim układzie analiza widm ODMR nanodiamentów pozwala badać zmiany temperatury i pola magnetycznego (a także szumu pochodzącego np. od wolnych rodników) w komórkach pod wpływem czynników chemicznych, stanów zapalnych, zmian nowotworowych, itd. [32].

3.4. Technologie kwantowe

Z technologicznego punktu widzenia diament wydaje się idealnym materiałem do zbudowania urządzenia wykorzystującego właściwości mechaniki kwantowej, takie jak koherencja i splątanie kwantowe. Omówione powyżej właściwości optyczne doskonale się nadają do implementacji nowych technologii kwantowych. Centra barwne azot-wakancja w diamencie umożliwiają budowanie indywidualnych systemów kwantowych, które mogą pracować także w temperaturze pokojowej. Działają one na omówionych już wcześniej (rozdz. 2.4) kubitach, czyli superpozycjach stanów spinowych m_S , które można kreować za pomocą impulsów mikrofalowych. Zgodnie z zasadami rezonansu magnetycznego, wytworzona superpozycja wykonuje oscylacje Rabiego zależne od udziału poszczególnych stanów kwantowych w danej superpozycji. Konkretnie, jeśli częstość pola mikrofalowego jest równa różnicy częstości stanów $m_S = 0$ i $m_S = +1$ i w chwili początkowej centrum NV^- jest w stanie $m_S = 0$ (oznaczanym jako $|0\rangle$), to po czasie t prawdopodobieństwo znalezienia atomu w stanie $m_S = +1$ (określanym jako $|1\rangle$) będzie równe $P_{01}(t) = e^{-\frac{t}{T_2^*}} \sin^2 \frac{\omega_1}{2} t$, gdzie ω_1 jest proporcjonalne do natężenia pola mikrofalowego i oznacza częstość Rabiego, T_2^* zaś oznacza czas relaksacji poprzecznej wytworzonego kubit. Gwiazdka sygnalizuje, że mamy do czynienia z relaksacją przejścia poszerzonego niejednorodnie.

Możliwość indywidualnego wybierania miejsca próbki, a nawet pojedynczych centrów za pomocą konwencjonalnej mikroskopii i zastosowania impulsów mikrofalowych pozwala na pełną kwantową kontrolę stanu centrum barwnego. Na rycinie 9 przedstawiono typową sekwencję impulsów do rejestracji oscylacji Rabiego oraz przykład obserwowanych oscylacji w zbiorze centrów NV^- .



Ryc. 9. a) Sekwencja impulsów do rejestracji oscylacji Rabiego z próbkami diamentu zawierającymi centra NV^- . b) Oscylacje Rabiego z próbką w temperaturze pokojowej. Linia ciągła przedstawia oscylacje obserwowane przy wydłużaniu czasu τ , a przerywana pokazuje obwiednię amplitudy oscylacji związaną z eksponencjalnym zanikiem ze stałą czasową T_2^*

Dla skonstruowania kubit, pozwalającego na wykonanie odpowiednio dużej liczby operacji, konieczne jest z jednej strony osiągnięcie dostatecznej szybkości zmiany stanu (wysokiej częstości Rabiego), z drugiej zaś dosta-

ecznie długiego czasu życia kubit (wolnej relaksacji). Centra NV^- pozwalają na spełnienie obu tych warunków. Co więcej, nie jest konieczne stosowanie skomplikowanych technik kriogenicznych i mogą one być spełnione nawet w temperaturze pokojowej, co jest wielką rzadkością, trudną do osiągnięcia przy wykorzystaniu innych kandydatów na kubity z zakresu ciała stałego.

W najlepszych układach czas potrzebny do manipulacji stanem kubit w diamencie wynosi kilkanaście nanosekund, a zmierzone czasy dekoherencji w temperaturze pokojowej wynoszą nawet milisekundy [33], co oznacza, że można wykonać tysiące operacji, zanim dekoherencja przejmie kontrolę i stan superpozycji zostanie utracony. Badania nad budowaniem w diamencie małych pamięci kwantowych i innych kilkukubitowych protokołów są bardzo obiecujące [34].

Innym ważnym zastosowaniem centrów NV^- do technologii kwantowych jest emisja pojedynczych fotonów. Pojedyncze fotony, powstające przy deekscytacji pojedynczego atomu bądź centrum barwnego, mogą być wykorzystywane do wielu zastosowań, w tym do metrologii kwantowej, obrazowania i ultrabezpiecznej komunikacji przy użyciu protokołów dystrybucji klucza kwantowego. Centra barwne azot-wakancja w diamencie wykazują fotostabilną emisję pojedynczych fotonów [35]. Wyzwaniem technologicznym pozostaje jednak zapewnienie nierozróżnialności centrów, zanim staną się pełnoprawnymi i powszechnymi źródłami pojedynczych fotonów [36].

Ważnym wyzwaniem dla praktycznego stosowania centrów barwnych azot-wakancja w świecie kwantów jest kwestia skutecznego interfejsu diamentu z innym ciałem stałym, np. strukturami fonicznymi. Silne sprzężenie centrów barwnych z modami pola elektromagnetycznego poprawia wydajność zbierania fotonów i zapewnia możliwość kontrolowania i dostrajania układu optycznego do przejścia między stanami spinowymi [37]. Sprzężenie optyczne jest również ważne dla skalowalności układów kwantowych, a więc dla osiągnięcia dalekiego zasięgu między sprzęganymi kubitami. Mimo długich czasów życia pojedynczych kubitów, dotychczas uzyskano koherentne sprzężenia optyczne w warunkach kriogenicznych [38]. Jak dotąd, ograniczenia skalowalności wykluczają poprawne działanie diamentowego komputera kwantowego w temperaturze pokojowej.

Jednym z problemów technicznych związanych z powszechnym wykorzystaniem diamentu z centrami barwnymi NV^- jest ograniczona liczba dostawców diamentów odpowiednich dla zastosowań centrów NV^- w technologiach kwantowych. W ostatnich latach poczyniono jednak bardzo duże postępy w wytwarzaniu pojedynczych kryształów diamentu za pomocą technik chemicznego osadzania z fazy gazowej. Koncentracje niechcianych do-

mieszek (szczególnie azotu – potencjalnego źródła dekoherencji) zostały zredukowane do mniej niż jednej części na miliard (ppb), przy gęstościach dyslokacji znacznie niższych niż w przypadku naturalnego diamentu. Można więc mieć nadzieję, że powszechna dostępność materiału o takiej czystości i doskonałości umożliwi w najbliższym czasie stworzenie wielu nowych i praktycznych urządzeń kwantowych.

Mając na uwadze to, co wiemy teraz o wyzwaniach związanych ze skalowaniem procesorów kwantowych, wydaje się mało prawdopodobne, abyśmy zobaczyli komputer kwantowy oparty o centra barwne NV na dużą skalę w ciągu najbliższych lat. Aplikacje na poziomie kilku kubitów są jednak niezbędne do zbudowania komercyjnej ścieżki między dzisiejszymi demonstracjami a masowo spletanymi komputerami kwantowymi. Wydaje się więc, że diament z centrami barwnymi azot-wakancja to bardzo obiecujący kandydat do zastosowań w komputerach kwantowych.

4. Podsumowanie

W niniejszym artykule staraliśmy się przedstawić właściwości fizyczne i podstawowe procesy sprawiające, że diamenty z centrami barwnymi azot-wakancja przyciągają coraz liczniejsze grono badaczy i znajdują coraz szersze zastosowania. Jak wiadomo diamenty zachwycają na co dzień swoim pięknem. Mamy nadzieję, że ukazaliśmy także ich właściwości fizyczne, które sprawiają, że od wieków jest to jeden z najciekawszych materiałów. Niemal zawsze staramy się szukać struktur możliwie idealnych, a w przypadku centrów NV najciekawsze efekty okazują się ukryte w niedoskonałościach struktury diamentu jakimi są domieszki i defekty struktury krystalograficznej. Możemy je w kontrolowany sposób wytwarzać i modyfikować, co daje nam możliwość kształtowania nowych, atrakcyjnych właściwości tego niezwykłego materiału. Badania wykonywane z wykorzystaniem diamentów z centrami barwnymi azot-wakancja mają już teraz praktyczne zastosowania w wielu naukach i dziedzinach życia takich jak biologia, medycyna, fizyka czy geologia. Coraz to nowe odkrycia w fizyce centrów barwnych dają szansę na lepsze poznanie i zrozumienie świata.

Literatura

- [1] I. Szlęk, „Diamenty – historia, szlify, wartość”, Galeria Bizuterii Dawnej – <https://bizuteriadawna.pl/conieco-o-diamentach.html> [dostęp 2022-12-12].
- [2] R. Tappert, M.C. Tappert, “The Origin of Diamonds” *Diamonds in Nature* Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [3] https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/download/world_statistics/2010s/WMP_2016_2020.pdf [dostęp 2022-11-29].
- [4] K. Nassau, J. Nassau, “The history and present status of synthetic diamond”, *Journal of Crystal Growth* 46(2), (1979).
- [5] Y. Zhang, C. Zang, H. Ma, Z. Liang, L. Zhou, S. Li, X. Jia, “HPHT synthesis of large single crystal diamond doped with high nitrogen concentration”, *Diamond and Related Materials*, 17(2), (2008).
- [6] F.G. Celii, J.E. Butler, “Diamond Chemical Vapor Deposition” *Annual Review of Physical Chemistry*, 42(1), (1991)
- [7] V. Pichot, M. Comet, E. Fousson, C. Baras, A. Senger, F. Le Normand, D. Spitzer, “An efficient purification method for detonation nanodiamonds”, *Diamond and Related Materials*, 17(1), (2008).
- [8] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Szungit> [dostęp 2023-01-16].
- [9] https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/download/world_statistics/2010s/WMP_2014_2018.pdf [dostęp 2022-11-22].
- [10] <https://www.statista.com/statistics/280216/global-synthetic-diamond-production/#:~:text=In%202019%2C%20the%20global%20production,than%20as%20gemstones%20in%20jewelry> [dostęp 2022-11-22].
- [11] A. Zaitsev, *Optical Properties of Diamond* Springer, Berlin, Heidelberg, 2001.
- [12] J. Tomkovič, M. Schreiber, J. Welte, M. Kiffner, J. Schmiedmayer, M. K. Oberthaler, “Single spontaneous photon as a coherent beamsplitter for an atomic matter-wave”, *Nature Physics* 7, 379–382, (2011).
- [13] V. M. Acosta, E. Bauch, M. P. Ledbetter, A. Waxman, L.-S. Bouchard, and D. Budker, “Temperature dependence of the nitrogen-vacancy magnetic resonance in diamond”, *Physical Review Letters* 104, 070801, (2011).
- [14] M. W. Doherty, V. V. Struzhkin, D. A. Simpson, L. P. McGuinness, Y. Meng, A. Stacey, T. J. Karle, R. J. Hemley, N. B. Manson, L. C. L. Hollenberg, and S. Prawer, “Electronic properties and metrology applications of the diamond NV– center under pressure” *Physical Review Letters* 112, 047601, (2014).
- [15] D. Le Sage, L. M. Pham, N. Bar-Gill, C. Belthangady, M. D. Lukin, A. Yacoby, and R. L. Walsworth, “Efficient photon detection from color centers in a diamond optical waveguide”, *Phys. Rev. B* 85, 121202(R), (2012).
- [16] P. Maletinsky, S. Hong, M. Grinolds, B. Hausmann, M. D. Lukin, R. L. Walsworth, M. Loncar, A. Yacoby “A robust scanning diamond sensor for nanoscale imaging with single nitrogen-vacancy centres”, *Nature Nanotechnology* 7, 320–324, (2012).
- [17] B. Grotz, M. V. Hauf, M. Dankerl, B. Naydenov, S. Pezzagna, J. Meijer, F. Jelezko, J. Wrachtrup,

- M. Stutzmann, F. Reinhard, J. A. Garrido, "Charge state manipulation of qubits in diamond", *Nature Communications*, 3(1), 729, (2012).
- [18] V. M. Acosta, E. Bauch, M. P. Ledbetter, C. Santori, K.-M. C. Fu, P. E. Barclay, R. G. Beusoleil, H. Linget, J. F. Roch, F. Treussart, S. Chemerisov, W. Gawlik, and D. Budker, "Diamonds with a high density of nitrogen-vacancy centers for magnetometry applications", *Physical Review B* 80, 115202, (2009).
- [19] <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/kastler-lecture.pdf> [dostęp 2022-10-21].
- [20] V.M. Acosta, D. Budker, P.R. Hemmer, J.R. Maze, and R.L. Walsworth *Optical magnetometry with nitrogen-vacancy centers in diamond*, Oxford University Press, 2013.
- [21] Y. N. Palyanov, Y. M. Borzdov, A. F. Khokhryakov, I. N. Kupriyanov, A. G. Sokol, "Effect of Nitrogen Impurity on Diamond Crystal Growth Processes", *Crystal Growth & Design*, 10(7), (2010).
- [22] E. V. Levine, M. J. Turner, P. Kehayias, C. A. Hart, N. Langellier, R. Trubko, D. R. Glenn, R. R. Fu, R. L. Walsworth, "Principles and techniques of the quantum diamond microscope", *Nanophotonics*, 8(11), (2019),
- [23] L. Rondin, J.-P. Tetienne, T. Hingant, J.-F. Roch, P. Maletinsky and V. Jacques "Magnetometry with nitrogen-vacancy defects in diamond", *Reports on Progress in Physics*, 77, 056503, (2014).
- [24] K. Arai, A. Kuwahata, D. Nishitani, I. Fujisaki, R. Matsuki, Y. Nishio, Z. Xin, X. Cao, Y. Hatano, S. Onoda, C. Shinei, M. Miyakawa, T. Taniguchi, M. Yamazaki, T. Teraji, T. Ohshima, M. Hatano, M. Sekino, T. Iwasaki, "Millimetre-scale magnetocardiography of living rats with thoracotomy", *Communications Physics*, 5(2), (2022).
- [25] M. Mrózek, D. Rudnicki, P. Kehayias, A. Jarmola, D. Budker, W. Gawlik, "Longitudinal spin relaxation in nitrogen-vacancy ensembles in diamond", *EPJ Quantum Technology*, 2 (22) (2015).
- [26] A. Filipkowski, M. Mrózek, G. Stępniewski, J. Kierdaszuk, A. Drabińska, T. Karpate, M. Głowacki, M. Ficek, W. Gawlik, R. Buczyński, A. Wojciechowski, R. Bogdanowicz, M. Klimczak, "Volumetric incorporation of NV diamond emitters in nanostructured F2 glass magneto-optical fiber probes", *Carbon*, 196, (2022).
- [27] M.W. Doherty, V. M. Acosta, A. Jarmola, M. S. J. Barson, N. B. Manson, D. Budker, L. C. L. Hollenberg, "Temperature shifts of the resonances of the NV- center in diamond", *Physical Review B*, 90, 041201(R), (2014).
- [28] M. Mrózek, *Mikrofalowa spektroskopia saturacyjna w centrach barwnych NV⁻ w diamentach*, praca doktorska, UJ, Kraków, 2017.
- [29] A. Jarmola, V. M. Acosta, K. Jensen, S. Chemerisov, D. Budker, "Temperature and magnetic field dependent longitudinal spin relaxation in nitrogen-vacancy ensembles in diamond", *Physical Review Letters*, 108, 197601 (2012).
- [30] S. Sengottuvel, M. Mrózek, M. Sawczak, M. J. Głowacki, M. Ficek, W. Gawlik, A. M. Wojciechowski, "Wide-field magnetometry using nitrogen-vacancy color centers with randomly oriented micro-diamonds", *Scientific Reports*, 12, 17997 (2022).
- [31] P. Czarnecka, M. Jani, S. Sengottuvel, M. Mrózek, P. Dąbczyński, A. Filipkowski, I. Kujawa, D. Pysz, W. Gawlik, A. M. Wojciechowski, "Magnetically-sensitive nanodiamond thin-films on glass fibers", *Optical Materials Express* 12, 444-457, (2022).
- [32] D. R. Glenn, K. Lee, H. Park, R. Weissleder, A. Yacoby, M. D. Lukin, H. Lee, R. L. Walsworth, C. B. Connolly, "Single-cell magnetic imaging using a quantum diamond microscope", *Nature Methods*, 12, 736–738, (2015).
- [33] T. Gaebel, M. Domhan, I. Popa, C. Wittmann, P. Neumann, F. Jelezko, J. R. Rabeau, N. Stavrias, A. D. Greentree, S. Prawer, J. Meijer, J. Twamley, P. R. Hemmer, J. Wrachtrup, "Room-temperature coherent coupling of single spins in diamond", *Nature Physics*, 2, 408–413, (2006).
- [34] R. Hanson, F. M. Mendoza, R. J. Epstein, and D. D. Awschalom, "Polarization and Readout of Coupled Single Spins in Diamond", *Physical Review Letters* 97, 087601, (2006).
- [35] Ch. Kurtsiefer, S. Mayer, P. Zarda, H. Weinfurter, "Stable Solid-State Source of Single Photons", *Physical Review Letters*, 85, 290, (2000).
- [36] M. Y. Shalaginov, V. V. Vorobyov, J. Liu, M. Ferrera, A. V. Akimov, A. Lagutchev, A. N. Smolyaninov, V. V. Klimov, J. Irudayaraj, A. V. Kildishev, A. Boltasseva, and V. M. Shalaev, "Single-photon source based on NV center in nanodiamond coupled to TiN-based hyperbolic metamaterial", CLEO, paper JTU4A.38, (2014).
- [37] Ph. Tamarat, T. Gaebel, J. R. Rabeau, M. Khan, A. D. Greentree, H. Wilson, L. C. L. Hollenberg, S. Prawer, P. Hemmer, F. Jelezko, J. Wrachtrup, "Stark Shift Control of Single Optical Centers in Diamond", *Physical Review Letters*, 97, 083002, (2006).
- [38] A. Batalov, C. Zierl, T. Gaebel, P. Neumann, I.-Y. Chan, G. Balasubramanian, P. R. Hemmer, F. Jelezko, and J. Wrachtrup, "Temporal Coherence of Photons Emitted by Single Nitrogen-Vacancy Defect Centers in Diamond Using Optical Rabi-Oscillations", *Physical Review Letters*, 100, 077401, (2008).

Narodowe Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych – NLPQT

Piotr Fita*, Mihai Suster**

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Abstrakt. Narodowe Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych – NLPQT to projekt inwestycyjny, którego celem jest budowa infrastruktury pozwalającej na prowadzenie badań i prac badawczo-rozwojowych w zakresie technologii wykorzystujących światło i zjawiska kwantowe. Infrastruktura jest budowana przez zespoły badawcze pracujące w siedmiu polskich jednostkach naukowych. Po zakończeniu inwestycji będzie ona dostępna zarówno dla pracowników naukowych z innych ośrodków, jak i dla zainteresowanych przedsiębiorców działających w obszarze nowych technologii. W artykule przedstawiamy założenia dotyczące budowanej infrastruktury i opisujemy przykładowe stanowiska badawcze, których konstrukcja została już prawie ukończona.

Słowa kluczowe: optyka, fotonika, metrologia, lasery, technologie kwantowe, infrastruktura badawcza,

Abstract. The National Laboratory of Photonics and Quantum Technologies – NLPQT is an investment project aimed at building an infrastructure that will allow research and development work in the field of technologies that use light and quantum phenomena. The infrastructure is built by research teams working in seven Polish research institutions. After the investment is completed, it will be available both to researchers from other research centers and to interested entrepreneurs operating in the field of new technologies. In the article, we present the assumptions regarding the NLPQT infrastructure and describe example research stations, the construction of which has already been almost completed.

Keywords: optics, photonics, metrology, lasers, quantum technologies, research infrastructure

Dynamiczny rozwój technologii wytwarzania, przetwarzania i detekcji światła w ciągu ostatnich kilkunastu lat zrewolucjonizował wiele dziedzin życia. Wszyscy korzystamy z telefonów wyposażonych w znakomite kamery i jasne wyświetlacze o dużej rozdzielczości, a mieszkania oświetlamy diodami LED, dzięki czemu nasze zużycie energii elektrycznej jest nieporównanie mniejsze niż wcześniej. Mniej widoczne, choć również wszechobecnie stosowane, jest uwięzienie w światłowodach promieniowanie o długościach fali poza zakresem czułości ludzkiego wzroku. Służy ono do błyskawicznego przesyłania olbrzymich ilości informacji, co pozwala nam, między innymi, na robienie zakupów bez wychodzenia z domu, oglądanie nieprzebranych zasobów zdjęć i filmów z każdego zakątka kuli ziemskiej, granie w gry komputerowe z graczami z całego świata oraz korzystanie ze wszystkich, trudnych nawet do wymienienia, usług które przyniósł rozwój internetu. Satelitarne i lotnicze lizary¹ służące do wyznaczania profilu powierzchni ziemi

z niespotykaną wcześniej dokładnością, nie tylko pozwoliły na dokonanie sensacyjnych odkryć archeologicznych [1, 2], ale i dostarczają dostępnych dla każdego danych, które w każdej chwili można obejrzeć za pomocą odpowiednich serwisów internetowych [3, 4]. To zaledwie kilka przykładów wpływu, jaki na kształt dzisiejszego świata wywarł rozwój fotoniki. Można się spodziewać, że będzie on jeszcze większy, zwłaszcza jeśli komercyjne rozwiązania fotoniczne zostaną połączone z technologiami kwantowymi.

Mówi się, że stoimy teraz u progu drugiej rewolucji kwantowej, która będzie skutkiem opanowania metod przetwarzania informacji przy wykorzystaniu efektów kwantowych i zatrudnieniu zjawisk kwantowych do rozwiązywania zagadnień abstrakcyjnych [5] – powinniśmy już wyglądać komputera kwantowego! Spośród różnych możliwych realizacji urządzeń do kwantowego przetwarzania informacji, obecnie najbardziej zaawansowane i obiecujące są te wykorzystujące kwantowe własności fotonów i oddziałujących z nimi atomów. Potwierdza to decyzja o przyznaniu nagrody Nobla w dziedzinie fizyki za rok 2022. Otrzymali ją zajmujący się optyką kwantową Alain Aspect, John Clauser i Anton Zeilinger za przeprowadzenie doświadczeń ze splątanymi fotonami, potwierdzenie łamania nierówności Bella i pionierskie prace w zakresie kwantowej informacji. Tak więc i w obszarze technologii kwantowych rewolucję możemy zawdzięczać światłu!

Biorąc pod uwagę znaczenie technologii wykorzystujących światło należy inwestować w ich rozwój i kłaść

*ORCID: 0000-0002-1065-6770

**ORCID: 0000-0002-1948-6341

1. LIDAR (ang. *light detection and ranging*) to metoda teledetekcji, która wykorzystuje światło lasera impulsowego do pomiaru odległości (zmiennych odległości) od obiektu. Odbite impulsy świetlne, w połączeniu z innymi danymi zarejestrowanymi przez system, generują precyzyjne, trójwymiarowe informacje o badanym kształcie. Wiele rozwiązań technologicznych, także na rynku polskim, wykorzystuje to bardzo zaawansowane urządzenie w przemyśle, usługach i biznesie, m.in. w lotnictwie, pomiarach geologicznych, analizie obrazu ziemi, pracy samochodów autonomicznych czy telefonach komórkowych (przyp. red.)

nacisk na prowadzenie prac badawczo-rozwojowych w tej dziedzinie. Niezbędne inwestycje są jednak bardzo kosztowne i zazwyczaj przekraczają możliwości finansowe polskich firm. Rozwiązanie przynosi Narodowe Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych – NLPQT. Jest to ogólnopolski projekt infrastrukturalny finansowany z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 (działanie 4.2), którego celem jest stworzenie w Polsce infrastruktury pozwalającej na prowadzenie prac naukowych i badawczo-rozwojowych w zakresie fotoniki i technologii kwantowych. Projekt kierowany przez prof. dr. hab. Czesława Radzewicza realizowany jest przez konsorcjum składające się z siedmiu ośrodków naukowo-badawczych. Liderem jest Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, a poza tym w skład konsorcjum wchodzi: Instytut Chemii Fizycznej PAN w Warszawie, Politechnika Śląska w Gliwicach, Politechnika Wrocławska, Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe (w ramach Instytutu Chemii Bioorganicznej PAN w Poznaniu), Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie oraz Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu.

Zbudowana infrastruktura ma służyć nie tylko naukowcom bezpośrednio zaangażowanym w projekt, ale będzie udostępniana także innym badaczom, partnerom przemysłowym oraz przedsiębiorcom. Jej budowa nie polega wyłącznie na zakupie i uruchomieniu gotowych urządzeń. Wręcz przeciwnie – większość powstających stanowisk badawczych, których docelowo będzie 86, wykorzystuje autorskie rozwiązania opracowane w grupach badawczych zajmujących się ich budową. W rezultacie do dyspozycji polskiej nauki i przemysłu będzie unikatowa, niedostępna komercyjnie aparatura stworzona dzięki *know-how* polskich naukowców.

Zakres zastosowań infrastruktury budowanej w ramach projektu jest bardzo szeroki i obejmuje praktycznie wszystkie tematy badań z zakresu fotoniki i optycznych technologii kwantowych, jakie prowadzone są w Polsce. Wśród powstających stanowisk znaleźć można aparaturę wspierającą projektowanie i budowanie nowych laserów, urządzeń do kryptografii kwantowej, systemów do mikroobróbki laserowej, sensorów optycznych, aparaturę służącą do projektowania, wytwarzania i badania światłowodów, a także do obrazowania, spektroskopii, ultraprecyzyjnej metrologii i wielu innych zastosowań. Ze względu na tak szeroki zakres tematyczny infrastruktura została podzielona na trzy obszary technologiczne związane z wytwarzaniem i dystrybucją wzorcowej częstotliwości optycznej, fotoniką i zastosowaniami efektów kwantowych.

Krajowy system generacji i dystrybucji wzorcowej częstotliwości optycznej

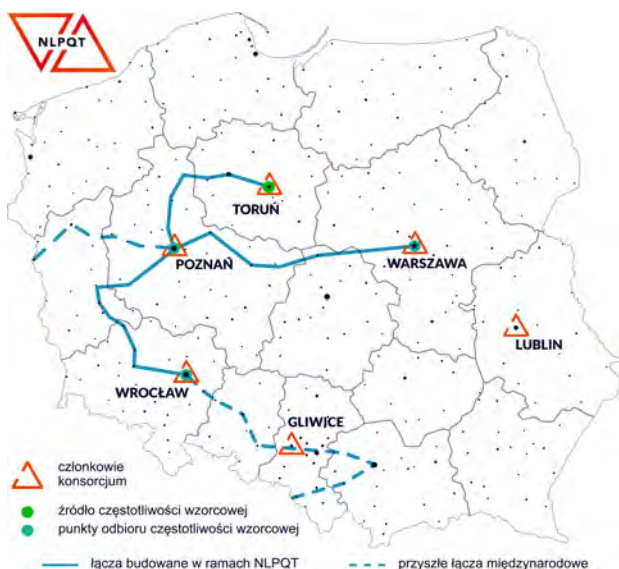
Jednym z celów projektu NLPQT jest budowa systemu, który za pomocą sieci światłowodowej pozwoli na dystrybucję wzorcowej częstotliwości optycznej z laboratorium znajdującego się na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika do kilku punktów odbiorczych w różnych miastach Polski (ryc. 1). Pozwoli to na wykorzystanie doświadczeń toruńskich fizyków w zakresie budowy ultrastabilnych optycznych źródeł częstotliwości wzorcowych, zdobytych między innymi podczas budowy polskiego optycznego zegara atomowego (POZA).

Optyczny sygnał referencyjny o niskim szumie fazowym będzie dystrybuowany z Torunia do członków konsorcjum NLPQT, którzy udostępnią go będą zainteresowanym naukowcom i partnerom przemysłowym, a w przyszłości także klientom biznesowym. Dzięki wykorzystaniu tzw. grzebienia częstotliwości, stabilność źródła częstotliwości w zakresie optycznym może być przeniesiona do innych zakresów, w tym częstotliwości mikrofalowych i radiowych. Sygnał wzorcowy o częstotliwości stabilizowanej za pomocą ultrastabilnej wnęki optycznej może być stosowany we wszystkich aplikacjach, w których konieczna jest stabilność krótkoterminowa lub synchronizacja dystrybucji sygnału. Stabilność osiągalna przy użyciu układów tego typu, w skalach czasowych do 100 sekund, jest o ponad dwa rzędy wielkości lepsza niż sygnału masera wodorowego. Z kolei w połączeniu z optycznym zegarem atomowym możliwe będzie uśrednienie sygnału będącego wzorcem częstotliwości i uzyskanie stabilności odpowiedniej do wykrywania anomalii grawitacyjnych w skali czasowej sekund lub minut.

Transmisja sygnału optycznego za pomocą włókien światłowodowych, zachowująca stabilność częstotliwości, wymaga zastosowania odpowiednich technik. Nieuniknione drgania włókien przekładają się na fluktuacje prędkości fazowej światła we włóknie, te zaś prowadzą do fluktuacji częstotliwości światła transmitowanego przez włókno. By wykorzystać możliwości zbudowanych w Toruniu źródeł częstotliwości wzorcowej konieczne jest zastosowanie w torze transmisji odpowiednich urządzeń kompensujących te fluktuacje. Dotychczas uruchomiono łącze testowe umożliwiające dystrybucję referencyjnej częstotliwości optycznej w sieci PIONIER na trasie Toruń-Poznań-Toruń. W testowanym łączu, jako sygnał referencyjny transmitowane było światło lasera o długości fali 1542,14 nm i ultrawąskim widmie, a dzięki bezpośredniemu zdudnianiu sygnału nadawanego i odbieranego w badanej „pętli” możliwe było wykonanie dokładnego pomiaru skuteczności stabilizacji w zbudowanym systemie transmisyjnym. W testowanej linii o długości

600 km uzyskano długoterminową stabilność dystrybuowanego sygnału na poziomie 10^{-20} (dla czasu obserwacji 10^5 s). Wyniki te pokazują, że zbudowany system spełnia wymagania stabilizacji fazowej dystrybucji ultrastabilnej optycznej częstotliwości wzorcowej i będzie można go zastosować w łączach docelowych.

Oprócz samej sieci dystrybucji rozwijane są także technologie mające wspierać jej praktyczne zastosowania. Na Politechnice Wrocławskiej prowadzone są prace nad sterownikami diod laserowych o bardzo niskich szumach, które znajdują zastosowanie m. in. w technologii grzebieni częstotliwości optycznych. Podczas testowania tych sterowników uzyskano rekordowo niski (w skali światowej) poziom szumu fazy obwiednia-nośna ultrakrótkich impulsów światła, będącej miarą tego, jak dobrze ustabilizowano położenie maksimum obwiedni impulsów względem fazy oscylacji pola elektrycznego fali elektromagnetycznej. Świadczy to o doskonałych parametrach szumowych zbudowanych sterowników [6].



Ryc. 1. Schemat łącz do dystrybucji optycznej częstotliwości wzorcowej (materiały projektu NLPQT)

Laboratoria technologii fonicznych

Laboratoria technologii fonicznych stanowią najszerszą tematycznie część projektu NLPQT. Zbudowana w ramach NLPQT sieć stanowisk rozszerzy istniejące lub stworzy zupełnie nowe możliwości badawcze w zakresie szeroko pojętej fotoniki. Do zastosowań powstałej aparatury należą, m. in. badania spektroskopowe materiałów (np. analiza śladowych zanieczyszczeń powietrza lub tworzenie charakterystyk nowych materiałów dla fotowoltaiki i medycyny), wytwarzanie specjalistycznych światłowodów, opracowywanie i tworzenie charakterystyk nano- i mikrostruktur do zastosowań optoelektronicznych i biomedycznych, projektowanie, wytwarzanie

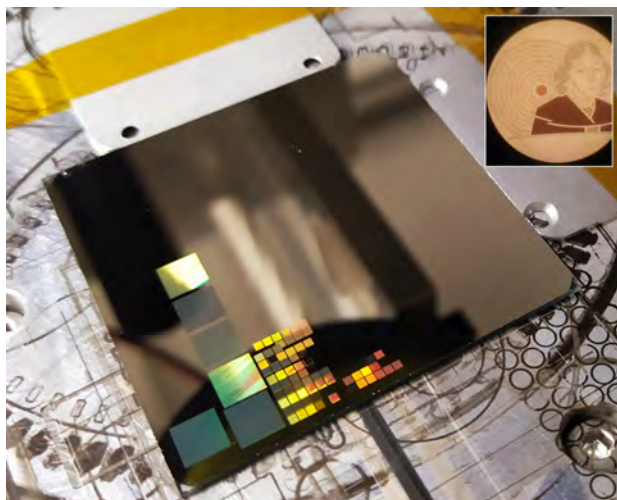
i testowanie nowych źródeł światła, czy też dwu- i trójwymiarowe obrazowanie obiektów biologicznych. Budowane są także stanowiska do projektowania, konstruowania i diagnostyki laserów, czy mikroelektronicznych i fonicznych układów czujnikowych.



Ryc. 2. Stanowisko mikroobróbki laserowej powstające na Politechnice Wrocławskiej (materiały projektu NLPQT)

Do stanowisk budzących największe zainteresowanie przemysłu należą m. in. te, które służą do laserowej mikroobróbki i mikrostrukturyzacji powierzchni. Na Politechnice Wrocławskiej zbliża się ku końcowi budowa systemu wyposażonego w trzystanowiskowy system obróbki, w którym źródłem promieniowania jest femtosekundowy laser TruMicro 2030 o szerokim zakresie parametrów pracy. Umożliwia on obróbkę z wykorzystaniem trzech długości fali (1030 nm, 515 nm oraz 343 nm), przestrajanie czasu trwania impulsu od 300 fs do 20 ps, wybór częstotliwości repetycji do 50 MHz oraz możliwość generacji sekwencji impulsów laserowych. Dzięki temu stanowisko oferuje bardzo szerokie możliwości mikroobróbki laserowej: od cięcia i modyfikowania szkła, polimerów, metali i materiałów twardych, po strukturyzację i funkcjonalizację powierzchni, znakowanie i spawanie. Stanowisko jest także wyposażone w narzędzia do obrazowania efektów pracy – profilometr oraz mikroskop sił atomowych, a także zintegrowany mikroskop pozwalający na precyzyjne pozycjonowanie materiału oraz wstępną analizę wyników bez konieczności usuwania obrabianego obiektu z systemu. W fazie testów jest też podobne urządzenie zbudowane w Centrum Laserym zlokalizowanym w Instytucie Chemii Fizycznej PAN (IChF PAN) w Warszawie. Za jego pomocą możliwe jest kształtowanie powierzchni oraz obszarów przypowierzchniowych na drodze mikroabłacji laserowej z rozdzielczością $1 \mu\text{m}$, co pozwala tworzyć periodyczne struktury powierzchniowe LIPSS (ang. *laser-induced periodic surface structures*), czy też platformy do pomiarów spektroskopowych powierzchniowo wzmocnionego efektu

Ramana SERS (ang. *surface-enhanced Raman spectroscopy*). Urządzenia do mikroobróbki laserowej pozwolą na opracowywanie nowych rozwiązań oraz przeprowadzanie studiów wykonalności dla przemysłu.



Ryc. 3. Struktury LIPSS na stanowisku mikroobróbki laserowej powstającym w Centrum Laserowym w IChF PAN w Warszawie. Wstawka w prawym górnym rogu przedstawia podobiznę Mikołaja Kopernika wykonaną podczas testów stanowiska (materiały projektu NLPQT)

W Centrum Laserowym IChF PAN prowadzone są również prace nad rozwojem konstrukcji laserów światłowodowych, w tym laserów o bardzo wysokiej odporności na warunki zewnętrzne oraz femtosekundowych laserów dużej mocy, które mogą stanowić źródło światła w urządzeniach do mikroobróbki. Budowa takich laserów wymaga dostępu do zaawansowanych technik obróbki światłowodów i dlatego laboratorium wyposażone zostało w stację do przygotowywania oraz spawania włókien światłowodowych. W skład stacji wchodzi automatyczne obcinarki światłowodowe, urządzenia termiczne do usuwania powłoki akrylowej światłowodów, sprzęt do testowania wytrzymałości spawów światłowodowych, odtwarzacz powłoki ochronnej oraz, oczywiście, spawarki: laserowa oraz żarnikowa.

Technologie światłowodowe są bardzo silnie reprezentowane w projekcie NLPQT. Budowane stanowiska nie tylko pozwolą na rozwój ich zastosowań, ale również na projektowanie, wytwarzanie i tworzenie charakterystyk specjalistycznych światłowodów szklanych i polimerowych. W Pracowni Technologii Światłowodów na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej zainstalowana została już wyciągarka światłowodów specjalnych. Jest to zestaw urządzeń pozwalający na wyciąganie włókien światłowodowych ze szkła krzemionkowego i szkieł typu *high silica* o średnicy zewnętrznej od 80 do 800 mikrometrów i długości do 200 km. Wyciągarka doskonale nadaje się do produkcji światłowodów właściwie dowolnego typu, np. z gradientowym lub skokowym profilem

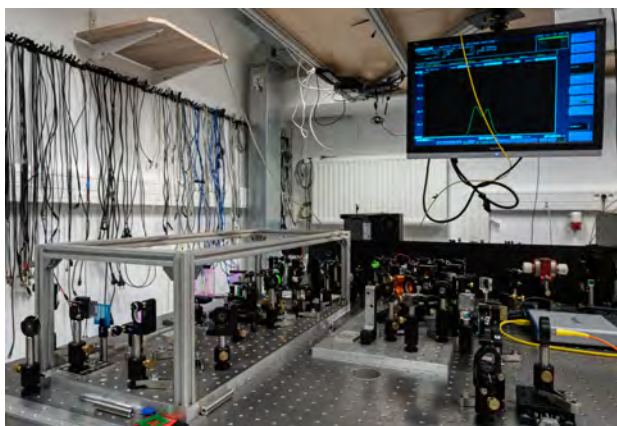
współczynnika załamania, światłowodów mikrostrukturalnych, a nawet światłowodów z rdzeniem powietrznym, które stanowią popularny obiekt badań pod kątem ich wykorzystania w nowoczesnych źródłach laserowych, telekomunikacji i systemach czujnikowych. Zestaw głowic pomiarowych pozwala na dokładny pomiar i kontrolę wymiarów światłowodu w dwóch kierunkach zarówno przed, jak i po nałożeniu powłok ochronnych. Zaawansowany system aplikacji oraz piece UV i piece termiczne pozwalają na pokrycie światłowodów niemalże wszystkimi znanymi obecnie powłokami ochronnymi, a także na stosowanie własnych kompozycji takich powłok.

Laboratoria technologii kwantowych

Prace w obszarze technologii kwantowych skoncentrowane są przede wszystkim na stworzeniu ogólnokrajowej infrastruktury umożliwiającej praktyczne wykorzystanie właściwości pojedynczych obiektów kwantowych. Szczególny nacisk położony jest na możliwość stosowania pojedynczych fotonów do komunikacji kwantowej, co umożliwi zarówno dalsze prace badawczo-rozwojowe nad kwantową dystrybucją klucza kryptograficznego (ang. *quantum key distribution, QKD*), jak i integrację takich rozwiązań z innymi mechanizmami stosowanymi do zabezpieczania danych przesyłanych w istniejących systemach informatycznych i telekomunikacyjnych. Ponadto w ramach projektu powstaną dedykowane stanowiska do prac w zakresie zastosowań obiektów kwantowych jak pojedyncze elektrony, kropki kwantowe czy atomy.

Technika QKD pozwala w sposób całkowicie odporny na wszelkie ataki hackerskie dokonać wymiany klucza kryptograficznego pomiędzy nadawcą i odbiorcą poufnej wiadomości. Wymieniony klucz pozwala zaszyfrować poufne informacje i przesłać je tradycyjną siecią telekomunikacyjną. W technice QKD klucz kryptograficzny zostaje wygenerowany dopiero w momencie jego wymiany, a dzięki wykorzystaniu efektów kwantowych próby jego przechwycenia prowadzą do zaalarmowania przesyłających go stron. Dzięki temu można mieć pewność, że dane zaszyfrowane za pomocą wymienianego klucza mogą być odszyfrowane wyłącznie przez uprawnionego odbiorcę. Nośnikami informacji służących do przesłania klucza kwantowego są fotony, dzięki czemu wymiana klucza może odbywać się za pomocą światłowodów, które obecnie stanowią podstawowy kanał telekomunikacyjny.

Pierwsze testy zakupionych w ramach projektu NLPQT systemów QKD (Cerberis oraz Clavis) zostały przeprowadzone w Poznańskim Centrum Superkomputerowo-Sieciowym (PCSS). Następnie wykorzystano istniejącą infrastrukturę światłowodową



Ryc. 4. Układy optyczne w Laboratorium Fotoniki Kwantowej na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie rozwijane są techniki kwantowej komunikacji (fot. Mirosław Kaźmierczak) (Uniwersytet Warszawski)

Poznania, przez którą udało się bezpiecznie nadać i odebrać sygnał szyfrowany kwantowo między dwoma jednostkami PCSS oddalonymi od siebie o 7 kilometrów. We wrześniu 2021 po raz pierwszy w Polsce nawiązane zostało międzymiastowe połączenie QKD. Nadajnik sygnału QKD znajdował się w Laboratorium Fotoniki Kwantowej na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Optyczny sygnał kwantowy za pomocą sieci światłowodowej Uniwersytetu Warszawskiego oraz sieci PIONIER przekazywany był do odbiornika umieszczonego w węźle sieci PIONIER w Sochaczewie. Po nawiązaniu połączenia pomiędzy urządzeniami na kanale kwantowym i na kanale klasycznym uzyskano generację kluczy kryptograficznych z szybkością około 300 bitów na sekundę. Najnowszą infrastrukturą QKD uruchomioną w ramach NLPQT jest łącze pomiędzy Poznaniem a Warszawą korzystające z dedykowanych włókien sieci PIONIER o łącznej długości wszystkich torów optycznych wynoszącej 380 km. System transmisyjny został zbudowany w konfiguracji tzw. zaufanych węzłów i posiada pięć pośrednich węzłów transmisyjnych, co umożliwia jego elastyczną konfigurację i uruchomienie niezależnych usług transmisji kluczy pomiędzy wybranymi węzłami pośrednimi. Łącze QKD Poznań-Warszawa wykorzystuje urządzenia firmy ID Quantique – Cerberis XG najnowszej generacji, a system transmisyjny jest monitorowany oraz zarządzany przez zespół admi-

nistratorów sieci PIONIER. Jest to obecnie najdłuższe łącze QKD w Europie.

Długodystansowe łącze QKD Warszawa-Poznań otwiera nowe możliwości realizacji badań oraz projektów związanych z sieciami technologii QKD oraz komunikacji kwantowej. Infrastruktura umożliwia również prowadzenie dalszych badań nad integracją łączy QKD z obecną infrastrukturą sieciową oraz realizacją szeregu scenariuszy zastosowań i usług wykorzystujących technologie QKD.

Dostęp do infrastruktury NLPQT

Infrastruktura NLPQT stanie się komercyjnie dostępna dla zainteresowanych jej wykorzystaniem w styczniu 2024. Więcej informacji na temat projektu NLPQT, osób zaangażowanych w jego realizację i powstającej infrastruktury można znaleźć pod adresem <http://nlpqt.fuw.edu.pl> Dofinansowanie projektu NLPQT z Funduszy Europejskich wynosi 145 161 566,30 zł

Literatura

- [1] Preston, D., *Lost City Discovered in the Honduran Rain Forest*, <https://www.nationalgeographic.com/adventure/article/150302-honduras-lost-city-monkey-god-maya-ancient-archaeology>; dostęp 21.09.2022.
- [2] Prümers H., Betancourt C. J., Iriarte J., Robinson M., Schaich M., “Lidar reveals pre-Hispanic low-density urbanism in the Bolivian Amazon”, *Nature* 606, 325 (2022).
- [3] *Dane pomiarowe LIDAR (LIDAR)*, <https://www.geoportal.gov.pl/dane/dane-pomiarowe-lidar#>; dostęp 21.09.2022.
- [4] *HERE udostępnia swoje dane lidar, również dla Polski*, <https://geoforum.pl/news/31873/here-udostepnia-swoje-dane-lidar-rowniez-dla-polski>; dostęp 21.09.2022.
- [5] Sowiński T., „Świat u progu Drugiej Rewolucji Kwantowej”, *Postępy Fizyki* 71 (1), 21 (2020).
- [6] Steinleitner P. et al., “Single-cycle infrared waveform control”, *Nature Photonics* 16, 512 (2022).

RECENZJA

Łukasz A. Turski*

Centrum Fizyki Teoretycznej PAN

Staraniem krakowskiego wydawnictwa Copernicus Center Press, w przekładzie Tomasza Lanczewskiego, w dwa lata po publikacji oryginału przez Princeton University Press & the Hebrew University of Jerusalem, ukazało się polskie wydanie frapującej książki pióra Hanocha Gutfreunda i Jürgena Renna *Einstein o Einsteinie. Zapiski autobiograficzne i naukowe*.

Dla polskiego czytelnika książka ta jest wyjątkowo atrakcyjna, ponieważ autorzy umieścili w niej specjalny *Wstęp do wydania polskiego*¹ poświęcony udziałowi polskich fizyków w rozwoju ogólnej teorii względności, który powstał na podstawie pamiętnego wykładu prof. Hanocha Gutfreunda wygłoszonego w warszawskim Muzeum Polin 30.05.2014. Czytelnik dowiaduje się z tego wstępu nie tylko o tak istotnym dla ogólnej teorii względności wydarzeniu, jakim była konferencja w Jabłonnej w 1962 roku, ale też o wyjątkowej roli polskich fizyków w burzliwej dyskusji o teorii względności toczącej się na świecie w latach międzywojnia, o wkładzie takich uczonych jak Myron Mathisson, Jakub Laub, Maksymilian Huber, a przede wszystkim Leopolda Infelda w upowszechnienie i rozwój tej teorii.

Publikacja *Einstein o Einsteinie* składa się z sześciu części podzielonych na 23 rozdziały, dwóch wstępów, przypisów, bibliografii oraz indeksu. Dwie części książki, czwarta i szósta, zawierają przekłady tekstów pióra samego Einsteina, przy czym czwarty – *Szkic autobiograficzny Einsteina* (1955) jest szczególnie interesujący. Napisał go tuż przed śmiercią autora, dla jego Alma Mater – zurichskiej ETH, zawiera jedyne tak obszernie wspomnienie o Marcelu Grossmanie, przyjacielu i „matematycznym przewodniku” Einsteina we wstępnym okresie prac nad ogólną teorią względności i współautorze pierwszej, nieudanej wersji tejsze. Część szósta to oryginalne *Zapiski autobiograficzne Einsteina* rozpoczynające się od zdania: *Zasiadłem w wieku sześćdziesięciu siedmiu*



H. Gutfreund, J. Renn *Einstein o Einsteinie. Zapiski biograficzne i naukowe* CCPress, Kraków 2022

lat do napisania czegoś w rodzaju własnego nekrologu, które powstały dla wielotomowego dzieła Biblioteka żyjących filozofów, zaplanowanego i wydanego w latach 50. XX wieku pod redakcją Paula A. Schilppa – znanego amerykańsko-niemieckiego, kontrowersyjnego filozofa i duchownego metodystę, który wyemigrował do USA jeszcze przed I wojną światową, a po II wojnie był aktywnym przeciwnikiem broni jądrowej i jej proliferacji.

Tom *Biblioteki żyjących filozofów*, w którym zamieszczone są *Zapiski autobiograficzne Einsteina*, zatytułowany *Albert Einstein: filozof-uczony*, zawiera szereg komentarzy o twórczości Einsteina autorstwa wielu wybitnych fizyków i filozofów z pierwszej połowy XX wieku, m.in. Wolfganga Pauliego, Maxa von Lauego, Henrego Margenaua, Hansa Reichenbacha, Georges-a Lemaitre, Leopolda Infelda, Maxa Borna. Gutfreund i Renn w recenzowanej tu książce, będącej także podsumowaniem ich poprzednich wspólnych książek o twórczości Einsteina, zawarli oprócz obu rozdziałów autobiograficznych Einsteina szczegółowe krytyczne omówienie owych komentarzy opublikowanych w *Bibliotece...*

*ORCID: 0000-0003-4263-264X; laturski@cft.edu.pl

1. którego przedruk czytelnik znajdzie w niniejszym numerze PF (przyp. red.)

W części pierwszej – *Wprowadzenie* znajdziemy omówienie autobiografii twórcy mechaniki kwantowej Maxa Plancka. Autorzy porównując te dwa autobiograficzne teksty, Plancka i Einsteina, umożliwiają czytelnikowi zrozumienie „rewolucyjnej zmiany paradygmatów” (według terminologii Thomasa Khuna) w fizyce przełomu XIX i XX wieku.

Obszerna część druga – *Komentarze* zawiera dogłębną analizę spojrzenia na fizykę Einsteina piszącego swoje cztery publikacje z *annus mirabilis* 1905² oraz powstałe później sformułowanie ogólnej teorii względności i fundamentalną dla, tak dzisiaj istotnej dziedziny nauki, tj. informatyki kwantowej, pracę nad paradoksem EPR (Einstein, Podolsky, Rosen). Ta część książki wydała mi się wyjątkowo interesująca. Napisana w doskonałym stylu nie tylko stanowi niemalże gotowy do rozwinięcia w osobną publikację „wstęp do fizyki dla filozofów”, ale dzisiejszemu pokoleniu fizyków pozwala na porównanie sposobu myślenia o ich dziedzinie i sposobie formułowania własnych przemyśleń. Pomimo tej „fachowości” *Komentarzy* czytelnik niebędący zawodowym fizykiem czy matematykiem, ale zainteresowany rozwojem nauki stanowiącej dziś podstawę naszej cywilizacji, nie powinien mieć kłopotu z przyswojeniem sobie przekazu tego tekstu. Pomogą mu w tym umieszczone w ramach wyjaśnienia wielu podstawowych pojęć z fizyki odgrywających istotną rolę zarówno w tekstach Einsteina, jak i autorów *Komentarzy*.

Kilkanaście lat temu, przed i podczas roku obchodów stulecia *annus mirabilis* ukazało się sporo książek o życiu i twórczości Alberta Einsteina. Autorzy wielu z nich poświęcili znacznie więcej uwagi życiu i/lub działalności

2. Rok 1905 zwany jest często cudownym rokiem (*annus mirabilis*) Einsteina. 26-letni wówczas uczyony opublikował (w 17 i 18 numerze niemieckiego czasopisma *Annalen der Physik*) cztery prace, które miały wstrząsnąć podstawami fizyki (przyp. red.).

społeczno-politycznej twórcy teorii względności, a zaledwie kilka z tych publikacji dotyczy twórczości naukowej Einsteina, uwzględniając dzisiejsze spojrzenie na rozwój fizyki ale też czas, w którym powstawała praca o *Elektrodynamice ciał w ruchu* itowarzyszące jej trzy fundamentalne artykuły. Książką podobną nieco do drugiej części *Einstein o Einsteinie* jest *Einstein i Picasso. Przestrzeń, czas i piękno budzące spustoszenie* Arthura I. Millera (Basic Books, New York 2001). Myślę, że czytelnicy zainteresowani lekturą recenzowanej książki, a w przyszłości może i poprzednich publikacji einsteinowskich Gutfreunda i Renna, chętnie zapoznają się także z książką Millera.

Polski przekład książki *Einstein o Einsteinie* został wydany starannie przez Copernicus Center Press; świadczy o tym m.in. bardzo dobra jakość oryginalnych ilustracji artystycznych – rysunków Laurenta Taudina. Jak w każdej publikacji o dużym stopniu trudności tekstu znalazłem i tu kilka błędów literowych oraz omyłek w publikowanych datach.

Książkę Hanocha Gutfreunda i Jürgena Renna polecam nie tylko wszystkim zawodowym fizykom, ale także wszystkim zainteresowanym rozwojem cywilizacji i jakże ważnym dla tego procesu zrozumieniem nauki przez społeczeństwo. Einstein i komentatorzy jego twórczości, zaproszeni przez Schilppa do współautorstwa tomu *Albert Einstein: filozof-uczyony* oraz autorzy *Einstein o Einsteinie* byli i są przedstawicielami tego prądu nauki, który tworzył i kontynuuje rozbudowę fundamentu filozofii *bezpiecznej prawdy*, zapoczątkowanego w XIX wieku przez Williama Clifforda w jego dziele *The Common Sense of Exact Sciences*.

Większość problemów, z jakimi boryka się obecnie nasza cywilizacja, wynika z braku zrozumienia i ignorowania roli nauki. Uświadomienie sobie tego, co Albert Einstein miał nam do powiedzenia o roli nauki, nie tylko fizyki, wydaje mi się niezwykle ważne tu i teraz.

Einstein o Einsteinie

Zapiski autobiograficzne i naukowe

Hanoch Gutfreund, Jürgen Renn

Wstęp do wydania polskiego¹

W polskim wydaniu książki *Einstein o Einsteinie* oraz w niniejszym wstępie napisanym dla naszych polskich czytelników chcielibyśmy położyć nacisk na szczególne relacje pomiędzy Albertem Einsteinem a wieloma polskimi naukowcami, jakie nawiązały się w latach kształtowania się jego rewolucyjnych idei dotyczących przestrzeni, czasu i grawitacji, stanowiących szkielet szczególnej i ogólnej teorii względności. Pragniemy również wyrazić uznanie dla wyjątkowej roli, jaką odegrała warszawska szkoła relatywistyczna w pojęciowym przekształceniu i systematyzacji wiedzy dotyczącej ogólnej teorii względności w czasach po II wojnie światowej, który to okres dość ogólnikowo określanany jest mianem „renesansu ogólnej teorii względności”. Ponadto chcemy też podkreślić zasługi Leopolda Infelda, postaci będącej żywym pomostem między wspomnianymi dwoma okresami kształtującymi historię fizyki teoretycznej w Polsce.

Szczególne relacje między Einsteinem a polskimi uczonymi odegrały kluczową rolę w jednoznacznym odbiorze nowej teorii przez polską społeczność naukową. W krajach takich jak Niemcy, Hiszpania, Francja czy Włochy proces ten naznaczony był debatami, kontrowersjami i falą krytyki. Tymczasem fizycy ze wszystkich ośrodków akademickich w całej Polsce w pełni zaakceptowali teorię względności². Została ona również życzliwie przyjęta przez większość polskich matematyków, z wyjątkiem Stanisława Zaremby z Uniwersytetu Jagiellońskiego, najbardziej zagorzałego krytyka teorii względności, który opublikował burzliwie dyskutowaną pracę zatytułowaną *Teoria względności wobec faktów stwierdzonych doświadczeniem i spostrzeżeniem* (1922)³. Ale nawet Zaremba zmienił zdanie kilka lat później.

Obszerny opis relacji naukowych i osobistych kontaktów między Einsteinem a polskimi fizykami można znaleźć w eseju Bronisława Średniawy⁴. W tekście tym

wymieniono dwunastu fizyków, którzy znajdowali się pod wpływem Einsteina, korespondowali lub spotykali się z nim, a niektórzy nawet blisko z nim współpracowali. Byli to:

Leopold Infeld (1898–1968),
Józef Wierusz-Kowalski (1866–1927),
Jakub Laub (1884–1962),
Stanisław Loria (1883–1958),
Władysław Natanson (1864–1937),
Myron Mathisson (1897–1940),
Ludwik Silberstein (1872–1948),
Maria Skłodowska-Curie (1867–1934),
Marian Smoluchowski (1872–1917),
Jan Weyssenhoff (1889–1972),
August Wiktor Witkowski (1854–1913),
Mieczysław Wolfke (1883–1947).

Najstarsza i jedyna osoba na tej liście, która nie miała żadnego kontaktu z Einsteinem – August Witkowski, fizyk doświadczalny z Uniwersytetu Jagiellońskiego – była jednym z pierwszych na świecie fizyków, którzy docenili wagę pracy opublikowanej przez Einsteina w 1905 roku, będącej pierwotną wersją szczególnej teorii względności⁵. Witkowski swym entuzjazmem zaraził dwóch kolegów, Władysława Natansona i Stanisława Lorie, którzy zaczęli wyklądać teorię względności i włączyli ją do swoich kursów uniwersyteckich. Zarówno Natanson, jak i Loria poznali Einsteina przed I wojną światową i utrzymywali z nim przyjacielskie stosunki, podobnie jak Mieczysław Wolfke i Józef Wierusz-Kowalski, który zetknął się z Einsteinem podczas pobytu w Bernie i Zurychu. Na twórczość Jana Weyssenhoffa wpłynęły spotkania z Einsteinem w Zurychu (1916) i Princeton (1935). Einstein i Marian Smoluchowski wymieniali obszerną korespondencję dotyczącą problemów, którymi zajmowali się niezależnie w tym samym czasie, czyli zjawisk ruchów Browna

¹Przedruk z książki: H. Gutfreund, J. Renn *Einstein o Einsteinie. Zapiski biograficzne i naukowe* CPress, Kraków 2022 za zgodą wydawnictwa CPress (przyj. red.).

²Opis tego procesu można znaleźć w artykule Bronisława Średniawy *The Reception of the Theory of Relativity in Poland*, opublikowanym w: *The Comparative Reception of Relativity*, red. Thomas F. Glick (Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1987), 327–350.

³Stanisław Zaremka, *Teoria względności wobec faktów stwierdzonych doświadczeniem i spostrzeżeniem* (Kraków: Wyd. Min. Wyzn. Rel. i Ośw. Publ., 1922), „Journal de Mathématique Pure et Appliquée” 1922, I, 105.

⁴Bronisław Średniawa, *Scientific and Personal Contacts of Polish Physicists with Einstein*, „Concepts of Physics”, III (2006), 385–427.

⁵Albert Einstein, *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, „Annalen der Physik”, 17 (1905), 891–921.

i niebieskiego koloru nieba. Ich wzajemny szacunek przejawiał się w uznaniu przez Smoluchowskiego pierwszeństwa Einsteina w wyjaśnieniu ruchów Browna oraz w pochwalnym wspomnieniu o Smoluchowskim napisanym przez Einsteina⁶. Jakub Laub wyjechał z Polski, aby uzyskać stopień doktora na Uniwersytecie w Würzburgu. Po opublikowaniu trzech artykułów na temat optyki ciał w ruchu dołączył do Einsteina w Bernie w 1908 roku. Ich współpraca zaowocowała dwoma wspólnymi artykułami⁷. Laub utrzymywał kontakt z polskimi fizykami jeszcze przez wiele lat. Współpraca Einsteina i Leopolda Infelda również przyniosła plon w postaci wspólnych publikacji. Do sprawy Infelda wrócimy w dalszej części tego wstępu. Korespondencja między Einsteinem a Myronem Mathissonem rozpoczęła się w 1929 roku, kiedy Mathisson pracował jeszcze nad doktoratem na Uniwersytecie Warszawskim, i trwała do jego przedwczesnej śmierci w 1949 roku w wieku czterdziestu trzech lat. Einstein był pod wrażeniem jego prac nad ruchem wirujących ciał w polu grawitacyjnym. W 1935 roku Einstein zaprosił Mathissona do Princeton, ale do tego czasu Mathisson uzyskał stanowisko na Uniwersytecie Kazańskim. Einstein wymieniał listy z władzami Uniwersytetu Hebrajskiego w Jerozolimie na temat możliwości zatrudnienia Mathissona (a także Infelda) na wydziale fizyki teoretycznej. Pomijamy relację między Einsteinem a Ludwikiem Silbersteinem, który również znajduje się w powyższym zestawieniu. Interesująca korespondencja między nimi odbywała się w latach trzydziestych, czyli długo po tym, jak Silberstein zerwał wszelki kontakt z polską fizyką, więc przykład ten nie pasuje do bieżącego kontekstu. Na koniec warto wspomnieć wspólne działania Einsteina i Marii Curie w komisji powołanej przez Ligę Narodów na rzecz międzynarodowej współpracy intelektualistów w okresie międzywojennym. Ich relacja naznaczona była wieloletnią szczerą przyjaźnią i wzajemnym szacunkiem.

Liczne obszary współpracy polskich fizyków z Einsteinem przyczyniły się do rozwoju fizyki teoretycznej w Polsce, a niektórzy z wymienionych naukowców niewątpliwie czerpali z nich inspirację do zaangażowania się w teoretyczne prace nad teorią względności. Doprowadziły również do zainteresowania nią społeczeństwa polskiego i szerokiego zrozumienia jej podstawowych idei.

Po tym, jak angielska wyprawa zorganizowana w celu obserwacji zaćmienia Słońca, prowadzona przez sir Arthura Eddingtona, potwierdziła w 1919 roku przewidywania dotyczące zakrzywienia światła pochodzącego od odległych gwiazd w polu grawitacyjnym Słońca, oraz

po sensacyjnym nagłośnieniu tego odkrycia w prasie – w Polsce, podobnie jak w innych krajach, również nastąpił gwałtowny wzrost zainteresowania intelektualistów oraz opinii publicznej teorią względności i płynącymi z niej filozoficznymi wnioskami. Znalazło to odzwierciedlenie w artykułach prasowych, popularnych książkach i broszurach, a także w publicznych wykładach, dyskusjach i sporach. Owa działalność intensywnie rozwijała się zwłaszcza we Lwowie, mieście, w którym kwitło życie akademickie i kulturalne, a następnie rozszerzyła się na inne polskie miasta. Ważną rolę w tym intelektualnym ruchu popularyzacji teorii względności odegrali Zygmunt Zawirski, filozof nauki z Uniwersytetu Jagiellońskiego, Stanisław Loria, który wówczas przeniósł się do Lwowa, oraz Maksymilian Tytus Huber, profesor mechaniki technicznej we Lwowie. Huber był jednym z najgorliwszych i najaktywniejszych zwolenników teorii względności w Polsce. Julian Zachariewicz, polski filozof, opublikował w popularnym dzienniku „Słowo Polskie” agresywną krytykę teorii Einsteina. Huber odpowiedział cyklem pięciu artykułów wydrukowanych w tej samej gazecie, w których wyjaśniał i bronił Einsteina oraz jego teorii. Inne ataki na teorię względności skłoniły Hubera do wygłoszenia cyklu popularnych wykładów, natomiast jego najważniejszym wkładem w szerokie zrozumienie tej teorii było przetłumaczenie klasycznej rozprawy Einsteina podsumowującej szczególną i ogólną teorię względności, napisanej w przystępnej formie.

Ogólna teoria względności została ukończona w listopadzie 1915 roku. Prezentowała rewolucyjny pogląd na świat, opierający się na nowym spojrzeniu na przestrzeń, czas i grawitację. Wywołała spore zainteresowanie zarówno wśród intelektualistów, jak i szerokich kręgów społecznych, stwarzając potrzebę opracowania wiarygodnych i zrozumiałych dla zwykłych ludzi opisów tych koncepcji. Einstein czuł się w obowiązku zaspokojenia tej potrzeby. W liście do swojego przyjaciela Michelego Bessa pisał:

Poważnie zastanawiam się nad napisaniem w niedalekiej przyszłości książki o szczególnej i ogólnej teorii względności, chociaż, jak to bywa w przypadku wszystkich spraw, które nie są poparte żarliwym pragnieniem, mam trudności z zabraniem się do pracy. Lecz jeśli tego nie uczynię, moja teoria nie zostanie dobrze zrozumiana, mimo że u swych podstaw jest naprawdę prosta⁸.

Einstein przezwyciężył „trudności z zabraniem się do pracy” i w grudniu 1916 roku ukończył broszurę (jak

⁶List Mariana Smoluchowskiego do Alberta Einsteina, 12 grudnia 1911, *The Collected Papers of Albert Einstein*, t. 5, dok. 323 (Princeton: Princeton University Press, 1993); Albert Einstein, *Marian von Smoluchowski*, „Die Naturwissenschaften”, 5 (1917), 737–738, w: *The Collected Papers of Albert Einstein*, t. 6, dok. 48 (Princeton: Princeton University Press, 1996).

⁷Albert Einstein, Jakub Laub, *Über die elektromagnetischen Grundgleichungen für bewegte Körper*, „Annalen der Physik”, 331:8 (1908), 532–540; *Über die im elektromagnetischen Felde auf ruhende Körper ausgeübten ponderomotorischen Kräfte*, „Annalen der Physik”, 331:8 (1908), 541–550.

⁸List Einsteina do Michelego Bessa, 3 stycznia 1916, *The Collected Papers of Albert Einstein*, t. 8, dok. 178 (Princeton: Princeton University Press, 1998).

sam ją określał) *O szczególnej i ogólnej teorii względności* (wykład przystępny), opublikowaną po niemiecku wiosną 1917 roku⁹.

Opracowanie Einsteina przyciągnęło szeroką międzynarodową uwagę po potwierdzeniu przewidywania dotyczącego zakrzywienia promieni świetlnych przez Słońce. Do roku 1921 owa książeczka została przetłumaczona na osiem języków. Polski przekład ukazał się w listopadzie tego samego roku, a Huber napisał do niego dość długi wstęp, z którego zacytujemy obszernie fragmenty. W swej przedmowie wyraził nadzieję, że jego „skromna” praca szerzenia idei wielkiego myśliciela wytyczającego nowe szlaki w nauce

[...] będzie dla wielu czytelników pożądanym dopełnieniem niniejszego przekładu broszury Einsteina, bynajmniej nie „popularnej” w zwykłym znaczeniu, lecz, jak ktoś żartem powiedział, „przystępnej dla fizyków”. Ta książeczka nie może przeto służyć za poobiednią lekturę nawet dla umysłu wcale dobrze przyrodniczo wykształconego, ale za to dostarczy czytelnikowi, nie szczędzącemu myślowego trudu, takich prawie chwil głębokiej duchowej rozkoszy, jakich doznaje badacz, któremu się powiodło podpatrzeć jakąś wielką tajemnicę Przyrody. Nielatwą zaiste jest ścieżka, wiodąca na szczyty teorii względności, którą nas prowadzi jej twórca, ale któż, jeśli nie on sam, oświecili lepiej ten wspaniały, jednolity obraz świata, jaki się ukazuje z owych szczytów oczom naszego ducha¹⁰.

Huber w swym wstępie umieścił biografię Einsteina, ale główny nacisk kładzie na różnorakie zarzuty stawiane teorii względności. Uważa się za jednego z najbardziej przekonanych relatywistów. Interesująca jest jego wypowiedź o pewnym szczególnym rodzaju przeciwników tej teorii:

Równoległe z zainteresowaniem się nową teorią przez inteligentny ogół, mnożą się utyskiwania na jej trudność i nieprzystępność. Oczywiście ci, którzy jej nie rozumieją [...] przechodzą w szeregi „przeciwników” teorii, chroniąc się pod skrzydła stosownego filozoficznego systemu, lub czepiając się za poły niektórych (zresztą nielicznych) badaczy-fizyków, zapatrujących się dotąd jeszcze sceptycznie na teorię względności. Szczególnie często słyszy się od takich malkontentów znany, a pozbawiony podstawy ogólnik, że wszelkie wielkie odkrycia naukowe odznaczały się prostotą, a więc i przystępnością. A przecież minęło przeszło pół wieku od powstania maxwellowskiej elektromagnetycznej teorii światła, jednego z najdonioślejszych czynów naukowych ubiegłego stulecia, i dotąd podstawy tej teorii nie weszły do nauczania w zakresie szkół średnich. Czyż bowiem można ją przedstawić

jasno i zrozumiale dla umysłu niematematycznego? Natomiast historia wiedzy poucza, że epokowe zdobywcze myśli ludzkiej spotykały się zwykle z namiętną opozycją współczesnych. Tak się rzecz ma i z teorią względności, do czego przyczyniły się jeszcze pewne szczególne momenty natury psychologicznej.

Huber uwypukla też częściowo antysemicki charakter sprzeciwu wobec Einsteina i jego idei, zarówno w Niemczech, jak i w Polsce. Na ten temat pisze:

Nie rozbierając naturalnie podstaw antysemityzmu, wzmoczonego, jak wiadomo, silnie przez wojnę, zazna- czyłem tylko w jednym ze wspomnianych odczytów, że o ile potrafię pojąć i, co za tem idzie, usprawiedliwić wpływ tego przejawu na ludzkie sądy w sprawach narodowych, politycznych, społecznych, ekonomicznych i t.d., to jednak żadną miarą nie mógłbym dopuścić tego wpływu na mój własny sąd o jakiegokolwiek naukowej teorii w dziedzinie matematyczno-przyrodniczej. Tymczasem stwierdziłem niestety, że jest dość ludzi, mających nawet zażyłe stosunki z nauką, którym antysemityzm zamąca, jak się zdaje, zdrowy obiektywny sąd właśnie pod tym względem.

Odnosi się w tym kontekście także do wrogich Einsteinowi demonstracji antysemickich w Niemczech:

Można je zrozumieć na tle ogólnego zdżiczenia wojennego i – w myśl francuskiego przysłowia – wybaczyć pruskim nacjonalistom, wyładowującym w paroksyzmach antysemityzmu wściekłość z powodu wojennej klęski Niemiec. Atoli jednocześnie niepodobna być obojętnym na tego rodzaju objawy u nas, grożące zbyt poważnym niebezpieczeństwem dla naszej kultury naukowej. Do czegożby doprowadziło patrzeć na zdobywcze wiedzy przez pryzmat uprzedzeń rasowych lub narodowych? A takie właśnie patrzeć zauważyłem u nas niedawno z okazji pierwszego ogólniejszego zainteresowania się teorią względności we Lwowie.

Na samym końcu swojego wstępu Huber wyraża następujące życzenie:

Oby niniejsza [książeczka] zrobiła dobry początek i przełamała lody naiwnych uprzedzeń i pseudofilozoficznych przesądów na pożytek naszej kultury naukowej w odrodzonej i zjednoczonej Ojczyźnie.

Odnosi się tu do powstania i zjednoczenia państwa polskiego po ponad stu dwudziestu latach rozbiorów przeprowadzonych przez Austrię, Prusy i Rosję.

Broszura ta wzbudziła w Polsce tak ogromne zainteresowanie, że drugie polskie wydanie ukazało się już rok później, w 1922 roku. Huber dodał w nim jako załącznik

⁹Opis historii i wielu wydań broszury Einsteina znajduje się w pracy pod red. Hanocha Gutfreunda i Jürgena Renn *Relativity: The Special and the General Theory, 100th Anniversary Edition* (Princeton: Princeton University Press, 2015).

¹⁰Tu i dalej cyt. za: Maksymilian Tytus Huber, *Albert Einstein i jego teoria* (Lwów: Spółka Wydawnicza „Słowa Polskiego”, 1920), <https://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypty2/0246/>.

¹¹Albert Einstein, *Dialogue about Objections to the Theory of Relativity*, „Die Naturwissenschaften”, 6 (1918), 697–702, w: *The Collected Papers of Albert Einstein*, t. 7, dok. 13 (Princeton: Princeton University Press, 2002).

artykuł Einsteina z 1918 roku, napisany w formie dialogu między „relatywistą” odpowiadającym na pytania a kwestionującym tę teorię „krytykiem”¹¹.

Wracając do listy uczonych mających kontakt z Einsteinem lub znajdujących się pod jego wpływem: bez wątpienia najszerza współpraca pod względem zakresu badań oraz czasu trwania, jak również najbardziej znacząca dla rozwoju fizyki w Polsce po II wojnie światowej, to relacja między Einsteinem a Leopoldem Infeldem. W Archiwum Alberta Einsteina na Uniwersytecie Hebrajskim w Jerozolimie znajduje się bogata korespondencja tych dwóch uczonych, zapoczątkowana w 1927 roku i trwająca do śmierci Einsteina w 1955 roku. W tym okresie Einstein wysłał do Infelda sześćdziesiąt osiem listów, a Infeld do Einsteina – pięćdziesiąt siedem.

Ta obszerna wymiana myśli zasługuje na kilka zdań o samym Infeldzie. Rzućmy okiem w telegraficznym skrócie na jego biografię. Urodził się na krakowskim Kazimierzu w 1898 roku i odebrał żydowską edukację w szkole wyznaniowej. W latach 1916–1920 studiował fizykę na Uniwersytecie Jagiellońskim, gdzie uczęszczał na wykłady Natansona z grawitacji. Studia kontynuował w Berlinie w latach 1920–1921, tam po raz pierwszy spotkał Einsteina. Wrócił do Krakowa i na Uniwersytecie Jagiellońskim pod kierunkiem Natansona obronił rozprawę doktorską pod tytułem *Fale świetlne w teorii względności*. Przez następne osiem lat był dyrektorem żydowskiego gimnazjum w Koninie, a później nauczycielem fizyki w gimnazjum żydowskim dla dziewcząt w Warszawie. W latach 1930–1933 piastował swoje pierwsze stanowisko naukowe docenta na Uniwersytecie Lwowskim. Następnie wyjechał z Polski i w latach 1933–1935 pracował z Maxem Bornem w angielskim Cambridge. Punktem kulminacyjnym jego kariery, przygotowującym go do roli, jaką odegrał w powojennej polskiej fizyce, była współpraca z Einsteinem w Princeton w latach 1936–1939. W tym okresie stanowił część zespołu Einstein–Infeld–Hoffmann (EIH), który opublikował przełomowy artykuł na temat grawitacji i problemu ruchu¹². Autorzy przedstawili w nim możliwość, że teoria pola ogólnej teorii względności określi ruchy pojedynczych, mikroskopijnych cząstek i zapoczątkowali tym samym nowy program badawczy. Niestety publikacja ta przysłużyła się w negatywny sposób własnym

pracom Infelda dotyczącym problemu fal grawitacyjnych, ponieważ w tym kontekście prowadziła do mylnych przybliżonych wyników. W tym czasie Infeld napisał również z Einsteinem popularną książkę *Ewolucja fizyki*¹³. W 1955 roku Infeld był jednym z jedenastu sygnatariuszy manifestu Russella–Einsteina, który wzywał wszystkich naukowców do działań na rzecz rozbrojenia nuklearnego¹⁴.

Po kolejnych jedenastu latach pełnienia funkcji profesora fizyki na Uniwersytecie w Toronto Infeld wrócił do Polski w 1950 roku. Jego powrót do kraju nastąpił w czasie, gdy polskim władzom bardzo zależało na odbudowie narodowej infrastruktury naukowej. Infeld stał się jednym z koordynatorów tych działań, inicjującym aktywne badania nad teorią względności w stołecznym Instytucie Fizyki Teoretycznej. Warszawska grupa relatywistów stanowiła jeden z nielicznych tego typu ośrodków badawczych na świecie. Stała się rozpoznawalna na arenie międzynarodowej i ustanawiała coraz bliższe kontakty z innymi instytucjami naukowymi, dzierżąc w tym zakresie niekwestionowaną palmę pierwszeństwa na całym Wschodzie.

W instytucie powstał prężny zespół znakomitych studentów pracujących nad zagadnieniami, które w tamtych czasach znajdowały się w awangardzie badań ogólnej teorii względności: problemem ruchu i kwestią istnienia fal grawitacyjnych. Dla Infelda było to naturalne przedłużenie jego pracy w Princeton. Podczas gdy on sam podchodził sceptycznie do istnienia fal grawitacyjnych, jego uczniowie Andrzej Trautman i Jerzy Plebiański nie podzielali tych obaw. Infeld został ostatecznie przekonany przez swoich uczniów, o czym świadczy opublikowany pośmiertnie, a napisany wspólnie z Różą Michalską-Trautman artykuł na temat problemu dwóch ciał i promieniowania grawitacyjnego¹⁵.

Okres po powrocie Infelda do Polski przyniósł na poziomie krajowym ożywienie zainteresowania ogólną teorią względności. Połączenie międzynarodowej współpracy, wysiłków na rzecz budowania społeczności relatywistów, instytucjonalizacji oraz nowych spostrzeżeń i wyników doprowadziło do prawdziwego renesansu tej teorii, który głęboko zmienił jej charakter¹⁶. Dzięki tej interakcji między dynamiką społeczną i epistemiczną, ogólną teorię względności zaczęto uważać za samodzielną kom-

¹² Albert Einstein, Leopold Infeld, Banesh Hoffmann, *The Gravitational Equations and the Problem of Motion*, „Annals of Mathematics”, 39:1 (1938), 65–100.

¹³ Albert Einstein, Leopold Infeld, *Ewolucja fizyki: Rozwój poglądów od najdawniejszych pojęć do teorii względności i kwantów* (Warszawa: Prószyński i S-ka, 1998).

¹⁴ Manifest Russella–Einsteina: <https://pugwash.org/1955/07/09/statement-manifesto/>, dostęp: 10 października 2021.

¹⁵ Leopold Infeld, Róża Michalska-Trautman, *The two-body problem and gravitational radiation*, „Annals of Physics”, 55 (1969), 561–575. Rolę Infelda i jego uczniów w sporze dotyczącym istnienia fal grawitacyjnych opisuje Daniel Kennefick w książce *Traveling at the Speed of Thought*, rozdz. 9 (Princeton: Princeton University Press, 2007).

¹⁶ Na temat roli ośrodka warszawskiego w renesansie ogólnej teorii względności zob. Alexander Blum, Roberto Lalli, Jürgen Renn (red.), *The Renaissance of General Relativity in Context* (Cham: Springer, 2020); Roberto Lalli, *Building the General Relativity and Gravitation Community During the Cold War* (Cham: Springer, 2017).

pleksową dziedzinę badawczą, oferującą spójne ramy koncepcyjne dla tego, co wcześniej było jedynie fragmentarycznymi wysiłkami w matematyce, fizyce teoretycznej, astrofizyce i kosmologii. Odkrycia astrofizyczne z początku lat sześćdziesiątych, takie jak obserwacja kwazarów w 1963 roku i detekcja mikrofalowego promieniowania tła w 1965 roku, dające początek złotemu wiekowi teorii względności, padły w owym okresie renesansu na podatny grunt w Polsce.

Istotnym punktem zwrotnym w powojennym odrodzeniu ogólnej teorii względności była Konferencja Ogólnej Teorii Względności i Grawitacji, która odbyła się w Jabłonnej w 1962 roku. Infeld był przewodniczącym lokalnego komitetu organizacyjnego. Była to pierwsza konferencja oficjalnie zorganizowana przez nowo utworzoną Międzynarodową Konferencję Ogólnej Teorii Względności i Kosmologii (ICGRC). Zgromadziła ona wszystkich czołowych przedstawicieli badań nad ogólną teorią względności z Zachodu i Związku Radziec-

kiego, w tym wybitnych fizyków, których nazwiska nie są kojarzone z tą teorią, takich jak Max Born, Max von Laue, Wolfgang Pauli, Paul Dirac, Richard Feynman, Eugene Wigner, Władimir Fok, Witalij Ginzburg i inni. Była to pionierska konferencja, podczas której po raz pierwszy przedstawiono nowe idee i szczegółowo omówiono toczące się debaty. Propozycja Infelda zgłoszona na tym sympozjum doprowadziła do powstania czasopisma „General Relativity and Gravitation”. To spotkanie wyraźnie uwidoczniło wiodącą rolę, jaką warszawska grupa relatywistów odegrała w tym ważnym etapie ewolucji ogólnej teorii względności, jeszcze przed pojawieniem się wszystkich odkryć astrofizycznych i kosmologicznych, które w późniejszym czasie wzmogły zainteresowanie zastosowaniami tej teorii¹⁷.

Mamy nadzieję, że wydanie tej książki w języku polskim oraz niniejszy wstęp ożywią w pamięci naszych czytelników ów wspaniały rozdział historii fizyki w Polsce.

¹⁷Marek Demiański, którego mentorem był Trautman i który pomagał w organizacji konferencji w Jabłonce, opublikował swoje wspomnienia z tamtego spotkania: Marek Demianski, *The Jablonna conference on gravitation: a continuing source of inspiration*, „General Relativity and Gravitation” 46:1718 (2014).

Feynman przez PWN skrzywdzony, czyli degrengolada wydawnictwa

Piotr Chankowski*

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Pokoleniu fizyków wychowanemu na „Feynmana wykładach z fizyki” postać ich autora, wybitnego uczonego należącego do grona tych, którzy odcisnęli swoje szczególne piętno na współczesnej fizyce teoretycznej, jest dobrze znana. Richard Phillips Feynman był jednak także postacią niezwykle charakterystyczną i medialną, dzięki czemu szerokiej publiczności, a przynajmniej tym, którzy interesują się rozwojem fizyki w drugiej połowie XX w., stał się znany niewiele mniej niż Einstein. Poświęcono mu wiele programów telewizyjnych i książek. Polski przykład najnowszej, zapewne, książki, autorstwa niemieckiego publicyisty i popularyzatora nauki Jörga Resaga ukazał się niedawno nakładem Wydawnictwa Naukowego PWN. W Polsce wydano już do tej pory kilka książek pozwalających poznać bliżej Feynmana i to jak widział i uprawiał on fizykę, są to: jego własne wspomnienia „Pan raczy żartować, Panie Feynman” oraz „A co Ciebie obchodzi, co myślą inni?”, ponadto „Przyjemność poznawania” i świetna biografia „Geniusz” pióra Jamesa Gleicka. Zasadne jest więc postawienie pytania, czy nowa pozycja wnosi coś nowego. Wydaje się, że nie – nie znalazłem w książce Resaga nic, czego bym już wcześniej gdzieś nie przeczytał. Jedynym elementem różniącym nową biografię od starszych pozycji jest połączenie jej z próbami przybliżenia czytelnikowi istoty zagadnień, którymi zajmował się Feynman. Taki w zasadzie plan miał autor, który zadeklarował, że zamierza pisać przede wszystkim o fizyce Feynmana (co zresztą jest dobrze odzwierciedlone jedynie w tytule angielskiego przekładu „Feynman and his Physics”, tytuł niemieckiego oryginału bowiem „Leben und Forschung eines aussergewöhnlichen Menschen”, a tym bardziej tytuł polskiego przekładu, straszący potencjalnego czytelnika jakimś grobem, takiego zamiaru autora nie sygnalizują). Autorskie próby Resaga



Jörg Resag „Feynman. Fizyka aż po grób” PWN, Warszawa 2022

tłumaczenia „fizyki” wypadają jednak, moim zdaniem, niezbyt przekonująco, oprócz tego, że dublują (rzec by raczej należało „wulgaryzują”) to, co można znaleźć u samego Feynmana, jak i w innych pozycjach popularyzujących fizykę kwantową, wykorzystują przy tym wiedzę już nieco przestarzałą. Przykładem może tu być wyjaśnianie przez autora tego, co w duchu lat może 50. XX w. zwano korpuskularno-falową naturą materii; kładąc szczególny nacisk na zależną od położenia w przestrzeni funkcję falową cząstki, autor pozostaje na poziomie akademika Vladimira A. Focka, który w przedmowie do rosyjskiego wydania znanej monografii Diraca (wspomnianej przez autora na s. 33) uprzedzał czytelnika, że rozdział, w którym Dirac stara się wytłumaczyć, iż podstawowe pojęcie mechaniki kwantowej – kwantowy stan układu, jest niezrozumiałe i prezentuje niewłaściwe podejście, gdyż pierwotnym pojęciem jest funkcja falowa rozumiana ściśle po schrödingersku... Takie właśnie starożytnie

*ORCID: 0000-0002-8897-3426

rozumienie rzeczy autor ujawnia pisząc (s. 29) *elektrony muszą być raczej opisane jako fale, tak jak pisał francuski fizyk Louis de Broglie*.¹

W tym kontekście warto pewnie podkreślić, że właśnie ostatni tom „Feynmana wykładów z fizyki” będący wstępem do mechaniki kwantowej, choć napisany na początku lat 60. XX w., jest bardzo „nowoczesny”, gdyż kładzie nacisk nie na funkcję falową (falowe równanie Schrödingera pojawia się w nim gdzieś pod koniec), a na pojęcie kwantowego stanu układu fizycznego, amplitudy prawdopodobieństwa i ich interferencję. Nadmierne eksponowanie funkcji falowych i spełnianych przez nie równań kończy się nadmiernym celebrowaniem równania Diraca i idącym za tym rozpowszechnionym przekonaniem, że równania falowe są podstawą kwantowej teorii pola, a antycząstki biegną wstecz w czasie... W istocie rzeczy przekonanie to jest błędne, utrudnia zrozumienie kwantowej teorii pola i utrzymuje się w podręcznikach tylko dlatego, że tak się ta teoria historycznie rozwijała oraz dzięki bezwładowi umysłowemu ich autorów. Podobnie, choć Feynman doszedł do sformułowania metody diagramów zwanych na jego cześć dagramami Feynmana, wyobrażając sobie, iż antycząstki są cząstkami poruszającymi się wstecz w czasie, pomysł ten nie leży u podstaw kwantowej teorii pola i też raczej utrudnia niż ułatwia jej rozumienie. Pisząc więc dziś, po tylu latach, o koncepcjach Feynmana, dobrze by było oddzielać

1. Nie jest w tym odosobniony; niedawno wertując *American Journal of Physics* natknąłem się na całą serię artykułów, w których autorzy polemizując ze sobą rozwodzili się nad „głębokim” problemem czy cząstki są cząstkami, czy falami. Dla kogoś, kto wyklada kwantową teorię pola i zadał sobie trud przemyślenia jej podstaw, cała ta dyskusja jest dyskusją o niczym (na poziomie, który jest obecnie dostępny badaniom doświadczalnym, elektron jest cząstką; właściwości falowe ma tylko amplituda prawdopodobieństwa dająca odpowiedzi na dotyczące zachowania się tego elektronu różne pytania eksperymentalne, jakie można postawić; w XXI w., dobrze by więc było już porzucić te męczące czytelnikom w głowach półmistyczne dywagacje „cząstka, czy fala”). Możliwe są dwa sformułowania kwantowej teorii pola (jedynej prawdziwej podstawy teoretycznej niemal całej fizyki): jedno to kwantowa mechanika układu cząstek oddziałujących ze sobą nawzajem, a drugie to mechanika kwantowa układu, którym jest pole czy układ pól. Realnym problemem nie jest „cząstka czy fala”, lecz pytanie o to „czy pola, czy cząstki” stanowią „ontologię” świata fizycznego. Formalizm matematyczny obu podejść okazuje się identyczny, przynajmniej gdy dla celów praktycznych obliczeń wyjściowa nieseparowalna przestrzeń Hilberta zostaje zastąpiona pewną jej podprzestrzenią (zwaną przestrzenią wspomnianego już Focka), choć stany reprezentowane przez wektory przestrzeni Hilberta są w obu podejściach stanami różnych układów fizycznych. Współcześnie, zapewne wskutek legendarnej małomówności Diraca, istnieje tendencja, by nie dociekać (jak miał to w zwyczaju Bohr), jaka jest „istota rzeczy” i by poprzestawać na samej matematyce. Nie można jednak wykluczyć, że na jakimś poziomie zrozumienie „istoty rzeczy” może się okazać konieczne dla dalszego rozwoju teorii.

wizjonerskie pomysły, które jego samego naprowadziły na właściwy trop, od tego, jak współcześnie rozumiemy te sprawy. Ogólnie można to ująć tak, że entuzjazmowi autora dla postaci Feynmana i jego osiągnięć nie dorównuje niestety ani jego zrozumienie fizyki, ani zdolność jej wyjaśniania. Brnąc z obowiązku przez kolejne rozdziały książki Resaga czułem się coraz bardziej znużony i znudzony, ile razy bowiem można czytać to samo o tym samym?

Jako że starsze publikacje o Feynmanie i jego rozumieniu fizyki nie są już w księgarniach dostępne, książka Resaga mogłaby jednak spełnić pozytywną rolę przybliżając Feynmana młodszemu pokoleniu, któremu kluczowe postaci fizyki XX w. takie jak Bohr, Rutherford, Dirac, Heisenberg, Landau, Pauli, Wheeler, Feynman czy zmarły w zeszłym roku Weinberg i rola, jaką one odegrały w tworzeniu współczesnej fizyki, są coraz mniej znane. Mogłaby, gdyby nie zniweczyła tego strategia „outsourcingowa” firmy będącej wydawcą tego przekładu, nazywającej się wciąż PWN i wykorzystującej właściwie bez żadnego już merytorycznego uzasadnienia zasłużoną reputację pierwotnie Państwowego Wydawnictwa Naukowego, a od lat 90. XX w. Wydawnictwa Naukowego PWN. Najwyraźniej wydawca starał się zminimalizować koszty i zamiast znaleźć tłumacza mającego jakieś pojęcie o fizyce i elementarną umiejętność władania językiem polskim, wynajął do tłumaczenia jakąś spółkę-podwykonawcę. Ta z kolei zleciła przekład osobie „z ulicy”, która dokonała go mechanicznie, posługując się zapewne jakimś tłumaczem internetowym typu google translate. Wprawdzie zamieszczone w książce dane oryginalu sugerują, że podstawą przekładu było wydanie niemieckie, to nawet pobieżna analiza polskiego przekładu ujawnia, że był on dokonany z wydania angielskiego, niezawodnie bowiem zdradzają to takie „kwiatki”, jak np. *bloczki budulcowe*² (building blocks – w angielskiej literaturze często używane jako określenie roli kwarków, ale po polsku brzmi to bezsensownie) i zaiste tylko zupełną nieświadomością tłumaczki co do swoich umiejętności, gdy idzie o panowanie nad własnym językiem, można tłumaczyć jej nadzieję, że źródło przekładu nie zostanie zidentyfikowane. Wydaje się też, że otrzymanego przekładu wydawca albo zupełnie nie przejrzał pod kątem poprawności językowej i merytorycznej sensowności, albo że osoby odpowiedzialne w wydawnictwie za proces redakcyjny i przygotowanie do druku tej książki nie posiadają elementarnej znajomości języka polskiego, więc nie są zdolne dostrzec nawet najbardziej oczywistych językowych mankamentów przekładu, ani też nie mają fachowego przygotowania wydawniczego w zakre-

2. Teksty kursywą, tj. *czcionką pochylą* są cytatami z recenzowanej książki (przyp. red.).

sie publikacji naukowych i popularnonaukowych. Należy więc tylko podziwiać przezorność niemieckiego wydawcy, który, co można przeczytać na stronie redakcyjnej polskiego wydania, zastrzegł się, iż nie bierze żadnej odpowiedzialności za jakość tłumaczenia. Najwyraźniej miał pełną świadomość zawierania umowy z zupełnie nieprofesjonalnym kontrahentem... Aby nie być gołosłownym, przytoczmy wybrane dość przypadkowo fragmenty tłumaczenia. Pokazują one jasno, do czego prowadzi kompletny brak rozumienia przez tłumacza przekładanych treści i zupełne zaniechanie przez wydawnictwo pracy nad przygotowaniem tekstu, innymi słowy stopień upadku Wydawnictwa Naukowego PWN.

Przykłady

¡[Feynman] był jednym z najbardziej imponujących i znanych osobowości (s. 9); ¡wychodząc z pomysłu opisowego (s. 10, sic!) ¡i wykorzystując kwantowe zachowanie cząstek stworzył – bardzo ciekawe: to zachowanie tych cząstek jakoś mu pomagało tworzyć? [...] ¡wyjaśnili proces naruszenia symetrii lustrzanej (s. 10) – naruszenie tej symetrii nie jest procesem, tylko faktem doświadczalnym, a teoretyk może podać jedynie teorię uwzględniającą ten fakt i pozwalającą przewidzieć jego konsekwencje; ¡Feynman przez całe życie bardzo interesował się komputerami i fizycznymi podstawami informatyki, do czego również wykorzystał mechanikę kwantową (s. 10) – tzn. wykorzystywał mechanikę kwantową do pobudzania swego zainteresowania? ¡Feynman był też jednym z pierwszych, którzy zajmowali się kwantowym opisem grawitacji, czyli kwantowaniem ogólnej teorii względności Einsteina. Dziś ciągle jest to uważane za największy nierozwiązany problem w fizyce. Wielu fizyków zмага się z tym (chyba z nim?), np. w kontekście teorii strun lub pętli grawitacji kwantowej lub podczas eksperymentów na dużym sprężeniu, jak w Wielkim Zderzaczu w ośrodku CERN, w Genewie. (s. 11) – LHC jako „sprzęt” (sic!), owe zaś pętle grawitacji kwantowej po polsku należy nazywać pętlową teorią kwantowej grawitacji, ale skąd przypadkowy tłumacz może to wiedzieć? Ponadto – to już chyba zarzut do autora (tłumaczka zapewne nawet nie wiedziała, o czym mowa) – eksperymenty w LHC mają niewielki związek z czysto teoretycznymi problemami kwantowej grawitacji; być może autor miał na myśli podnoszony w pewnym momencie problem możliwości produkcji małych czarnych dziur w zderzeniach cząstek wysokoenergetycznych, taka możliwość została jednak przeanalizowana za pomocą bardziej konwencjonalnych teorii i nie miała bezpośredniego związku z ogólnym problemem kwantowania grawitacji. [wojna] ¡zabiła niezliczoną liczbę ludzi. USA włączyły się w konflikt [...], co powinno było ostatecznie przynieść zwycięstwo (s. 15) – a nie przyniosło? Oczywiście tłumaczka nie widzi różnicy między sformu-

lowaniami „powinno było”, a „miało”. ¡[Einstein] w roku 1915 odniósł sukces swoją ogólną teorią względności, aby pokazać, (odniósł sukces aby pokazać – sic!) że grawitacja opiera się na zakrzywieniu czasoprzestrzeni. Przewidział nawet, że światło jest zależne od tego zakrzywienia i poprzez grawitację może być zawrócone ze swojego prostoliniowego toru. (ss. 15–16) – zawrócone, czy odchylone(?) – po co tłumacz miałby się przejmować takimi subtelnosciami, skoro i tak kasa leci. ¡Sam Planck uważał kwanty za bardziej matematyczne wielkie liczby dotyczące procesów emisji i absorpcji, z których żadna nie ma rzeczywistego znaczenia. (s. 17) – czyżby tłumaczka (a może autor?) coś słyszeli, że Eddington pod koniec kariery zajmował się rozważaniami na temat roli wielkich liczb w fizyce, ale błędnie przypisali to Planckowi? ¡Ale Albert Einstein rozpoznał już w 1905 roku, że te abstrakcyjne kwanty musiały być prawdziwymi cząsteczkami światła – wtedy musiały być, ale teraz już nie muszą? Tak w każdym razie sugeruje tłumaczka, najwyraźniej nie umiejająca operować czasami w języku polskim (liczne dowody tego są rozsiane po całym tekście); przy okazji: wbrew temu, co można by sądzić, cząsteczkami po polsku nazywa się twory złożone, a twory elementarne nazywa się cząstkami. ¡Współczynnika translacji między cząstką a właściwością fali dostarcza kwant działania Plancka h (s. 29). ¡udało się nawiązać powiązanie ze szczególną teorią względności... (s. 32) – no comments. ¡Podczas studiów na MIT Feynman odkrył nową pasję, co nie miało nic wspólnego z fizyką (s. 41) – tzn. odkrycie pasji nie miało nic wspólnego z fizyką, sama pasja – granie na bongosach – mogła już mieć? Za wszystkie te zdania i sformułowania (nawet te niemające żadnego związku z fizyką), które składają się na polski przekład książki Resaga, w szkole tłumaczka usłyszałaby bez wątpienia sakramentalne „Siadaj! Niedostateczny!”

Prawdziwy kłopot zaczyna się jednak tam, gdzie aby tekst rzeczywiście tłumaczył „fizykę”, trzeba szczególnie dobrze dobierać sformułowania i przede wszystkim rozumieć, o co chodzi; dokonywanie przekładu na język polski z angielskiego przekładu niemieckiego oryginału przez osobę nieznaną fizyki i posługującą się nieporadną polszczyzną jest gwarancją porażki. Dodać tu trzeba, że, w opinii piszącego te słowa, rolą dobrego tłumacza jest także dyskretne poprawianie autora,³ co rzecz

3. Tłumacząc dla Postępów Fizyki wykłady noblowskie wielokrotnie musiałem ich teksty poprawiać i uzupełniać, wychodząc z założenia, że chodzi przede wszystkim o to, by przekazać czytelnikowi istotę problemów fizycznych i dokonań laureatów. Inspiracją w tej materii, choć trochę odległą, zawsze był dla mnie esej Stanisława Barańczaka „Mały, lecz maksymalistyczny manifest translologiczny albo: Tłumaczenie się z tego, że tłumaczy się wiersze również w celu wytłumaczenia innym tłumaczom, iż dla większości tłumaczeń wierszy nie ma wytłumaczenia”.

jasna wymaga, by przekładu dokonywał rozumiejący istotę zagadnienia fizyk. Na przykład na s. 22 czytamy, że twierdzenie Noether daje w pewnym sensie odpowiedź na pytanie (zadane przez Feynmana swemu ojcu) o źródła zjawiska bezwładności ciał. Gdyby autor zapoznał się był z (fascynującą skądinąd ale niestety nieprzełożoną na język polski) książką J. Barboura „The Discovery of Dynamics”, wiedziałby, że sprawa jest o wiele bardziej złożona.⁴ Twierdzenie Noether wyjaśnia tylko, dlaczego konsekwencją symetrii względem przesunięć układu w przestrzeni jest zazwyczaj⁵ zachowanie pędu, ale nie jest to odpowiedź na pytanie o źródła bezwładności, czyli o to, dlaczego twierdzenie Noether stosuje się do fizycznego Wszechświata, z którym mamy do czynienia. Od siebie tłumaczka dołożyła tu jeszcze piękny przykład buraczanej polszczyzny: *«Symetrii przemieszczenia» całkowity pęd i idiotyzm: zachowanie pędu jest konsekwencją symetrii przemieszczenia naszego świata (s. 23) – chyba tylko Pan Bóg jest w stanie nasz świat przemieścić – oraz wykazała się brakiem znajomości polskiej terminologii (obrotowy moment pędu to po polsku po prostu moment pędu, a termin *pęd obrotowy*, który dodała – zapewne na wszelki wypadek – w ogóle nie jest używany). Inny przykład tego, jak niezrozumienie treści przez tłumacza wpływa na przekład, to akapit na s. 26: *«Możemy określić energię kinetyczną i potencjalną dla każdego punktu w czasie na odpowiedniej ścieżce – niezależnie od tego, czy jest to rzeczywista, czy wyimaginowana trajektoria. Następnie obliczamy różnicę między energiami, jak i sumujemy (a dokładniej: integrujemy) je w całość przez cały czas lotu.* Oczywiście średnio wykształcony fizyk wie, co autor chciał tu powiedzieć, ale z punktu widzenia zrozumiałości dla laika jest to*

4. Wypada też zauważyć, że gdy w tomie I swoich Wykładów Feynman czyni aluzję do filozoficznych poglądów, to nie ma na celu, jak sugeruje autor, wyłącznie ich zdezawuowania: zwraca on w tym miejscu uwagę właśnie na problem źródeł bezwładności (i zasady Macha); dobrze jest przy tym pamiętać, że Wykłady były pisane w czasach wciąż dużych wpływów filozofów wywodzących się z der Wiener Kreis i szkoły filozofii analitycznej, roszczącej sobie pretensje do rozstrzygania problemów fizykalnych za pomocą rozumowań czysto logicznych.

5. bo nie zawsze: przykładem, o który lubiłem pytać na egzaminach magisterskich, jest cząstka poruszająca się pod wpływem niezależnej od położenia (być może zmiennej w czasie) siły; nawet Landau i Lifszyc napisali na ten temat bzdury w swojej „Mechanice (KFT).

6. Inny przykład (s. 35): *«prawa Newtona dla planety zamiast prawa Newtona zastosowane do ruchu planety.* Przypomina to używane typowo sformułowanie „Dla funkcji $f(x)$ znaleźć miejsca zerowe” i wiele innych podobnych „kwiatków”. To „dla” jest jakąś plagą polszczyzny fizyków – jest to kalka z angielskiego „for”, które też wydaje się być raczej przejawem ubóstwa językowego piszących po angielsku teksty naukowe; w końcu czemuż by proces degradacji języka miałby dotyczyć tylko języka polskiego?

belkot (nawet pomijając fakt, że tłumaczka nie wie, iż integrowanie po polsku nazywa się całkowaniem). Poprawnie zdanie to powinno być sformułowane następująco: *«Każdemu punktowi należącemu do dowolnej trajektorii (niezależnie od tego czy jest to trajektoria rzeczywista, czy tylko wyobrażona), odpowiadającemu jakiejś konkretnej chwili trwania ruchu po niej, możemy przypisać energię kinetyczną i potencjalną poruszającego się ciała, a następnie scałkować różnicę tych energii po czasie od początkowej chwili ruchu do końcowej.* Na stronie 35 (w „inforamce”) czytamy: *«użyć jej odległości od Słońca, a także zmiennej kątowej [...], które również są uważane za uogólnione współrzędne – zapewne w angielskiej wersji stało „can be taken for”, co w tym kontekście należało oddać literalnie, tj. „mogą odgrywać rolę uogólnionych współrzędnych”.* W tejże samej ramce czytamy punkt 3 przepisu na otrzymanie lagrangeowskich równań mechaniki: *«Wyznamy pochodną funkcji Lagrange’a L indywidualnie po każdej współrzędnej prędkości, a następnie po czasie t .» Następnie podstawiamy wynik równy pochodnej L względem skojarzonej współrzędnej. – jeśli ktoś z tego zrozumie, o co chodzi, niechybnie musi być kimś, kto już studiował mechanikę (i takie tłumaczenie jest mu zbędne). *«Wynik był jednak niezgodny z wynikami eksperymentów, więc choć podejście Feynmana i Weltona było przekonujące, jednakże równanie Kleina–Gordona jest relatywistycznym uogólnieniem równania Schrödingera.* (s. 40) – i dalej czytelnik nie wie, czy równanie Kleina–Gordona jest, czy nie jest uogólnieniem, ponieważ tłumaczka zgubiła przeczenie i sformułowała zdanie nieskładnie, a korekty, żeby zaoszczędzić, nie było. (W świetle moich wcześniejszych uwag tak sformułowane zagadnienie nie ma zresztą sensownej odpowiedzi, ponieważ równania falowe nie są podstawą teorii oddziaływań cząstek relatywistycznych, a zarówno równanie Diraca, jak i Kleina–Gordona w pewnych sytuacjach uogólniają równanie Schrödingera – jako przybliżenia pełnej teorii, czyli kwantowej teorii pola – pierwsze, gdy rozpatrywana cząstka ma spin $1/2$ – jak to ślicznie tłumaczka ujęła *«niesie jeden kwantowo-mechaniczny moment pędu; domyślnie mogłaby nieść dwa (?), a drugie, gdy jest bezspinowa.*) W ramce (mającej przybliżyć zainteresowanym matematyczne oblicze omawianego problemu) na s. 40: *«Teraz wiemy, że energia cząstki jest czymś powiązanym z częstotliwością przynależnej fali kwantowej.* To „teraz” pewnie miało oznaczać „wiemy już” (choć możliwe, że w angielskiej wersji było „now”, które czasem się wstawia dla nadania zdaniu rytmu, ale co to jest *«przynależna fala kwantowa(?)* i dalej w tejże ramce: *«należy odpowiednio również wprowadzić dwukrotnie pochodne czasowe – chodzi o to, że w związku z występowaniem kwadratu energii należy wprowadzić drugie pochodne.* I dalej *«Można to wszystko obliczyć, czego nie chcemy ro-**

bić w te (brak j w opublikowanym polskim przekładzie) chwili. Okazuje się, że nadal dodawane są odpowiednie prefaktory, takie jak $i\hbar$ – może lepiej, że nie chcemy. Jeszcze by czytelnik zasłabł czytając takie tłumaczenia. I jeszcze ciut dalej w tej samej ramce, tylko na stronie 41: *Przy wyższych prędkościach, które są również zbliżone do prędkości światła c , obowiązuje zaś relatywistyczne równanie $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$, gdzie pominęliśmy tutaj (gdzie? no tutaj!) energię potencjalną V dla uproszczenia całej operacji. Jeśli ponownie zastąpimy energię i pęd czasowymi i przestrzennymi pochodnymi fali kwantowej i dodamy odpowiednie prefaktory, tak powstanie równanie Kleina–Gordona. Z uwagi na kwadraty E^2 i p^2 weźmiemy tu pod uwagę drugą pochodną względem czasu i przestrzeni, podczas gdy równanie Schrödingera zawiera tylko pierwszą pochodną względem czasu. I dalej: *przestrzenne przyporządkowanie atomu w cząsteczce (s. 43) – chyba przestrzenne usytuowanie (rozemieszczenie) atomów cząsteczki; *pojęcie siły nawet nie pojawia się w równaniach (s. 43) – pojęcie pojawiające się w równaniach? W równaniach zwykle występują (a nie pojawiają się) wielkości. Może jednak trzeba spytać filozofów, co pojęcia potrafią robić? *otrzymamy krzywą, która dla określonej odległości ma punkt minimum (s. 43) – chodzi oczywiście o to, że krzywa ma minimum w punkcie odpowiadającym określonej odległości (w przekładzie tłumaczki Resaga różnym odległościom odpowiadają różne krzywe, a każda z nich ma jakieś minimum); zdanie *Jeśli w układzie współrzędnych użyjemy odległości między jądrami na osi x , a całkowitą energię na osi y (s. 43) powinno brzmieć: Jeśli na osi x wykresu odłożymy odległość między jądrami, a na jego osi y , całkowitą energię; *jest to odległość równowagi, którą preferują jądra w cząsteczce wodoru (s. 43) – zapewne grając w preferansa... *Siła ta wynika ze wzrostu lub spadku krzywej energii z wykresu i skierowana jest w dół – tak molekula do pewnego stopnia polubiła poruszanie się po łuku w dół, aż zostanie osiągnięty najniższy punkt. (s. 43) – po prostu malowniczy przykład belkotu wynikającego z tego, że tłumaczka nie rozumie, najprostszyc treści (być może znów winne jest tu tłumaczenie z przekładu). Jeszcze inny przykład niesprawności tłumacza: *Jeśli teraz weźmiemy punkt z frontu jakiejś fali elementarnej i połączymy go z punktem na froncie następnej tworzonej tam fali elementarnej itd., można wybrać punkty na dowolnej ścieżce pokrytej falami – wystarczy wybrać fale elementarne wystarczająco małe i połączyć ze sobą odpowiednie punkty na frontach fal (rysunek 1.2). (s. 54) – Konia z rzędem temu, kto ten belkot zrozumie (nawet posiłkując się rysunkiem). I jeszcze na tejże stronie, *zamiast mówić o wszystkich wyobrażonych falach elementarnych, można rozważać wszystkie możliwe udziały fali – wynik jest ten sam – niewątpliwie, jak się ma udziały w takim interesie, wynik jest istotnie zawsze taki sam:*********

bankructwo. Właściwie można by było jeszcze długo przytaczać sformułowania z tego fatalnego tłumaczenia – skończyłoby się to przepisaniem całej książki, ponieważ praktycznie w każdym akapicie znajdujemy albo dowody niezrozumienia treści, albo niedostatecznego rozumienia używanych polskich sformułowań. Poprzestańmy więc na tym, co wyżej.

W warunkach gospodarki rynkowej nie można nikomu zabronić wydawania książek i optymalizowania według własnych kalkulacji kosztów produkcji. Przeciwwagą tego musi być jednak konieczność liczenia się wydawnictwa i jego kooperantów z negatywną oceną finalnego produktu, jaki w efekcie oferowany jest czytelnikom. Jako jego potencjalni odbiorcy i jako społeczność fizyków mamy prawo bronić się przed „wciskaniem” nam, a zwłaszcza młodym naszym adeptom bubla (nazwijmy rzecz po imieniu) i podreperowaniu sobie przez prywatną firmę wyników finansowych naszym kosztem. Dlatego apeluję o szerokie rozpowszechnienie w środowisku ostrzeżenia: ta pozycja jest nic nie warta! nie dajmy „robić się w konia” cwaniakom! Zainteresowanym fizyką przedstawicielom młodszych generacji mogą tylko poradzić: czytajcie samego Feynmana; jego wykłady są bardziej wartościowe (i nie takie znów trudne!), niż zdeformowane przez dwustopniowy przekład (i ewidentny brak zrozumienia tekstu przez polską tłumaczkę) popularyzatorskie wywody autora, dla tłumaczki zaś mam szczerą radę: niech zajrzy do słownika polszczyzny, co oznacza słowo „wstyd” i się zastanowi, czy dla paru groszy warto tracić reputację i robić z siebie pośmiewisko.

Komentarz Anny Szemberg redaktor naczelnej
POSTĘPÓW FIZYKI

Powyzsza druzgocąca recenzja ujawniła, na podstawie wybranych przykładów zaczerpniętych z pierwszych 54 stron publikacji, liczne niedociągnięcia przekładu książki Jörge Resaga w sferze językowej, ale przede wszystkim poważne błędy merytoryczne wynikające z tego, że tłumaczka nie rozumiała przekładanego tekstu i nie znała terminologii fizycznej oraz matematycznej. Trudno sobie wyobrazić, że wydawnictwo naukowe zatrudnia menedżerów procesu wydawniczego posiadających wykształcenie we wszystkich dziedzinach wiedzy, które obejmuje plan wydawniczy. To jednak absolutnie nie zwalnia wymienionych z nazwiska na stronie redakcyjnej: wydawcy i koordynatora redakcji z odpowiedzialności za zawartość publikacji trafiającej do rąk czytelników, szczególnie w przypadku przekładu z języka obcego. Na wspomnianej stronie

redakcyjnej książki, która jest rodzajem metryki każdej publikacji, nie znajdujemy natomiast nazwisk osób, które, zgodnie z dobrymi praktykami wydawców naukowych i akademickich, powinny były zadbać o jej merytoryczną i językową jakość, tj. recenzenta, konsultanta i/lub weryfikatora przekładu, redaktora merytorycznego, redaktora językowego, korektora. Brak tych nazwisk w recenzowanej książce nasuwa przypuszczenie graniczące z pewnością, że PWN w ogóle nie powołał tego rodzaju specjalistów do pracy nad tym przekładem.

W wyniku takich nieodpowiedzialnych oszczędności potencjalny czytelnik otrzymał bezwartościową publikację nielicującą z nazwiskiem znakomitego fizyka Feynmana i prestiżową (niegdyś) marką PWN na okładce, na którą to markę pracowały w przeszłości setki fachowych i zaangażowanych osób. Tak nonszalanckie podejście do publikowania jest niedopuszczalne szczególnie w przypadku książek naukowych czy popularnonaukowych!

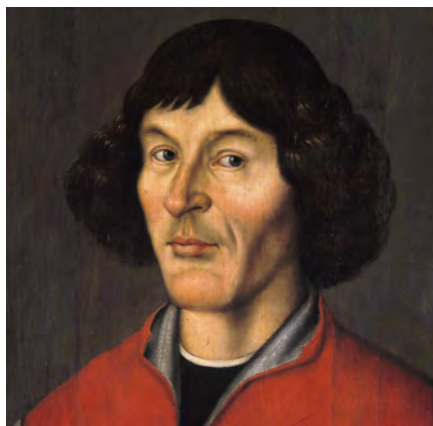
Mikołaj Kopernik – rys biograficzny

Krzysztof Mikulski*

Centrum Badań Kopernikańskich UMK w Toruniu

Mikołaj Kopernik urodził się w Toruniu 19 lutego 1473 roku o godzinie 4.48, w rodzinie bogatego kupca Mikołaja Kopernika i Barbary z domu Watzenrode. Jego datę urodzin utrwalono w drukowanym horoskopie z około 1541 roku. Podał ją pewnie sam astronom, inaczej nigdy byśmy jej nie poznali, w Toruniu bowiem nie prowadzono wówczas jeszcze ksiąg metrykalnych ani urzędowej rejestracji urodzeń. Ochrzczono go w kościele parafialnym pod wezwaniem Świętych Janów Chrzciciela i Ewangelisty wodą z brązowej chrzcielnicy.

Mikołaj Kopernik, ojciec astronoma (ok. 1425-1483), pochodził z kupieckiej rodziny z Nysy. W młodości był czeladnikiem, a potem wspólnikiem bogatego kupca krakowskiego Jana Sweidniczera. W Toruniu osiadł w roku 1455 i korzystając z pośrednictwa syna wspomnianego Jana Sweidniczera – Jerzego, ożenił się w 1458 roku z Barbarą Watzenrode (ok. 1438-1495), córką bogatego kupca toruńskiego Łukasza, siostrą późniejszego biskupa warmińskiego też Łukasza (1447-1512). Kopernikowie mieli czworo dzieci: Barbarę (ok. 1460-ok. 1525), Katarzynę (ok. 1471 – po 1509), Mikołaja (1473-1543) i Andrzeja (ok. 1475-ok. 1518).



Mikołaj Kopernik – portret z Sali Mieszczańskiej w Ratuszu Staromiejskim w Toruniu, 1580 (źródło: Wikimedia Commons)

*ORCID: 0000-0002-9908-7606

Młody Mikołaj, podobnie jak inni jego rówieśnicy z rodzin mieszczańskich, podjął naukę w szkole parafialnej przy kościele św. Janów w Toruniu zapewne w wieku 7 lat, czyli w 1480 roku, jeszcze za życia ojca, po śmierci którego pozostawał pod opieką wuja Tylmana von Allena. Po ukończeniu szkoły parafialnej powinien był wyjechać na studia ok. 1489 roku, ale ze względu na konflikt wuja z królem polskim w latach 1489-1491 kontynuował naukę w szkole braci Wspólnego Życia w Chełmnie. Dopiero w 1491 wyjechał razem z młodszym bratem Andrzejem na studia do Krakowa. Po śmierci matki (1495) Mikołaj i Andrzej Kopernikowie przerwali studia w Akademii Krakowskiej i udali się na Warmię do wuja Łukasza Watzenrode – biskupa warmińskiego. Jeszcze w tym samym roku Mikołaj został członkiem kapituły warmińskiej¹.

Latem 1496 wyruszył do Włoch, by podjąć studia na uniwersytecie w Bolonii, gdzie poznał wybitnego profesora astronomii – Dominika Marię Novara (1454-1504), którego stał się wkrótce uczniem i przyjacielem. Novara formalnie zajmował się astrologią, czyli wróżbiarstwem. Faktycznie jednak prowadził obserwacje astronomiczne i objaśniał zasady budowy wszechświata. Kontakt z tym uczynym wywarł znaczący wpływ na późniejsze poglądy Kopernika. W 1498 dołączył do Mikołaja w Bolonii jego młodszemu bratu Andrzejowi. Wiosną 1500 roku Kopernikowie wyjechali z Bolonii do Rzymu na uroczystości związane z początkiem nowego stulecia. Przy okazji mieli odbyć praktykę prawniczą, zapewne w kancelarii jednego z rzymskich kardynałów. Mikołaj Kopernik prowadził tam obserwacje zaćmienia Księżyca i wygłosił pierwszy swój publiczny wykład z astronomii. Wiosną 1501 bracia wrócili na Warmię, by uzyskać zgodę na kontynuowanie studiów i uzyskali ją już w lipcu tego roku. Mikołaj miał kontynuować studia z medycyny w Padwie, a Andrzej studia prawnicze w Rzymie. Ostatecznie jednak Kopernik

1. kapituła katedralna z siedzibą we Fromborku, która w latach 1346–1772 sprawowała władzę świecką nad 1/3 Warmii, w tym nad miastami Frombork, Pieniężno i Olsztyn (przyp. red).

nie ukończył studiów medycznych odpowiednim egzaminem i nie uzyskał tytułu doktora. Nie przeszkadzało mu to jednak w praktykowaniu medycyny w przyszłości. Aby zadośćuczynić oczekiwaniom kapituły musiał jednak osiągnąć jakiś stopień naukowy. Postanowił uzyskać tytuł doktora prawa kanonicznego, które wcześniej było przedmiotem jego studiów w Bolonii. Stosowny przewod przeprowadził jednak nie w miejscu wcześniejszej nauki, ale na uniwersytecie w Ferrarze. Zadecydowały o tym zapewne względy finansowe. O ile w Bolonii za egzamin doktorski trzeba było zapłacić 30 dukatów, to w Ferrarze o pięć mniej. Ostatecznie 31 maja 1503 roku Mikołaj Kopernik uzyskał stopień doktora prawa kanonicznego i jesienią tego roku powrócił na Warmię.

Odtąd aż do śmierci w 1543 przebywał głównie na Warmii – najpierw w Lidzbarku Warmińskim, co najmniej do 1510, potem we Fromborku. Opuszczał ją towarzysząc wujowi – biskupowi Watzenrode w jego podróżach „służbowych” do Krakowa na ślub króla Zygmunta Starego, do Piotrkowa na sejmy, do Malborka i Grudziądza na zjazdy stanów pruskich, do Elbląga i Gdańska w interesach publicznych.

Po śmierci wuja (1512) poświęcił się pracy na rzecz kapituły, pełniąc w niej funkcje kanclerza, wizytatora, wikariusza generalnego i administratora dóbr kapitulnych. Z tytułu tego ostatniego zajęcia wyjeżdżał do Olsztyna i tam rezydował w latach 1516-1518 i 1520. W tym ostatnim roku przygotowywał miasto do obrony przed wojskami wielkiego mistrza krzyżackiego Albrechta, napisał list do króla Zygmunta Starego, zapewniając go w nim o swojej wierności. List został przechwycony przez krzyżaków, którzy ostatecznie nie zaatakowali miasta. W latach 1512-1519 astronom powrócił przede wszystkim do aktywnej działalności naukowej. Poczynił w tym czasie liczne obserwacje astronomiczne ruchu planet, które pozwoliły mu na przystąpienie do pisania jego najważniejszego dzieła *De revolutionibus*. Przypuszcza się, że Kopernik zaczął pisanie swej najważniejszej rozprawy naukowej na przełomie lat 1514 i 1515 i pracował nad nią do ok. 1530.

W tym też czasie (1517) opracował na zlecenie biskupa Fabiana Luzjańskiego swoją pierwszą rozprawę o reformie pieniądza *Rozmyślenia*. Miało to związek z „psuciem” monety przez Zakon, skargami stanów na ten proceder oraz misją biskupa w Królewcu, gdzie miano zabiegać o ukrócenie tych praktyk. Jeszcze w Olsztynie powstał też traktat o pieniądzu, będący rozwinięciem wcześniejszej rozprawy. W 1522 roku włączył się ponownie w prace stanów Prus Królewskich nad reformą monetarną. W marcu tegoż roku wygłosił na zjeździe

w Grudziądzu napisany trzy lata wcześniej traktat o pieniądzu. Większość jego wniosków została ujęta w oficjalnej uchwale zjazdu stanów przyjętej w Tczewie w październiku 1522. Rok później zjazd stanów w Grudziądzu podjął uchwałę o zrównaniu monety pruskiej z polską z przelicznikiem zaproponowanym przez Kopernika. W 1528 Kopernika wciągnięto znów w sprawy polityki monetarnej. Dzięki namowom biskupa Ferbera astronom opracował przed marcem 1528 roku ostateczną wersję swojego traktatu *Rozprawa o bicu monety*, w którym wyłożył zasadę, że gorszy pieniądz wypiera lepszy. W kwietniu wyjaśniał biskupowi i kanonikowi Filipowi Reichowi niuanse swoich poglądów, w maju prezentował je na zjeździe stanów w Malborku. Ostatecznie jednak w uchwalonej wówczas reformie systemu monetarnego wykorzystano założenia Decjusza, z którym Kopernik polemizował.

Po 1538 Mikołaj Kopernik wycofał się z aktywnego życia publicznego i przebywał we Fromborku. Popadł w konflikt z nowym biskupem warmińskim Janem Dantyskiem. W tym czasie w życiu astronoma pojawiła się tajemnicza kobieta – Anna Schilling. Wcześniejsi biografowie Kopernika doszukiwali się w jej obecności we Fromborku romansu tych dwojga. Bardziej prawdopodobne jest jednak, że Anna Schilling była gdańszczanką, kuzynką Kopernika (jego siostrą cioteczną), która po śmierci swego męża przybyła do Fromborka, by zaopiekować się podupadającym na zdrowiu kuzynem. Na polecenie biskupa Anna musiała opuścić kanonik Kopernika, ale kupiła dom we Fromborku i przez jakiś czas przebywała jeszcze w jego pobliżu. Po śmierci astronoma pojawiła się jeszcze raz we Fromborku (1543), kiedy to sprzedała wspomnianą nieruchomość.

W maju 1539 Mikołaja Kopernika odwiedził we Fromborku profesor uniwersytetu w Wittenberdze – Jerzy Joachim Retyk, któremu podczas kolejnej wizyty u Kopernika (1541) udało się namówić astronoma do wydania jego dzieła drukiem. Na początku grudnia 1542 roku Kopernik miał wylew krwi do mózgu i doznał paraliżu prawej strony ciała. Ostatnie pół roku życia spędził w łóżku. Około 21 marca 1543 roku dzieło *De revolutionibus orbium coelestium* (pol. *O obrotach sfer niebieskich*) wyszło ostatecznie drukiem w oficynie Jana Petreiusa w Norymbberdze. Najprawdopodobniej Kopernik nie widział już wydrukowanego dzieła, które dotarło do Prus po jego śmierci, przy czym dokładna data śmierci astronoma nie jest znana; zmarł krótko przed 21 maja 1543, chociaż istnieje pewne prawdopodobieństwo, że nastąpiło to 24 maja – zgodnie z datą umieszczoną na poświęconym mu epitafium w katedrze we Fromborku.

Henryk Stachowiak (1933-2022)

część 1

Grażyna Kontrym-Sznajd*

Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN

Grzegorz Stachowiak**

Instytut Informatyki Uniwersytetu Wrocławskiego

część 2

Mojmir Šob***

Wydział Chemii Uniwersytetu Masaryka w Brnie, Czechy

1

5.10.2022 w wieku 89 lat zmarł Profesor Henryk Stachowiak, długoletni pracownik Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN im. W. Trzebiatowskiego we Wrocławiu.

Henryk Stachowiak urodził się 31.03.1933 we Francji, w miejscowości Dechy, w rodzinie emigrantów zarobkowych z Polski. Naukę w szkole podstawowej rozpoczął w roku 1939, ukończył ją dwa lata przed terminem w 1943 i rozpoczął naukę w College Moderne. Po zakończeniu II wojny światowej, w listopadzie 1945 rodzina przeprowadziła się do Polski; najpierw osiedlili się w Fordonie (Bydgoszcz), potem na stałe zamieszkali w Nakle nad Notecią. W roku 1951 Henryk ukończył Liceum, zostając finalistą II olimpiady matematycznej. Wtedy zdecydował o studiowaniu fizyki na Uniwersytecie Wrocławskim. Skąd taki wybór? Jak napisał w swoich wspomnieniach *Czas nieustrascony: Warszawa zbyt snobistyczna, w dodatku zrujnowana, Kraków zbyt zasiedziały, Poznań zbyt prozaiczny, Toruń zbyt prowincjonalny, Łódź bez wyrazu*. Tak rozpoczęła się przygoda z fizyką we Wrocławiu.

Czteroletnie studia zakończone pracą magisterską pod opieką wówczas dr. Jana Łopuszańskiego poświęcone były kaskadom elektronowo-fotonowym. Otrzymane wyniki były na tyle nieoczekiwane, że zostały opublikowane w *Acta Physica Polonica* (1956).

Po studiach aspirantura (odpowiednik dzisiejszych studiów doktoranckich) w PAN: pół roku w Warszawie, następnie w Zakładzie Fizyki Niskich Temperatur we Wrocławiu, utworzonym przez prof. Romana Stanisława Ingardena. Pracując pod jego kierunkiem Stachowiak zajmował się termodynamiką procesów nieodwracalnych, a pracę doktorską *Efekty termo- i galwanomagnetyczne w niejednorodnym polu magnetycznym i temperaturowym*, obronił w 1960.



Fot. 1. Henryk Stachowiak, zdjęcie z legitymacji Związku Nauczycielstwa Polskiego (z archiwum INTiBS PAN)

W tym okresie prof. Ingarden wyjechał do USA, wyjechał tam o staże na Uniwersytecie w Chicago dla wypromowanych przez siebie doktorów: Waleriana Ziętka i Henryka Stachowiaka. I tak w 1964 roku dr Stachowiak

*ORCID: 0000-0003-1401-7252

**ORCID: 0000-0002-3128-4689

***ORCID: 0000-0002-5724-890X

wyjechał do USA na 1,5 roczny kontrakt, gdzie pracował pod kierunkiem słynnego fizyka Leopolda M. Falicova. Podczas pobytu w USA napisał jedną ze swoich najbardziej znanych prac *Theory of the de Haas-van Alphen Effect in a System of Coupled Orbits. Application to Magnesium*, L. M. Falicov, H. Stachowiak, *Phys. Rev.* 147, 505 (1966).

W roku 1966, z połączenia dwóch placówek PAN: Zakładu Fizykochemicznych Badań Strukturalnych PAN (do 1963 był to Zakład Badań Strukturalnych IChF PAN) prof. Włodzimierza Trzebiatowskiego oraz Zakładu Fizyki Niskich Temperatur IF PAN (do 1960 była to Samodzielna Pracownia Niskich Temperatur IF PAN) prof. Romana S. Ingardena, powstał Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN. W instytucie tym Henryk Stachowiak pracował aż do roku 2018.

Po powrocie do Polski dr Stachowiak kontynuował badania rozpoczęte w Chicago. Stanowiły one podstawę jego habilitacji, przeprowadzonej na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii UW w 1968 roku, na podstawie rozprawy *Efektywne przewodnictwo elektryczne mieszanin polikrystalicznych oraz metali polikrystalicznych w polu magnetycznym*. Rok później wyjechał na półroczne stypendium na Politechnikę Duńską w Lyngby, gdzie rozpoczął badania struktury elektronowej metali wykorzystując dane eksperymentalne korelacji kątowych kwantów anihilacji elektron-pozyton. Ta tematyka, poszerzona o teorię oddziaływania elektron-pozyton w gazach i metalach, była podstawą jego późniejszych badań oraz badań jego doktorantów.

Tytuł profesora nadzwyczajnego uzyskał w roku 1977, a w 1991 tytuł profesora zwyczajnego. W latach 1977-2003 kierował kolejno Zakładami: Teorii Ciała Stałego i Teorii Metali promując 10 doktorów, co na pracownika PAN jest dużym osiągnięciem. Opublikował około 120 prac, do najbardziej cytowanych należą: wymieniona wcześniej praca z Falicovem; praca poświęcona teorii oddziaływania $e-p$ w metalach: *Selective enhancement of different electron populations by electron-positron attraction. Application to zinc*, S. Daniuk i inni, *J. Phys. F: Met. Phys.* 17, 1365-1378 (1987); prace dotyczące teorii oddziaływania $e-p$ w gazach: *Self-consistent solution of the Kahana equation for a positron in an electron gas*, A. Rubaszek, H. Stachowiak, *Phys. Rev. B* 38, 3846-55 (1988) oraz *Electron-positron interaction in Jellium*, H. Stachowiak, *Phys. Rev. B* 41, 12522-35 (1990). Prowadzone przez Profesora badania były dwukrotnie wyróżnione (1974, 1985) nagrodami Wydziału III oraz Sekretarza Naukowego PAN.

Profesor Stachowiak był członkiem European Physical Society (Europejskiego Towarzystwa Fizycznego), Polskiego Towarzystwa Fizycznego oraz członkiem komitetu organizacyjnego cyklicznych (polskich i międzynarodowych) Seminariów Anihilacji Pozytronu.



Fot. 2. Seminarium INTiBS PAN, październik 2010. Profesor Małgorzata Samsel-Czekala (wówczas doktor) składa życzenia prof. Henrykowi Stachowskiemu z okazji 50-lecia jego doktoratu (z archiwum INTiBS PAN)

W roku 1999 przeszedł na emeryturę, pozostając zatrudnionym do 2004 na pełnym etacie, później (do roku 2018) na 1/5 etatu. Będąc na emeryturze napisał nietuzinkowe wspomnienia *Czas nieutracony* (2011) oraz *Program dla homo sapiens. Zapiski emeryta* (2016). Autobiografię *Czas nieutracony*, tak sam skomentował: *Wspomnienia te obejmują cały okres mojego świadomego życia, począwszy od powstania Frontu Ludowego we Francji w 1936 r. (towarzyszyłem wtedy matce, która zanosila jedzenie strajkującemu w kopalni ojcu), aż do, powiedzmy, katastrofy smoleńskiej w 2010 r. Dużą część tego okresu stanowi trwanie w PRL-u. Z licznych wspomnień dotyczących tego okresu dowiadujemy się, że życie wtedy było „szare” i nie było „wolności”. Moje życie w PRL-u nie było wprawdzie usłane różami, ale określiłbym je jednak jako barwne i ekscytujące. Uważam, że moje wspomnienia mogą być pouczającym uzupełnieniem panującej mitologii dotyczącej nie tylko okresu PRL-u.*

Osoby niepamiętające okresu PRL stwierdzenie barwności ówczesnego życia może dziwić. Tymczasem październik 1956, następujące po nim „odwilż gomulowska” i liberalizacja polityki wewnętrznej, umożliwiły wielu pracownikom naukowym wyjazdy za żelazną kurtynę nie tylko na staże długoterminowe, ale także na konferencje, m.in. na Szkołę Fizyki Teoretycznej w Paryżu już w roku 1958.

Polecam przeczytanie tej książki. Jawi się w niej cały Profesor ze swoim nietuzinkowym spojrzeniem na większość zagadnień i skojarzeniami, które często szokowały i szokują, jak np. *Obaj (z Wałesą) przeszliśmy długą drogę, dochodząc w końcu do tych samych wniosków. Różnią się jednak od Wałesy tym, że niczego stoczniovcóm nie obiecywałem*. Kolejna książka Profesora poświęcona jest rozwa-

zaniom kryteriów oceny działalności naukowej, metod walki z bezrobociem oraz polityki polskiej i zagranicznej.

Literatura

J. Kapuścik (red.), *Współcześni uczeni polscy. Słownik biograficzny*. Tom IV, OPI, Warszawa 2002.

H. Stachowiak, *Czas nieutracony*, Oficyna Wyd. Atut, Wrocław 2011.

H. Stachowiak, *Program dla homo sapiens. Zapiski emeryta*, Oficyna Wyd. Atut, Wrocław, 2016.

J. Stankowski, J. Małecki, A. Wójtowicz (red.) *Who is Who in Physics, Poland 1997*, IFM PAN Poznań.

2

O ile prof. Grażyna Sznajd była pierwszą wypromowaną doktorantką, o tyle piszący te słowa był pierwszym zagranicznym współpracownikiem prof. Stachowiaka odbywającym staż naukowy w INTiBS PAN w ramach umowy o współpracy pomiędzy Akademiami Nauk Polski i Czechosłowacji. Dzięki tej współpracy mogłem poznać teorię oddziaływania $e-p$ w ciele stałym, biorąc

udział w badaniach prowadzonych w grupie Profesora. Poza tym mogłem uczestniczyć w Ogólnopolskich Seminariach Anihilacji Pozytonów, organizowanych przez grupę prof. Rozenfelda z Uniwersytetu Wrocławskiego, przy czym ogólnopolskich jedynie z nazwy, ponieważ co drugi rok były to seminaria międzynarodowe, w których uczestniczyli znamienici naukowcy również z krajów zachodnich, zwykle część z nich na zaproszenie Henryka Stachowiaka. Z czasem regularnie uczestniczyłem w tych spotkaniach, które były dla mnie, podobnie jak i dla naukowców z innych krajów bloku wschodniego, otwarciem okna na świat zachodniej nauki.

W późniejszych okresach, kiedy już nie tylko naukowcy z Polski, ale również z dawnych krajów bloku wschodniego mogli wyjeżdżać na zachód, spotykałem prof. Stachowiaka na wielu międzynarodowych konferencjach. Dużo dyskutowaliśmy, nie zawsze na tematy naukowe. Poglądy Profesora często szokowały, odnosiłem wrażenie, że czasami prowokacyjnie formułuje je na granicy absurdu. To zresztą w sposób bardzo wyraźny odzwierciedla biografia Profesora *Czas nieutracony*.

Kronika Polskiego Towarzystwa Fizycznego

LIPIEC 2022

Timisoar, Rumunia. W dniach 15-22.07.2022 został rozegrany Międzynarodowy Turniej Młodych Fizyków (MTMF, ang. *International Young Physicists' Tournament*). Polska drużyna, reprezentowana przez Klub Naukowy Fenix, po pięciu potyczkach eliminacyjnych uzyskała kwalifikację do ścisłego finału i tym samym zdobyła złoty medal. W jej skład wchodził absolwenci warszawskich liceów: Jan Turczynowicz, Maciej Dąbkowski oraz Rafał Bryl (XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica), Igor Kumela (V Liceum Ogólnokształcące im. Księcia Józefa Poniatowskiego) oraz Mikołaj Czarnecki (XXXIII Liceum Ogólnokształcące Dwujęzyczne im. Mikołaja Kopernika).

Przygotowaniem uczniów do turnieju zajmowali się Łukasz Gładczuk i Radosław Waszkiewicz. Ścisły finał został rozegrany pomiędzy drużynami Singapuru, Polski i Szwajcarii (kolejność wg punktacji po eliminacjach). W potyczce finałowej drużyny prezentowały wybrane przez siebie zagadnienia: Szwajcaria – zadanie 10 *Wybuchające krople* (*Droplet explosion*), Singapur – zadanie 2 *Pierścień na pręcie* (*Ring on the rod*), Polska – zadanie 8 *Linie ekwipotencjalne* (*Equipotential lines*). Ostatecznie polska drużyna uplasowała się na trzeciej pozycji, a zdobywcą pucharu zostali Szwajcarzy. Tym samym Puchar, który po zawodach MTMF rozegranych w Gruzji w 2021 roku był w posiadaniu drużyny polskiej, która zwyciężyła 34. Międzynarodowy Turniej Młodych Fizyków, pozostał w Europie.

Polacy uczestniczą w rozgrywkach MTMF od 1989 roku. Do 2022 włącznie polskie drużyny zdobyły 26 medali w Turniejach Młodych Fizyków organizowanych na całym świecie: 8 złotych: Rumunia (2022), Gruzja (2021), Singapur (2017), Tajlandia (2015), Wielka Brytania (2014), Australia (2004), Ukraina (2002), Węgry (2000); 5 srebrnych: Chiny (2018), Tajwan (2013), Szwecja (2003), Niemcy (1998), ZSRR (1991); 13 brązowych: Rosja (2016), Iran (2011), Chiny (2009), Chorwacja (2008), Korea (2007) Słowacja (2006), Szwajcaria (2005), Finlandia (2001), Węgry (2000), Austria (1999), Czechy (1997), Gruzja (1996), ZSRR (1990).



Drużyna Klubu Naukowego Fenix i jej opiekunowie po ceremonii dekoracji zwycięzców 35 MTMF 2022 w Timisoarze; od lewej: opiekunowie – Radosław Waszkiewicz, Łukasz Gładczuk, zawodnicy – Maciej Dąbkowski, Jan Turczynowicz, Rafał Bryl, Mikołaj Czarnecki, Igor Kumela (z archiwum organizatorów TMF 2022)

Po raz pierwszy Turniej Młodych Fizyków zorganizował Evgeny Yunosov w 1979 roku. Początkowo rozgrywany był w Związku Socjalistycznych Republik Radzieckich. Następnie w krajach będących pod kontrolą ZSRR, a po upadku ZSRR stał się turniejem o zasięgu międzynarodowym z niezależnym komitetem organizacyjnym. Obecnie MTMF jest cyklicznym konkursem dla drużyn uczniowskich łączącym zdobywanie wiedzy fizycznej w zakresie programu szkoły średniej z elementami pracy naukowej. Uczestnicy konkursu zespołowo opracowują zadania opublikowane tuż po zakończeniu poprzedniej edycji turnieju. Zadania mają charakter otwarty i do ich analizy można użyć wszelkich powszechnie dostępnych informacji, skorzystać z pomocy pracowników naukowych oraz nauczycieli. Wyjątkową cechą konkursu jest to, że uczniowie poza bardzo dobrym przygotowaniem merytorycznym muszą posiadać umiejętności pracy zespołowej, prezentacji wyników badań oraz prowadzenia dyskusji w języku angielskim na dużym forum publicznym. W Polsce organizacją rozgrywek kwalifikujących do MTMF, pod nazwą Turniej Młodych Fizyków (TMF), zajmuje się Polskie Towarzystwo Fizyczne. Organizację zawodów wspierają: Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej oraz Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. Uczniowie chcący uczestniczyć w TMF opracowują zadania opublikowane na stronie

<http://tmf.org.pl> w zakładce Aktualny Turniej, po czym przystępują do kolejnych etapów konkursu: I etap korespondencyjny – zespoły nadsyłają prace oceniane następnie przez sędziów powołanych spośród pracowników naukowych Instytutu Fizyki Polskiej Akademii Nauk, Uniwersytetu Wrocławskiego, Uniwersytetu Warszawskiego. Po przejściu etapu korespondencyjnego drużyny zostają zakwalifikowane do zawodów półfinałowych, które są rozgrywane równolegle w dwóch ośrodkach: na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Wrocławskiego oraz w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk (PAN) w Warszawie. Rozgrywka składa się z dwóch potyczek przeprowadzanych na scenie sali wykładowej między trzema drużynami. W każdej rozgrywce odbywają się starcia, w których drużyny pełnią naprzemiennie następujące role: Referent prezentujący swoje rozwiązanie, Oponent krytykujący rozwiązanie przedstawione przez Referenta, Recenzent oceniający wystąpienia Referenta i Oponenta. Po zakończeniu starcia każda drużyna jest oceniana przez zespół sędziów, następuje zmiana ról i zawodnicy kontynuują potyczkę. Cztery drużyny, zwycięzcy półfinałów, są kwalifikowane do zawodów finałowych TMF, które rozgrywane są w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie. Przebiegają podobnie jak półfinały, jednakże poszczególne potyczki prowadzone są w języku angielskim. Drużyna wygrywająca finał reprezentuje Polskę na MTMF. W 2023 roku 36. Międzynarodowy Turniej Młodych Fizyków został rozegrany w Pakistanie.

Koszty uczestnictwa polskiej reprezentacji w poprzednim, 35. Międzynarodowym Turnieju Młodych Fizyków w Rumunii były częściowo finansowane z dotacji przyznanej przez Fundację PZU. Dziękujemy!

Leszek Gładczuk

SIERPIEŃ 2022

Warszawa. W dniach 21-26.08.2022 w Warszawie odbyła się 13. międzynarodowa konferencja z cyklu *Laser-light and Interactions with Particles (LIP) – Optical Particle Characterization follow-up!* zorganizowana przez Polskie Towarzystwo Fizyczne w Instytucie Fizyki PAN. Finansowo została wsparta przez Ministerstwo Edukacji i Nauki w ramach programu „Doskonała nauka”. Ze strony IF PAN za współorganizację odpowiedzialny był Zespół optycznych badań mikro- i nanoobiektów, kierowany przez dr. hab. inż. Daniela Jakubczyka, prof. IF PAN. Konferencje tego cyklu koncentrują się wokół zagadnienia oddziaływań pomiędzy wiązkami laserowymi a cząstkami – od teorii do praktyki. W kręgu zainteresowań znajdują się w szczególności takie fundamentalne zagadnienia jak: optyczne metody charakteryzowania cząstek, rozpraszanie światła w bliskim i dalekim polu, plazmonika, mechaniczne efekty światła oraz zastosowania takie jak: charakterystyka przepływów wielofazowych, aerozole i nauka

o atmosferze, fizyka plazmy i materii miękkiej, biomedyczna inżynieria optyczna czy teledetekcja. Konferencje tego cyklu organizowane są w ośrodkach badawczych na całym świecie – poprzednia w College Station, w Texasie, następna w Xi'an, w Chinach. Ze względu na sytuację międzynarodową (w szczególności epidemiologiczną) konferencja w 2022 roku miała charakter hybrydowy. Spotkało się na niej 44 badaczy z 16 krajów świata: 21 przybyło osobiście, 23 uczestniczyło zdalnie. Program obejmował 41 wystąpień. Zaproszone wykłady wygłosili: prof. Leonardo Ambrosio z University of São Paulo, prof. Edouard Berrocal z Lund University, prof. David Grier z New York University, prof. Monika Ritsch-Marte z Medical University of Innsbruck oraz prof. Maciej Wojtkowski z Międzynarodowego Centrum Badań Oka – ICTER Instytutu Chemii Fizycznej PAN. Uczestnicy, którzy przybyli osobiście zwiedzili laboratoria optyczne Instytutu Fizyki PAN i mieli okazję poznania Warszawy – jej historii, architektury, zabytków. Spotkanie było okazją do wymiany wielu myśli i naukowych doświadczeń. Zostało też bardzo dobrze ocenione przez gości zarówno tych przybyłych osobiście, jak i łączących się dzięki technologiom wideokonferencyjnym. W powszechnym odczuciu jednak forma zdalna pozostawia pewne uczucie niedosytu i oderwania od społeczności naukowej skupiającej się wokół tego cyklu konferencji.

Daniel Jakubczyk

SIERPIEŃ 2022

Zakopane. W dniach 28.08-04.09.2022 odbyła się *Zakopiańska Konferencja Fizyki Jądrowej (Zakopane Conference on Nuclear Physics 2022)*. Była to już 55. edycja tej konferencji, zwanej od kilku sezonów *Extremes on the Nuclear Landscape*. Ten leitmotyw przewija się w badaniach egzotycznych jąder atomowych, leżących na rubieżach mapy znanych nuklidów, ale nawiązuje też do surowych górskich krajobrazów widocznych z pięknie położonej siedziby konferencji – Hotelu Belvedere w Zakopanem. Konferencję zorganizował zespół pracowników Zakładu Struktury Jądra Atomowego krakowskiego IFJ PAN we współpracy z firmą Coti Conference Time.

Trzeba przypomnieć, że w tym roku mija już sześćdziesiąta rocznica organizacji pierwszej Szkoły Fizyki Jądrowej – inicjatywy grupy studentów związanych z profesorami Henrykiem Niewodniczańskim i Andrzejem Hrynkiewiczem i od tego czasu fizycy jądrowi regularnie spotykali się łącząc dyskusję o fizyce z wędrówkami po górach, a we wcześniejszych latach, kiedy te spotkania odbywały się zimą, z jazdą na nartach. Od tamtych czasów Szkoła wyewoluowała w kierunku międzynarodowego kongresu, jednej z najważniejszych pozycji w kalendarzu spotkań fizyków jądrowych na świecie. Skala tego

wydarzenia powoduje, że obecnie konferencja jest organizowana co dwa lata. Przejawem ciągłości tradycji Szkół Fizyki jest obecność animatorów tamtych pierwszych spotkań także na współcześnie organizowanych konferencjach. W tym roku mieliśmy zaszczyt i przyjemność gościć w naszym gronie prof. Jana Stycznia, wielokrotnego chairmana Szkół Fizyki.

Tegoroczna Konferencja Zakopiańska była wydarzeniem wyjątkowym, gdyż w związku z pandemią COVID-19, było to pierwsze spotkanie naszego środowiska po czteroletniej przerwie (poprzednia zakopiańska Konferencja miała miejsce w roku 2018). Także w wymiarze światowym nasza konferencja była jedną z nielicznych imprez tej rangi, które odbyły się w formie bezpośredniego uczestnictwa, tak przecież ważnego, a brakującego w ostatnim okresie elementu efektywnej współpracy naukowej. Rzeczywiście frekwencja przerosła oczekiwania organizatorów. W konferencji wzięło udział około 180 uczestników z 23 krajów, w tym liczne delegacje z Ameryki Północnej i z Dalekiego Wschodu; goście zagraniczni stanowili ponad 70% uczestników. Wygłoszono blisko 100 wykładów i zaprezentowano 60 plakatów. Program naukowy, przygotowany w konsultacji z międzynarodowym komitetem programowym, składał się z czterech autorskich sesji tematycznych, zwołanych przez czołowych ekspertów w danych dziedzinach: 1) Struktura egzotycznych nuklidów (prof. Alexandra Gade, MSU, USA), 2) Eksperymenty NUSTAR i APPA w laboratorium FAIR (prof. Wolfram Korten CEA, Francja), 3) Jądrowe zjawiska kolektywne (prof. Adam Maj, IFJ PAN, Polska), 4) Astrofizyka jądrowa (prof. Jorge Piekarowicz, FSU, USA). Oprócz tego zaprezentowano stan najnowszych badań teoretycznych i eksperymentalnych nad strukturą jądra atomowego i reakcjami jądrowymi. Luminarze fizyki jądrowej wygłosili serię wykładów specjalnych: prof. Witold Nazarewicz (MSU, USA) przedstawił stan i perspektywy badań teoretycznych w fizyce jądrowej, prof. Marek Lewitowicz (GANIL i NuPECC, Francja) zreferował długofalowe plany badawcze fizyki jądrowej w Europie sformułowane przez komitet NuPECC, prof. Philippe Chomaza (CEA, Francja) rozważał zastosowanie komputerów kwantowych do obliczeń fizyki jądrowej. Ogromnym zainteresowaniem cieszyła się sesja plakatowa, a czwórce autorów najlepszych prac wręczono hojne nagrody ufundowane przez NuPECC. Kilkoro najmłodszych uczestników zagranicznych, prezentujących seminaria na temat przygotowywanych przez nich doktoratów, otrzymało stypendia agencji NAWA na udział w konferencji. W kuluarach odbyło się także ważne spotkanie przedstawicieli polskich grup badawczych związanych z programem FAIR, które reprezentowali m.in. prof. Tadeusz Lesiak z IFJ PAN i prof. Zbigniew Majka

z UJ, z dyrektorem tego przedsięwzięcia prof. Paulo Giubellino i jego współpracownikami.

Nowością tegorocznej edycji była transmisja obrad w streamingu na kanale YouTube IFJ PAN, co pozwoliło na zdalne uczestnictwo kolegów, których obecność była niemożliwa, np. z Ukrainy.

Nawet najlepszy program naukowy nie zapewni pełnego sukcesu konferencji, jeśli zabraknie w niej atmosfery stymulującej dyskusję i sprzyjającej integracji społeczności naukowej. Jądrowe konferencje zakopiańskie, dzięki swojej lokalizacji i wydarzeniom towarzyszącym obradom, słyną właśnie z takiego niepowtarzalnego klimatu. Pomimo dużej intensywności zajęć merytorycznych, zawsze udaje się nam wygospodarować czas na wspólne spacerunki po urokliwych zakątkach Tatr. Wraz z gośćmi podziwiamy uroki Zakopanego i kulturę Podhalań. W tym roku, mimo niezbyt sprzyjającej pogody, popołudniowe wypadki do Tatarskiego Parku Narodowego cieszyły się wyjątkową popularnością wśród uczestników, zapewne dodatkowo zachęconych wspaniałą narcią przewodnicką. Natura odpłaciła uczestnikom za ciepłowość w trakcie wycieczki konferencyjnej w słowackie Tatry Wysokie, gdy chmury, rozproszone po tamtej stronie gór, wreszcie odstąpiły niezapomniane widoki, a szum i rozbryzgi kaskad wezbranego potoku Zimna Woda dosłownie zapierały dech w piersiach.



(z archiwum organizatorów konferencji)

Jedynym w swoim rodzaju był także bankiet konferencyjny, na którym standardy taneczne, w tym obowiązkowy polonez, przeplatały się z najnowszymi hitami list przebojów z Bollywood. Te ostatnie, zaproponowane przez liczną grupę doktorantów z Indii, zelektryzowały także resztę uczestników (różnych generacji), którzy przy tych egzotycznych rytmach wspólnie bawili się do białego rana. Rozjeżdżający się do domów uczestnicy konferencji zgodnie deklarowali, że znów spotkają się w Zakopanem za dwa lata.

*Piotr Bednarczyk, Maria Kmiecik,
Magdalena Matejska-Minda*

PAŹDZIERNIK 2022

Poznań. W dniach 06-09.10.2022 odbyły się największe w Polsce targi gier komputerowych *Poznań Game Arena* (PGA). Oprócz propozycji największych studiów tworzących gry komputerowe, prezentowana była także oferta edukacyjna. Nie ulega wątpliwości, iż połączenie umiejętności z fizyki i informatyki jest wysoce cenione w branży producentów gier. W odpowiedzi na to zapotrzebowanie Wydział Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku promował na targach specjalność Fizyka Gier Komputerowych i Robotów (<http://gry.fizyka.uwb.edu.pl/>) łączącą wyżej wspomniane dziedziny. Obsługą stoiska wydziału zajęli się studenci tej specjalności: Paweł Jarmacewicz oraz Stanisław Jakimowicz pod okiem opiekuna dr. Krzysztofa Gawryluka. Imprezie PGA 2022 towarzyszyła konferencja naukowa *Game Industry Conference*, podczas której można było dodatkowo poszerzyć swoją wiedzę o programowaniu, projektowaniu, tworzeniu i marketingu gier komputerowych.

Wojciech Olszewski

Wrocław. Polskie Towarzystwo Fizyczne we współpracy z Politechniką Warszawską, Komitetem Fizyki PAN oraz Polskim Stowarzyszeniem Fotonicznym ustanowiło rok 2022 Rokiem Mieczysława Wolfkego. W ramach obchodów Roku Mieczysława Wolfkego Oddział Wrocławski PTF zorganizował Piknik Naukowy z Wolfkem w dniach 9-10.10.2022 na Wieży Matematycznej w gmachu głównym Uniwersytetu Wrocławskiego, udostępnionej nieodpłatnie przez JM Rektora Uniwersytetu prof. Roberta Olkiewicza. Pomieszczenia Wieży Matematycznej stanowią dzisiaj przestrzeń ekspozycyjną Muzeum Uniwersytetu Wrocławskiego. Taras widokowy znajdujący się na wysokości 42 m stwarza zwiedzającym możliwość podziwiania panoramy wrocławskiego Starego Miasta, a także Wyspy Słodowej oraz dzielnicy Nadodrze. W salach wystawowych zaaranżowanych na kolejnych poziomach Wieży prezentowane są eksponaty związane z działalnością Obserwatorium Astronomicznego UWr. Zobaczyć tu można instrumenty astronomiczne z różnych epok, np. kolekcję zegarów słonecznych oraz przyrządów do obserwacji kosmosu, m.in. astrolabium z XIV w., globus nieba z 1699 roku, osiemnastowieczny kwadrant ścienny i koło repetycyjne, które służyło do pomiaru szerokości geograficznej. W Wieży pokazywane są także publikacje uniwersyteckie oraz fotograficzne relacje z badań naukowców związanych z Uniwersytetem Wrocławskim.

W 1910 roku prof. Wolfke uzyskał stopień doktora na Uniwersytecie Wrocławskim pod opieką prof. Ottona Lummera. Z Wrocławiem związane są też losy rodziny Wolfkego. Syn Profesora, Karol Wolfke, w 1946 roku rozpoczął pracę na Uniwersytecie Wrocławskim jako

asystent w Katedrze Prawa Narodów. Zdobywał tam kolejne stopnie naukowe, a w 1992 roku tytuł profesora zwyczajnego; zmarł 08.03.2015, na trzy miesiące przed setną rocznicą swoich urodzin. Do dziś we Wrocławiu mieszka córka Karola Wolfkego, tj. wnuczka Mieczysława Wolfkego oraz jego prawnuki. Tak silne związki Profesora z Wrocławiem spowodowały, że Oddział Wrocławski PTF zorganizował Piknik Naukowy z Wolfkem pod patronatem Uniwersytetu Wrocławskiego, Politechniki Wrocławskiej oraz Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN. W programie znalazły się pokazy zjawisk i technologii, nad którymi pracował Mieczysław Wolfke, prezentowane przez studentów i doktorantów wymienionych instytucji naukowych, zebranych w następujące bloki tematyczne: *Techniki oświetleniowe, Telewizja mechaniczna, Barwy oraz złudzenia optyczne, Holografia, Fizyka niskich temperatur*. Fundacja WroSpace (<https://wrospace.pl/>) zorganizowała warsztaty *Mini misje stratosferyczne*, a astronomowie z Instytutu Astronomicznego UWr przygotowali na tarasie widokowym Wieży Matematycznej bezpieczne obserwacje Słońca przez teleskop. Wszystkim należą się pochwały i podziękowania, w szczególności kierujemy je do dwóch studentów z Politechniki Warszawskiej, Krzysztofa Lasockiego i Michała Ptaszka, którzy przyjechali do nas ze skonstruowanym przez siebie, uwspółcześnionym w stosunku do modelu Wolfkego, telewizorem mechanicznym.

Uczestnicy Pikniku mieli też okazję wysłuchania wykładów prof. Krzysztofa Rogackiego z INTiBS PAN: *Nadprzewodnictwo: spektakularne osiągnięcia, zadziwiające perspektywy* oraz dr. hab. Sławomira Drobczyńskiego z Politechniki Wrocławskiej: *Holografia – sposób na trójwymiarowe obrazy*, jak również dwóch prelekcji naszego gościa z Politechniki Warszawskiej, koordynatora Roku Mieczysława Wolfkego, dr. Krzysztofa Petelczyca: *Profesor Mieczysław Wolfke – pionier fizyki technicznej w Polsce oraz Niebezpieczeństwo wiedzy – prof. Mieczysław Wolfke i odpowiedzialność nauki*. Panu doktorowi Petelczycowi serdecznie dziękujemy za uczestnictwo w naszym przedsięwzięciu. Wszystkie prezentacje odbywały się w nietypowej sali, na strychu gmachu głównego UWr.

Już samo miejsce Pikniku, bardzo klimatyczne, na które prowadzi około 150 imponujących marmurowych Schodów Cesarskich, stwarzało niepowtarzalną, wręcz fantastyczną piknikową atmosferę. Pogoda przez całe dwa dni była piękna, a frekwencja dopisała. W niedzielę gościliśmy głównie turystów, indywidualnych lub wycieczki z przewodnikami, wśród których było wielu obcokrajowców, którzy zwiedzali Muzeum Uniwersytetu Wrocławskiego, w tym Wieżę Matematyczną. W poniedziałek odwiedzającymi były zarówno osoby indywidualne, grupy wycieczkowe, jak i zorganizowane, zapisane

wcześniej, grupy szkolne z wrocławskich liceów i szkół podstawowych.

Prezentowanie doświadczeń i wyjaśnianie obserwowanych zjawisk fizycznych osobom w bardzo różnym wieku nie było łatwym zadaniem dla naszych studentów i doktorantów, ale dzielnie sobie radzili, choć około godz. 16.00 widać już było na ich twarzach zmęczenie. PTF zafundowało im bony żywieniowe do blisko położonej restauracji samoobsługowej, żeby mogli się posilić i dotrwać do końca Pikniku, przy czym po jego zakończeniu musieli jeszcze zrobić porządki, zapakować sprzęt doświadczalny i rozwieźć do odpowiednich instytutów. Mimo zmęczenia mówili, że to dla nich było świetne doświadczenie, i że chętnie pomogą przy organizacji podobnych imprez naukowych w przyszłości. Fotografie z Pikniku dostępne są na stronie <https://wfa.uni.wroc.pl/pl/relacja-z-pikniku-wolfkego/>

Ewa Dębowska, Wojciech Rudno-Rudziński

Białystok. W ramach obchodów Roku Mieczysława Wolfkego Wydział Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku we współpracy z Politechniką Warszawską zorganizował piknik naukowy poświęcony temu pionierowi fizyki technicznej w Polsce. 11.10.2022 uczestnicy pikniku mogli wysłuchać wykładu poświęconego życiu i dokonaniom tego znakomitego polskiego fizyka. Prelekcję wygłosił dr Krzysztof Petelczyc z Wydziału Fizyki PW – współautor biografii Wolfkego (K. Petelczyc, Ewelina Kędzierska *Mieczysław Wolfke. Gdyby mi dali choć pół miliona...* OWPW, 2018). Po wykładzie studenci i doktoranci z Wydziałów Fizyki UwB oraz PW pokazali, jak bawić się fizyką i „zarażać” nią nawet najmłodsze pokolenie. W ramach wspólnego eksperymentowania można było zobaczyć odtworzone urządzenie odbiorcze telewizji mechanicznej inspirowane patentem szesnastoletniego Wolfkego. Nie mniejszym zainteresowaniem cieszyły się pokazy z holografii i optyki dyfrakcyjnej (której Wolfke poświęcił doktorat), w tym tworzenia obrazów obiektów magnetycznych, których badania są specjalnością białostockich fizyków. W programie nie zabrakło również eksperymentów z fizyki niskich temperatur, z którą Mieczysław Wolfke związał swoje osiągnięcia po powrocie do wolnej Polski. Galeria zdjęć z wydarzenia dostępna jest na profilu FB Oddziału Białostockiego PTF: <https://www.facebook.com/PTFBialystok/>

Poznań. *Plazmony i dynamika drgań w nanomateriałach* to tytuł warsztatów, które odbyły się w dniach 11-13.10.2022 na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W ramach wydarzenia ogłoszono szereg wykładów z dziedziny plazmoniki

i dynamiki drgań. Wśród zaproszonych prelegentów znalazł się m.in. prof. dr. George Fytas z Instytutu Maxa Plancka w Moguncji.

Mikołaj Lewandowski

Białystok. Po raz kolejny prof. dr hab. Piotr Jaranowski z Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku znalazł się w gronie najlepszych naukowców na świecie pod względem cytowalności ich prac naukowych – w rankingu *World's Top 2% Scientists*, czyli na liście 2% najlepiej cytowanych autorów uwzględniającej cały dorobek naukowy, jak również na liście obejmującej dane jedynie z 2021 roku. Ranking *World's Top 2% Scientists* opracowany został przez analityków z Uniwersytetu Stanforda we współpracy z firmą Elsevier. Ocenia on dorobek naukowy badaczy według indeksu bibliometrycznego, uwzględniając m.in. takie kryteria jak indeks Hirscha, liczbę cytowań czy miejsce na liście autorów.

Białystok. 25.10.2022 można było podziwiać w Polsce częściowe zaćmienie Słońca. Z tej okazji uczniowie VII Liceum Ogólnokształcącego w Białymstoku wzięli udział w praktycznej lekcji fizyki i astronomii. Ich przewodnikami po cudach kosmosu byli naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku oraz przedstawiciele Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii (oddział Białystok). Spotkanie rozpoczęło się w Uniwersyteckim Centrum Kultury, gdzie młodzież wysłuchała wykładu Wojciecha Burzyńskiego, prezesa PTMA Białystok, zatytułowanego *O co chodzi z tym zaćmieniem?* O tym fascynującym zjawisku mówił również dr hab. Marek Niokolajuk, prof. UwB z Wydziału Fizyki podczas projekcji filmu *Wszechświat i cała reszta* w uniwersyteckim Planetarium. Na zakończenie dnia uczniowie mogli również zajrzeć do Obserwatorium UwB. Tu z młodzieżą spotkał się astronom mgr Andrzej Branicki. Niestety wtorkowa pogoda w Białymstoku nie sprzyjała obserwacji Słońca „na żywo”. Pomimo tego można było zapoznać się z konstrukcją i możliwościami teleskopu ASA 600, jednego z największych teleskopów dydaktycznych w Polsce, którym dysponuje Obserwatorium UwB.

Białystok. 26.10.2022 Wydział Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku gościł u siebie piątoklasistów ze Społecznej Szkoły Podstawowej nr 11 w Białymstoku. Uczniowie brali udział w warsztatach strukturalnych pod zawołaniem *Doskonale uporządkowany świat*.

W ramach warsztatów, pod okiem dr hab. Katarzyny Rećko, prof. UwB oraz dr. Wojciecha Olszewskiego, młodzi badacze analizowali własności klasycznych figur płaskich, którymi w różnych konfiguracjach starali się wypełnić ograniczone powierzchnie.

Jednocześnie opisywali własności symetrii takich dwuwymiarowych układów. Następnie dokonali jakościowej oceny różnic w upakowaniu przestrzeni z wykorzystaniem 7 podstawowych trójwymiarowych układów krystalograficznych. Grupy warsztatowe miały również za zadanie porównać i przedyskutować różnice pomiędzy strukturą soli i cukru oraz grafitu i diamentu. Niemniejszym zainteresowaniem uczniów cieszyły się modele strukturalne fulereny, nanorurki węglowej oraz płatek śniegu. Fotorelacja z tego wydarzenia dostępna jest na naszym profilu na FB: <https://www.facebook.com/PTFBialystok/> lub Instagramie: <https://www.instagram.com/ptfbialystok/> Zainteresowanych zapraszamy do zapoznania się z założeniami warsztatów: <https://shorturl.at/aQ145> oraz zgłoszenia swojego udziału. Przyjmujemy zgłoszenia szkół z województw: podlaskiego, mazowieckiego, lubelskiego oraz warmińsko-mazurskiego.

Warsztaty realizowane są przy wsparciu finansowym Oddziału PAN w Olsztynie i w Białymstoku z siedzibą w Olsztynie oraz Wydziału Fizyki UwB (umowa nr PAN.BFB.S.BUPN.281.022.2022).

LISTOPAD 2022

Kraków. 18.11.2022 dr hab. Katarzyna Rećko, prof. UwB została uhonorowana prestiżową Nagrodą im. prof. Kazimierza Bartła za wybitne osiągnięcia w nauce w dziedzinie fizyki. Profesor Rećko jest zatrudniona w Katedrze Fizyki Materii Skondensowanej Wydziału Fizyki UwB. Zajmuje się badaniem wielofunkcyjności nanoukładów w aplikacjach biomedycznych przy użyciu metod spektroskopowych i dyfrakcyjnych promieniowania X oraz neutronów.

W tym roku Kapituła Nagrody, pragnąc przypomnieć o misji uniwersytetów, doceniła naukowy profil aktywności akademickiej laureatki, jak również jej dążenia do upowszechniania wiedzy oraz uczenia i wychowywania mądrych ludzi. Wręczenie nagrody odbyło się podczas uroczystego posiedzenia Senatu Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, w ramach Święta Nauk Ścisłych – Dni prof. Antoniego Hoborskiego. Nagrodę wręczyli: prezes Fundacji im. prof. Kazimierza Bartła Jerzy Poźniak oraz prorektor AGH ds. kształcenia – prof. dr hab. inż. Wojciech Łużny. Galeria zdjęć z tego wydarzenia dostępna jest na profilu FB Białostockiego Oddziału PTF: <https://www.facebook.com/PTFBialystok/> oraz na Instagramie: <https://www.instagram.com/ptfbialystok/>

Nagroda prof. Kazimierza Bartła przyznawana jest od 2016 roku za wybitne w skali międzynarodowej osiągnięcia w nauce. Ma na celu promowanie piękna nauk ścisłych. Laureatami zostają na zmianę matematycy, fizycy i chemicy, a więc przedstawiciele nauk będących w polu zainteresowania patrona nagrody.



Doktor hab. Katarzyna Rećko, prof. UwB (fot. Wojciech Olszewski)

Białystok. Wydział Fizyki aktywnie włączył się w realizację pierwszej edycji programu tutorskiego Uniwersytetu w Białymstoku pod hasłem *Uczeń jako badacz, naukowiec i odkrywca*. W ramach tutoringu uczniowie szkół ponadpodstawowych, pod okiem nauczycieli akademickich, będą rozwijać swoje pasje i realizować własne projekty badawcze. Będą też mogli uczestniczyć w zajęciach dydaktycznych z wybranego przedmiotu, korzystać z uniwersyteckiego sprzętu i księgozbioru. Efekty swojej pracy zaprezentują za kilka miesięcy podczas uczelnianego forum tutoringu.

Chętni uczniowie mogą wybierać spośród blisko 40 interesujących tematów, w tym dwóch z fizyki: *Analizy statystyczne prostych gier losowych metodą Monte Carlo, narzędziami Pythona i Maximy* zaproponowanego przez prof. dr hab. Edwarda Piotrowskiego oraz *Badania podstawowe przy użyciu metod dyfrakcyjnych* pod opieką dr hab. Katarzyny Rećko, prof. UwB.

GRUDZIEŃ 2022

Białystok. Magister Łukasz Łabieniec, doktorant z Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku, we współpracy z lekarzem Łukaszem Lisowskim z Kliniki Okulistyki Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku, opracował algorytm pomocny w badaniach okulistycznych. Nowa metoda pozwala wykryć problemy z nerwem wzrokowym na wczesnym etapie, zanim u pacjenta zostanie stwierdzone jego uszkodzenie. Z opisem prac nad algorytmem obrazowania uszkodzeń nerwu wzrokowego

można zapoznać się w artykule <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278987> Dzięki ogromnemu potencjałowi metoda ta może wzbogacić standardowe techniki diagnostyczne. Uzyskane wyniki z powodzeniem konsultowane były między innymi w Indiana University (USA), National Institute of Health (USA) oraz w Univeristy of Oxford (Wielka Brytania). Jest to już kolejny pomysł młodego badacza na zastosowanie osiągnięć fizyki do rozwiązywania problemów medycznych. Do tej pory pod kierunkiem promotora prof. dr. hab. Krzysztofa Szymańskiego udało się mgr. Łabieńcowi skonstruować urządzenie pomocne w wykrywaniu skłonności do kamicy nerkowej (patent uzyskany w 2021) oraz matrycę do stymulacji wzroku, którą będzie można stosować w trakcie trwania zabiegów operacyjnych (zgłoszono do urzędów patentowych: europejskiego i polskiego).

Wojciech Olszewski

STYCZEŃ 2023

Poznań. W dniach 17-18.01.2023 odbyła się kolejna edycja seminarium online *Surface Science Discussions*, w ramach którego prezentowane są najnowsze wyniki badań eksperymentalnych i teoretycznych z dziedziny fizykochemii powierzchni, a także najnowocześniejszą aparaturę pomiarową. Organizatorem wydarzenia była grupa badawcza dr. hab. Mikołaja Lewandowskiego, prof. UAM z Centrum NanoBioMedycznego UAM, a wśród prelegentów znaleźli się m.in. prof. dr Ulrike Diebold z Uniwersytetu Technicznego w Wiedniu oraz prof. dr Matthias Scheffler z Instytutu Maxa Plancka Fritz-Haber-Institut w Berlinie. Seminarium było objęte Honorowym Patronatem Polskiego Towarzystwa Fizycznego (Oddział Poznański) i Polskiego Towarzystwa Próżniowego. W wydarzeniu wzięło udział ponad 280 osób z 34 krajów.

Mikołaj Lewandowski

48. ZJAZD FIZYKÓW POLSKICH

1–7 wrzesień 2023, Gdańsk

<http://ftims.pg.edu.pl/48zfp>



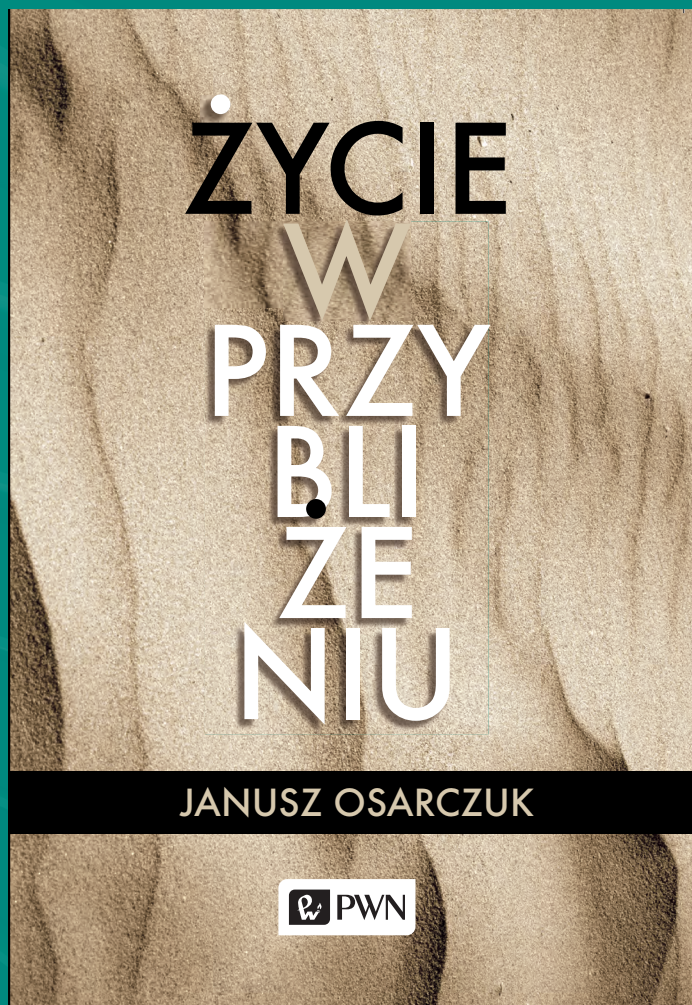
W imieniu organizatorów: Oddziału Gdańskiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego, Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechniki Gdańskiej oraz Wydziału Matematyki, Fizyki i Informatyki, Uniwersytetu Gdańskiego serdecznie **zapraszamy do Gdańska na 48. Zjazd Fizyków Polskich, który odbędzie się w dniach 1-7.09.2023.** Zjazd objęty jest honorowym patronatem Związku Uczelni w Gdańsku im. Daniela Fahrenheita (FarU), Rektora Politechniki Gdańskiej, Rektora Uniwersytetu Gdańskiego, Pomorskiego Kuratora Oświaty.



W czasie Zjazdu odbędzie się osiem półtoragodzinnych sesji plenarnych, dziewięć półtoragodzinnych sesji równoległych, wykład otwarty (na Uniwersytecie Gdańskim), sesja plakatu, zebranie delegatów PTF, panel dyskusyjny *Kondycja nauczania fizyki w polskich szkołach – szanse i ryzyko*, pokazy z fizyki oraz bazar dobrych praktyk dla nauczycieli, wykłady i pokazy doświadczeń z fizyki dla młodzieży szkolnej. Sesje plenarne, a także różne aktywności towarzyszące Zjazdowi odbywać się będą na kampusie Politechniki Gdańskiej.

Zjazd Fizyków Polskich jest najstarszą cykliczną konferencją integrującą środowisko fizyków polskich, pierwszy taki zjazd odbył się 100 lat temu, w kwietniu 1923 roku w Warszawie. Celem ZFP jest promocja fizyki, z podkreśleniem dotychczasowych osiągnięć naukowych i dydaktycznych w tej dziedzinie. Wydarzenie jest skierowane do szeroko rozumianego środowiska fizyków. W zjeździe przewidujemy udział około 500 uczestników w tym naukowców o ugruntowanej pozycji w środowisku, jak i młodych fizyków, a także nauczycieli fizyki oraz ich uczniów. W ramach działań promocyjnych przewidujemy różnego rodzaju wystawy, instalacje popularyzujące fizykę i konkursy dla młodzieży szkolnej. Ważnym wydarzeniem towarzyszącym Zjazdowi będzie doroczny Rejs fizyków kończący się w Gdańsku w dniu rozpoczęcia Zjazdu: <https://www.ptf.net.pl/pl/rejsy/rejsy-fizykow/>

Skład komitetu honorowego 48.ZFP, komitetu programowego i komitetu organizacyjnego znaleźć można na stronie Zjazdu: <https://event.mostwiedzy.pl/event/14/page/99-komitety>



Życie w przybliżeniu

Przybliżenie, niedokładność, nieprecyzyjność, niedoskonałość, niepewność, błąd, odchylenie, ograniczenie, ale też wada, usterka, ułomność.

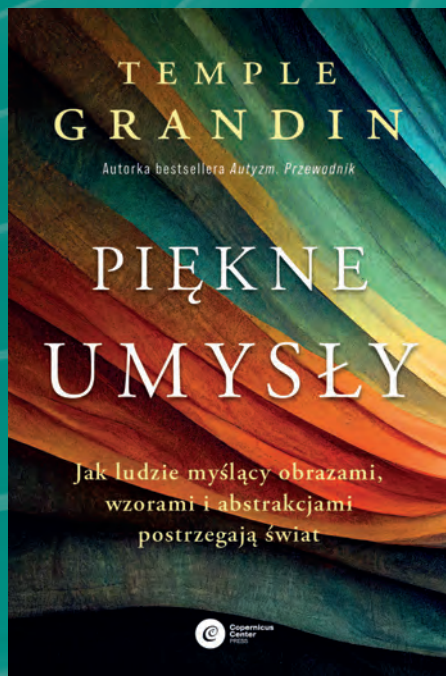
Pojęcia te nie są abstrakcyjne w tym sensie, że funkcjonują na co dzień w realnym świecie i świat ten konstytuują. Autor rozważa zagadnienia związane z pewnością, a raczej niepewnością naszej wiedzy, a także granicami poznania. Żywo i dowcipnie opowiada, jak pięknie niedoskonały jest nasz świat. Nawet to, co wydaje się biało-czarne, jest co najwyżej biało-prawie czarne.

Poznaj fascynujący świat *niezupełności, entropii i fraktali*. Zobacz, jak przybliżenia funkcjonują w najróżniejszych dziedzinach naszego życia i jak nań wpływają zarówno na poziomie materii, jak i psychiki.



Copernicus
Center
PRESS

poleca

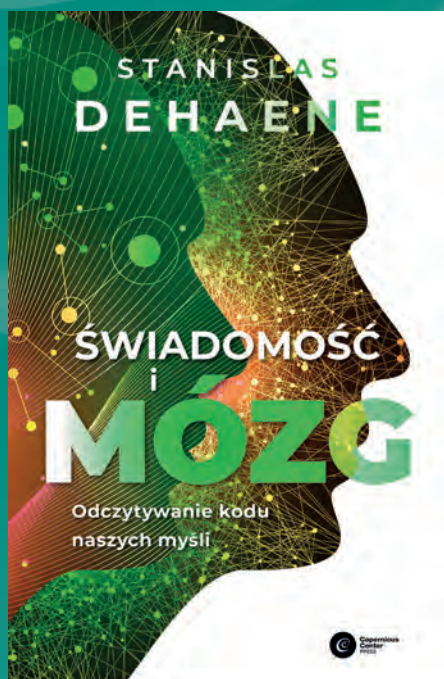


Piękne umysły

Czy zdarza Ci się, że coś wiesz, ale nie umiesz wyjaśnić skąd? Czy rozwiązujesz problemy w niestandardowy sposób? Czy Twoją słabą stroną jest organizacja? Czy masz talent muzyczny, plastyczny lub mechaniczny? Jeśli tak – możliwe, że jesteś osobą myślącą wizualnie.

Taki sposób myślenia przypomina trochę korzystanie z grafiki Google'a czy oglądanie krótkich filmów na Instagramie lub TikToku. W Twojej głowie pojawia się sekwencja obrazów zrozumiała tylko dla Ciebie. W gronie osób myślących wizualnie są najwięksi wynalazcy, tacy jak Thomas Edison, Alan Turing, Elon Musk. Zaczynali swoją karierę w piwnicy czy garażu, gdzie mogli swobodnie eksperymentować. Możliwość nauki metodą prób i błędów jest dla takich osób kluczowa. W rozwoju ich umiejętności może także pomóc odpowiedni mentor.

Jak rozpoznać i wspierać naszych przyszłych inżynierów, projektantów, artystów? Przede wszystkim musimy nauczyć się, w jaki sposób odkryć i rozwijać ich mocne strony. Danie dziecku szansy na sukces jest czymś niezmiernie ważnym, a punktem wyjścia powinno być zrozumienie tego, jak ono myśli, a więc także jak się uczy.



Świadomość i mózg

Czy można dokładnie określić, kiedy u noworodków wykształca się świadomość? Co decyduje o wyjątkowej potędze ludzkiego umysłu, ale jednocześnie naraża go na takie choroby psychiczne jak schizofrenia? Czy odkrycie tego brakującego składnika pozwoli nam stworzyć rozumnego robota?

Stanislas Dehaene daje nam całościowy obraz stanu badań nad świadomością. Relacjonuje efekty wykorzystania rezonansu elektromagnetycznego oraz eksperymenty związane ze złudzeniami optycznymi. Bada język naszych myśli i kody, jakimi posługuje się nasz mózg, żeby je zapisać. Przedstawia także nowatorską teorię globalnej neuronowej przestrzeni roboczej, która zakłada, że każdy neuron ma swoją własną, wyjątkową funkcję. Wyjaśnia, że świadomość jest jak rzecznik prasowy dużej instytucji z personelem stu miliardów neuronów, na bieżąco wybierających, które informacje są dla nas najważniejsze. Gdyby nie ona, zgubilibyśmy się w nawałnicy bodźców, które codziennie docierają do naszego mózgu. Ta fantastyczna maszyna biologiczna pracuje w twoim mózgu również w tej chwili, czyniąc z Ciebie najbardziej wyjątkowe zwierzę na Ziemi – człowieka.