

POSTĘPY FIZYKI



CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ

FAMO

Econophysics & Sociophysics

Badanie antymaterii

Płyn Lugola

Physculap

Z ostatniej chwili

4 / 2022
TOM 73



ISSN 0032-5430



9 770032 543226

04

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 Wymotek

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)
Sławomir Mamica (p.o.) (Poznań)
Gaweł Żyła (Rzeszów)
Miroslaw Broziś (Słupsk)
Mariusz P. Dąbrowski (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@gmail.com

INFORMACJE DLA AUTORÓW

Przyjmujemy do publikacji przystępnie napisane artykuły przeglądowe i monograficzne w języku polskim i angielskim, które otrzymają pozytywne recenzje wydawnicze. Teksty należy przysłać e-mailem na adres: postepy.fizyki@gmail.com w formie przyjętej w czasopiśmie https://www.ptf.net.pl/pl/postepy_fizyki/numery-biezace-od-2019r/ 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/media/cms_page_media/1544/Wskazowki.pdf, 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.

RENUMERATA 2022 DLA PODMIOTÓW ZEWNĘTRZNYCH

- cena pojedynczego numeru PF wynosi 29,70 PLN (w tym 8% VAT)
 - cena prenumeraty rocznika (4 numery z 9% bonifikatą) – 108,00 PLN (w tym 8% VAT)
 - **koszty wysyłki czasopisma pokrywa zamawiający**
 - zamówienie prenumeraty należy wysłać na adres postepy.fizyki@gmail.com
- Szczegółowe warunki prenumeraty PF znaleźć można na stronie internetowej PTF www.ptf.net.pl/pl/postepy_fizyki/prenumerata-pf/
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,

w ostatnim numerze 73 tomu *Postępów Fizyki* przypominamy dwudziestoletnią historię Krajowego Laboratorium FAMO – przykładu niespotykanego wcześniej **zespołowego** działania fizyków z różnych polskich ośrodków akademickich, co pozwoliło na prowadzenie badań w dziedzinach fizyki atomowej, molekularnej i optycznej na światowym poziomie i osiągnięcie spektakularnych sukcesów. Opowiemy o badaniach antymaterii prowadzonych w CERN przez międzynarodowy zespół, w skład którego wchodzi grupa polskich fizyków. Dowiemy się także, czy słynny płyn Lugola powinniśmy stosować w przypadku skażenia promieniotwórczego.

Zamieszczony w poprzednim numerze apel Redakcji o nadsyłanie informacji do Kroniki – stałego działu naszego kwartalnika – spowodował popandemiczne ożywienie wśród korespondentów, czego efektem jest wyjątkowo obszerna Kronika. Myślę, że na szczególną uwagę zasługują informacje o działaniach edukacyjnych i sukcesach młodych polskich fizyków na arenie międzynarodowej.

redaktor naczelna

Adres PF: postepy.fizyki@gmail.com

Informacje dla autorów PF:

https://www.ptf.net.pl/media/cms_page_media/1544/Wskazowki.pdf

PF są dostępne bezpłatnie w wersji elektronicznej:

https://www.ptf.net.pl/pl/postepy_fizyki/numery-biezace-od-2019r/

<https://www.ptf.net.pl/pl/towarzystwo/dzialalnosc/postepy-fizyki/roczniki/>

Spis treści PF (od 1949)

https://www.ptf.net.pl/pl/postepy_fizyki/baza-pf/

Krajowe laboratorium FAMO (KL FAMO). Powstanie i działalność T. Dohnalik, J. Szudy _____	2
Econophysics and sociophysics: their milestones & challenges. Part 2 R. Kutner _____	16
Badanie antymaterii z atomową precyzją Ł. Kłosowski, G. Kornakov, M. Piwiński, T. Sowiński _____	27
Szkodliwe wspomnienia o płynie Lugola D. Aksamit _____	31
Znaczy Pogoria Z. Nawrat _____	35
Kronika Polskiego Towarzystwa Fizycznego _____	37
Marek Cieplak (1950-2021) J. Banavar, P. Szymczak, Ł. A. Turski _____	47
Nagrody i wyróżnienia Polskiego Towarzystwa Fizycznego 2022 _____	49



Część doświadczalna Europejskiej Olimpiady Fizycznej (EuPhO) Lublana, Słowenia 2022 (fot. Wojko Opašek)

Krajowe laboratorium FAMO (KL FAMO)

Powstanie i działalność

Tomasz Dohnalik*

Instytut Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego

Józef Szudy**

Instytut Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika

Abstrakt. W artykule opisano okoliczności powstania koncepcji i utworzenia w Polsce Krajowego Laboratorium FAMO, zajmującego się badaniami w dziedzinach fizyki atomowej, molekularnej i optycznej, oraz rozwoju tej instytucji w okresie pierwszych dwóch dekad XXI wieku.

Słowa kluczowe: historia fizyki, fizyka atomowa, fizyka molekularna, fizyka optyczna, Krajowe Laboratorium FAMO, KL FAMO

Abstract. In the article the circumstances under which an idea of creation of the national laboratory in Poland dealing with researches in the fields of atomic, molecular and optical physics (FAMO in Polish) as well as its development during the first two decades of the 21st century are described.

Keywords: history of physics, atomic physics, molecular physics, optical physics, National Laboratory FAMO

1. Sekcja FAMO

Fizyka atomowa, molekularna i optyczna (FAMO) to trzy dominujące dziedziny badań fizyków polskich w okresie międzywojennym. Choć po II wojnie światowej, w związku z burzliwym rozwojem fizyki jądrowej, cząstek elementarnych i ciała stałego, utraciły swój dominujący charakter, to jednak stanowiły nadal podstawowe pole działalności znacznej części środowiska fizyków we wszystkich polskich ośrodkach. Szczególnie silny wzrost zainteresowania dziedzinami FAMO nastąpił po odkryciu laserów, które zapoczątkowało erę renesansu optyki skutkującą gwałtownym rozwojem badań naukowych w tych dziedzinach, a także ogromnym skokiem technologicznym. Rozwój badań doświadczalnych w dziedzinach FAMO w Polsce był utrudniony z powodu nieustannie trudnej sytuacji ekonomicznej kraju zarówno w końcowych latach PRL, jak i w pierwszej dekadzie III Rzeczypospolitej. Wprawdzie grono wybitnych polskich badaczy przyczyniało się do utrzymania wysokiej rangi Polski w środowisku międzynarodowym w dziedzinach FAMO, szczególnie w zakresie badań teoretycznych, to jednak istotny polski wkład do zaawansowanych prac eksperymentalnych był możliwy jedynie dzięki wyjazdom do zachodnich laboratoriów.

W latach 70. i w pierwszej połowie 80. XX w., ośrodki toruński (Stanisław Łęgowski) i gdański (Józef Heldt, Jan Fiutak) organizowały corocznie Szkoły Optyki Kwantowej. Cieszyły się one dużym powodzeniem i mocno wpłynęły na integrację środowiska. W tym czasie (i później też) fizyka FAMO rozwijała się wspaniale. Dużą część Nagród Nobla otrzymali fizycy pracujący w tych dziedzinach: Kastler (1966), Gabor (1971), Bloembergen-Schawlow (1981), Dehmelt, Paul, Ramsey (1989), Cohen-Tannoudji, Chu, Phillips (1997), Cornell, Wieman, Ketterle (2001), Glauber, Hall, Hansch (2005), Haroche, Wineland (2012), Strickland, Mourou, Ashkin (2018), Alain Aspect, John F. Clauser i Anton Zeilinger (2022). Brak istotnego udziału doświadczalnego w tak ważnej i perspektywicznej dziedzinie był bardzo bolesny dla naszego środowiska. Tym bardziej, że rzeczywiste koszty badań w fizyce FAMO były niewielkie w porównaniu do „drogich” dziedzin, wymagających ogromnych urządzeń.

Pod koniec roku 1996 na posiedzeniu Komitetu Fizyki PAN spotykają się wybrani przez swoje Rady Wydziałów: Krzysztof Ernst (UW) i Tomasz Dohnalik (UJ) oraz będący członkiem Komitetu Józef Szudy (UMK). Po krótkiej dyskusji postanawiamy założyć Sekcję Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej w ramach Komitetu Fizyki. Przewodniczący Komitetu Jan Stankowski popiera wniosek i 01.03.1997 na Wydziale Fizyki UW

*ORCID 0000-0002-9777-092X

**ORCID 0000-0001-7048-5435

organizujemy zebranie założycielskie Sekcji FAMO Komitetu Fizyki PAN. Reakcja środowiska jest bardzo pozytywna. W zebraniu założycielskim wzięło udział 25 osób, pracujących w Warszawie, Krakowie, Poznaniu, Gdańsku, Opolu, Bydgoszczy i Toruniu; wybrano Tomasza Dohnalika na przewodniczącego Sekcji FAMO, zobowiązując go jednocześnie do opracowania programu i form działalności oraz wewnętrznej struktury Sekcji. Po ożywionej dyskusji ustalono, że pierwszym podstawowym celem działalności Sekcji powinno być dążenie do integracji środowiska, czemu służyć będą coroczne spotkania FAMO [1].

Pierwsze odbywa się w Jaszowcu, przy okazji międzynarodowej konferencji optyki kwantowej Quantum Optics IV (17-24.06.1997), gdzie w dniach 25-26.06 organizujemy tzw. CKR (co, kto, robi) i sesję plakatową.

Sukces tego spotkania stymuluje organizację Spotkania Młodych Badaczy FAMO z okazji setnej rocznicy urodzin Aleksandra Jabłońskiego, które odbywa się w IF UMK w Toruniu (26.02.1998). Po wykładzie Wojciecha Gawlika o Noblu 1997 z fizyki ma miejsce sesja plakatowa (70 plakatów, 130 uczestników). Streszczenia wszystkich prac plakatowych zostały opublikowane w książce *Spotkania FAMO* [2]. Przez dwa kolejne dni odbywa się w Toruniu ogólnopolska konferencja Fizyka Polska u Progu Trzeciego Tysiąclecia. Wykład *Kondensaty Bosego–Einsteina* wygłasza Jan Mostowski (IF PAN), a w dyskusji Okrągłego Stołu występują Tomasz Dohnalik, Wojciech Gawlik, Stanisław Chwirot. [3] W roku 1998 spotykamy się ponownie w Toruniu przy okazji odbywającej się w dniach 23-27.07.1998 The Jabłoński Centennial Conference on Luminescence and Photophysics.

Rok później, znów w Toruniu¹, podczas 6. International Workshop on Atomic Interactions in Laser Fields odbywa się najważniejsze zebranie Sekcji FAMO Komitetu Fizyki PAN. Wydaje się, że dojrzeliliśmy do jeszcze bardziej zintegrowanej formy działania. Tomasz Dohnalik występuje z propozycją utworzenia ogólnopolskiego laboratorium, w którym skoncentrowana byłaby część środków przeznaczanych dotychczas na unowocześnianie aparatury rozproszonej w różnych uczelniach i instytucjach. Chodziło o utworzenie w Polsce „centrum doskonałości” w słabo do tej pory wspieranych finansowo dziedzinach fizyki, które w skali światowej odgrywały fundamentalną rolę w rozwoju takich gałęzi nauki i techniki, jak optyka kwantowa, fotonika, informatyka i kryptografia kwantowa, fizyka zimnej materii. Zebrani są za



Ryc. 1. Zebranie Sekcji FAMO Komitetu Fizyki PAN C od którego rozpoczyna się historia Krajowego Laboratorium FAMO; zebranie prowadzi Tomasz Dohnalik; po prawej: Józef Szudy, Andrzej Kowalski, Stanisław Chwirot, Jan Mostowski, Włodzimierz Jaskólski, Katarzyna Chałasińska-Macukow; po przeciwnej stronie wśród widocznych od tyłu rozpoznano: pierwszy od lewej – Józef Kusz, trzeci od lewej – Jacek Karwowski [03.09.1999] (z archiwum KL FAMO)



Ryc. 2. Zebranie Sekcji FAMO Komitetu Fizyki PAN; rząd pod ścianą, od lewej: Czesław Szmytkowski, NN, Józef Musielok, Maria Kraińska-Miszczak, Bolesław Grabowski, Tadeusz Stacewicz, Mariusz Zubek, Jan Wasilewski; dalej zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara: Eugeniusz Czuchaj, Janusz Czub, NN, Włodzisław Duch, Józef Heldt, Aleksander Balter, Roman S. Dygdała, Jan Fiutak, NN [03.09.1999] (z archiwum KL FAMO)

i rozpoczynamy poważną dyskusję na temat koncepcji Krajowego Laboratorium FAMO. Dodatkowo mobilizuje nas realizacja kondensatu Bosego–Einsteina (1995) wzbudzająca ogromne zainteresowanie fizyków.

2. Grupa Inicjatywna KL FAMO

Począwszy od wielu spotkań w czasie XXXV Zjazdu Fizyków Polskich w Białymstoku przez kilka miesięcy dyskutujemy mailowo propozycje kształtu Laboratorium i form jego działalności. Wyłania się grupa inicjatywna, początkowo 11 osobowa, powiększona później do 14 osób, tak by wszystkie ośrodki były odpowiednio reprezentowane. Byli to: Krzysztof Ernst i Czesław Radzewicz z Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego, Krzysztof Wódkiewicz z Instytutu Fizyki Teoretycznej UW, Maciej Kolwas i Jan Mostowski z Instytutu Fizyki PAN, Kazimierz Rzążewski z Centrum Fizyki Teoretycznej PAN, Ryszard Tanaś z Instytutu Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Ewa Stachowska z Wydziału Fizyki Technicznej Politechniki

1. Większość spotkań FAMO odbywa się w IF UMK w Toruniu. Są nie tylko świetnie zorganizowane przez naszych toruńskich kolegów, ale też charakteryzują się wspaniałą, integrującą, niepowtarzalną atmosferą. Niewątpliwie przyczyni się to później do wyboru lokalizacji Laboratorium.

Poznańskiej, Józef Musielok z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Opolskiego, Tomasz Dohnalik i Wojciech Gawlik z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Marek Żukowski (zob. s. 47) z Instytutu Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki Uniwersytetu Gdańskiego oraz Stanisław Chwirot i Józef Szudy z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.² Przewodniczącym Grupy Inicjatywnej został Tomasz Dohnalik.

14.01.2000 podczas spotkania Grupy Inicjatywnej w CFT PAN przedstawiamy tematy badawcze możliwe do realizacji. 16.02.2000 na spotkaniu w IF UJ w Krakowie uzgadniamy tematykę, która zostanie zgłoszona we wniosku o finansowanie. O lokalizacji Laboratorium zdecydowało tajne, mailowe głosowanie, w którym wygrała koncepcja usytuowania Laboratorium w Toruniu, na najniższej kondygnacji gmachu Instytutu Fizyki UMK przy ul. Grudziądzkiej 5. Tak się szczęśliwie złożyło, że wszystkie pomieszczenia na tej kondygnacji (poprzednio zajmowane przez warsztaty mechaniczne) były nieużywane, gdyż warsztaty zostały przeniesione do nowo wybudowanego pawilonu.

Na początku 2000 roku Grupa Inicjatywna postanowiła wystąpić do Komitetu Badań Naukowych z wnioskiem o grant inwestycyjny na zakup podstawowego wyposażenia dla KL FAMO, a na spotkaniu Grupy w Toruniu 10.06.2000 ostatecznie zatwierdzona została nazwa **Krajowe Laboratorium FAMO** w Toruniu. Zredagowano list intencyjny, który rozesłano do rad wydziałów fizyki szkół wyższych i rad naukowych instytutów badawczych zajmujących się tą tematyką, zwracając się z prośbą o poparcie projektu utworzenia KL FAMO jako ogólnopolskiej, międzyuczelnianej jednostki badawczej, zlokalizowanej w gmachu Instytutu Fizyki UMK w Toruniu, wraz z zaproszeniem do uczestnictwa w jego pracach. List uzyskał poparcie wszystkich Rad Wydziałów oraz Rady Naukowej IF PAN. Przygotowano więc wniosek do KBN o grant inwestycyjny na stworzenie KL FAMO.

3. Tymczasowa Rada Naukowa KL FAMO

Trzy miesiące później (22.09.2000), w ostatnim dniu zorganizowanej w Juracie przez Instytut Fizyki PAN konferencji Joint Polish-German Conference on Modern Optics 2000: Fundamental aspects of spectroscopy and environmental applications odbyło się kolejne spotkanie FAMO, w czasie którego podjęto decyzję o przekształceniu Grupy Inicjatywnej w Tymczasową Radę Naukową KL FAMO. Na przewodniczącego Tymczasowej Rady wybrano Wojciecha Gawlika, wiceprzewodniczącym zaś został Kazimierz Rzążewski. Obowiązki tymczasowego

dyrektora planowanego laboratorium powierzono Stanisławowi Chwirotowi, który – nie czekając na formalną decyzję o utworzeniu KL FAMO przy wsparciu Rady Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK, zwrócił się do rektora UMK Jana Kopcewicza z wnioskiem o sfinansowanie podstawowych prac remontowych w pomieszczeniach (o pow. ok. 300 m²) przeznaczonych dla Laboratorium. Przyznana kwota (ok. 280 tys. zł) umożliwiła zakończenie w grudniu 2000 pierwszego etapu remontu. W styczniu 2001 tymczasowy dyrektor KL FAMO i dyrektor IF UMK wspólnie wystąpili do Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej o dofinansowanie drugiego etapu remontu adaptacyjnego pomieszczeń przewidzianych dla planowanego laboratorium. Fundacja pozytywnie rozpatrzyła ten wniosek i przyznała dwie dotacje (łącznie ok. 200 tys. zł) w ramach programu MILAB.

Równolegle toczyły się rozmowy w KBN i Ministerstwie, gdzie pomysł utworzenia KL napotykał na wiele, czasem czysto formalnych trudności. Ogromnego i bardzo skutecznego poparcia udzielił prof. Łukasz Turski, członek KBN, gorący zwolennik utworzenia Laboratorium. 25.10.2000 jednomyślne poparcie w tajnym głosowaniu otrzymujemy od Komitetu Fizyki PAN. Podkreślamy tu fakt jednomyślności, bo przydzielenie pieniędzy na Laboratorium, zmniejszyło oczywiście kwotę do dyspozycji badaczy w innych dziedzinach fizyki. Mimo tego wszyscy są za. Takie wtedy były czasy!

Starania w KBN o zakup podstawowej aparatury w ramach dotacji inwestycyjnej kończą się sukcesem. 26.03.2001 zapadła decyzja o przeznaczeniu na ten cel środków w wysokości 6 milionów złotych. Dało to podstawę do wszczęcia procedury zamówień publicznych na zakup sprzętu. Jednocześnie Tymczasowa Rada Naukowa zwróciła się do Senatu UMK z prośbą o powołanie, w strukturze Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Krajowego Laboratorium FAMO jako jednostki ogólnopolskiej bez osobowości prawnej, formalnie podległej Rektorowi UMK. Takie rozwiązanie prawne zostało zaakceptowane podczas wcześniejszych pertraktacji z KBN.

4. Formalne utworzenie KL FAMO

24.04.2001 Senat UMK pozytywnie odniósł się do tej inicjatywy i podjął uchwałę nr 20, w której w §4 ust. 3 stwierdzono, że *w Instytucji Fizyki UMK tworzy się Krajowe Laboratorium Fizyki Atomowej, Molekularnej i Optycznej (FAMO)* [4]. Na podstawie tej uchwały rektor Kopcewicz powołał na pierwszą trzyletnią kadencję (do 30.04.2004) Radę Naukową KL FAMO w identycznym składzie osobowym jak Rada Tymczasowa, przy czym przewodniczącym Rady Naukowej został Wojciech Gawlik, jego zastępcą zaś Kazimierz Rzążewski. Pierwsze posiedzenie Rady odbyło się w Warszawie

2. Zwraca uwagę duży udział (5 na 14) fizyków teoretyków. Nie będąc zainteresowanymi konkretną aparaturą, zapewniali obiektywizm, bezstronność i wysoki poziom naukowy planowanych badań.

w siedzibie Zakładu Optyki UW 28.04.2001, na którym pozytywnie zaopiniowano wniosek przewodniczącego, aby na stanowisko dyrektora KL FAMO na trzyletnią kadencję 01.05.2001-30.04.2004 powołać Stanisława Chwirotą, wobec czego, na mocy zarządzenia Rektora UMK, został on pierwszym dyrektorem Laboratorium.

Na początku swej działalności Rada opracowała projekt *Nowoczesne metody fizyki zimnej materii i inżynierii kwantowej* i zgłosiła go do konkursu KBN na zamawiany projekt badawczy. Projekt został podzielony na trzy niezależne zadania, których realizację planowano w trzech pracowniach, wchodzących w skład struktury KL FAMO. Były to:

Zadanie 1: Inżynieria stanów kwantowych – sterowanie kwantowe i generacja stanów splątanych fotonów i atomów pod kierunkiem Czesława Radzewicza z IFD UW w ramach Pracowni Inżynierii Kwantowej.

Zadanie 2: Optyczne badania atomów i molekuł w zakresie nK-mK: stworzenie warunków do wytwarzania i badania kondensatów Bosego–Einsteina pod kierunkiem Wojciecha Gawlika z IF UJ w ramach Pracowni Ultrazimnej Materii.

Zadanie 3: Badania małych zespołów jonów w pułapkach oraz detekcja i spektroskopia pojedynczych atomów i molekuł pod kierunkiem Ewy Stachowskiej z Katedry Fizyki Atomowej Politechniki Poznańskiej w ramach Pracowni Jonów w Pułapce.

Ostatecznie 12.12.2001 KBN podjął decyzję o przyznaniu środków finansowych na realizację wszystkich trzech zadań w wysokości 2 465 000 zł, co umożliwiło w pierwszej połowie 2002 roku sfinalizowanie zakupów aparaturowych. KBN wyznaczyło też zewnętrznego kuratora programu – Katarzynę Chałasińską-Macukow, która bardzo skutecznie wspierała działania Laboratorium.

Wskutek tych działań Laboratorium stało się dysponentem zestawu urządzeń badawczych wysokiej klasy. Niektóre z nich, np. zestaw laserowy o ultrawysokiej rozdzielczości spektralnej, były unikatowe nawet w skali światowej. Taki stan rzeczy umożliwił rozpoczęcie regularnej działalności badawczej. Realizacja wszystkich zadań została zakończona w 2005 roku.

Udział Wojciecha Gawlika w realizacji grantu zamawianego spowodował jego rezygnację z przewodniczenia Radzie Naukowej Laboratorium z powodu konfliktu interesów. Nowym przewodniczącym Rady został Tomasz Dohnalik.

5. Otwarcie KL FAMO

Uroczyste, oficjalne otwarcie KL FAMO z udziałem JM Rektora UMK, przedstawicieli KBN i Wydziału III PAN oraz PTF nastąpiło 11.05.2002. W przeddzień tej uroczystości odbyła się sesja naukowa, w czasie której wy-



Ryc. 3. Oficjalne otwarcie KL FAMO; od lewej: Józef Musielok, Andrzej Woszczyk, Franciszek Rozpłoch, przedstawicielka KBN; wstęgę przecina Rektor UMK Jan Kopcewicz; dalej: Tomasz Dohnalik, Daniel Simson, Henryk Szymczak, Stanisław Chwirot [11.05.2002] (z archiwum KL FAMO)

głoszono 3 referaty poświęcone planowanym w Laboratorium projektom: Ewa Stachowska – *Badanie małych zespołów jonów w pułapkach*, Wojciech Gawlik – *Nasza droga do kondensatu*, Konrad Banaszek – *Optyczne implementacje kwantowych technologii informatycznych*.

W dniu otwarcia Kazimierz Rzążewski wygłosił referat *Fizyka kwantowa na przełomie tysięcy lat*. Po ceremonii przecięcia wstęgi odbyła się prezentacja pomieszczeń i aktualnej aparatury KL FAMO, a na zakończenie ognisko w Obserwatorium Astronomicznym w Piwnicach pod Toruniem [4].



Ryc. 4. Zwiedzanie Laboratorium po jego oficjalnym otwarciu; od lewej: Stanisław Chwirot, Łukasz A. Turski, przedstawicielki KBN, Henryk Szymczak, Jan Mostowski, Katarzyna Chałasińska-Macukow, Wojciech Gawlik [11.05.2002] (z archiwum KL FAMO)

6. Dalsza działalność Rady Naukowej i KL FAMO

Po oficjalnym otwarciu Rada skupiała się na nadzorowaniu i wspieraniu realizacji grantu.

Pierwsza kadencja Rady Naukowej upływała 30.04.2004, zatem Rektor UMK powołał nową Radę na kadencję 01.05.2004-30.04.2007, a następnie, na kolejną do roku 2010. Przewodniczącym Rady pozostał Tomasz Dohnalik, zaś jego zastępcą Kazimierz Rzążewski. Jedyną zmianą osobową w składzie Rady polegała na tym, że na miejsce zmarłego 02.01.2003 Krzysztofa Ernsta został powołany Tadeusz Stacewicz z Zakładu



Ryc. 5. Ostatnie w roku 2002 posiedzenie Rady KL FAMO i ostatnie w obecności Krzysztofa Ernsta (zdjęcie wykonane na jego prośbę); od lewej: Wojciech Gawlik, Maciej Kolwas, Jan Mostowski, Krzysztof Ernst, Katarzyna Chałasińska-Macukow, Marek Żukowski, Czesław Radzewicz, Tomasz Dohnalik, Kazimierz Rzążewski, Józef Szudy, Stanisław Chwirot, Ewa Stachowska, Ryszard Tanaś, Józef Musielok (z archiwum KL FAMO)

Optyki UW. Na stanowisko dyrektora ponownie został powołany Stanisław Chwirot.

Śmierć Krzysztofa Ernsta pogrążyła w żałobie całe środowisko optyków polskich, a w szczególności tych związanych bezpośrednio z KL FAMO, gdyż był on jednym z gorących zwolenników utworzenia Laboratorium i „dobrym duchem” naszej Rady.

Posiedzenia Rady Naukowej odbywały się trzy razy do roku. Zgodnie z przyjętym zwyczajem posiedzenia jesienne i styczniowe odbywały się w Warszawie, w siedzibie Zakładu Optyki UW, natomiast na początku maja miały miejsce dwudniowe posiedzenia w Toruniu w pomieszczeniach KL FAMO.

Po udanym zakończeniu pierwszego, Rada wystąpiła do KBN o następny grant zamawiany *Ultraprecyzyjne pomiary metodami optyki i fizyki kwantowej*, który został przyznany. Miał on stworzyć podstawy do realizacji bardzo dużego projektu zaproponowanego przez Czesława Radzewicza – budowy polskiego optycznego zegara atomowego (POZA). Temat świetnie łączył kompetencje grup pracujących w Laboratorium, tj. perfekcyjne opanowanie najbardziej zaawansowanych technik fizyki atomowej i optyki kwantowej z celem bardzo praktycznym, ale też umożliwiającym w przyszłości pomiary o najwyższej osiągalnej dokładności.

W roku 2007 do Laboratorium zaprosiliśmy wiceministra ds. nauki w MEN Krzysztofa Kurzydłowskiego, znanego fizyka ciała stałego. Mimo ewidentnego braku czasu Minister odpowiedział na zaproszenie. Ku naszemu zdziwieniu wyznaczył termin na niedzielne przedpołudnie, w godzinach 10-12 i w tych godzinach zjawił się w KL FAMO. Na spotkanie z Ministrem przyjechali wszyscy członkowie Rady! Minister zwiedził siedzibę KL FAMO, po czym odbyła się poważna, merytoryczna

dyskusja o przyszłości Laboratorium, w wyniku której gremium poparło projekt zegara. Wzmocniło to motywację do starań o duży grant inwestycyjny na budowę zegara, który w roku 2008 otrzymało konsorcjum 3 zespołów uczelnianych (UMK, UJ, UW) wchodzących w skład KL FAMO. Poszczególne elementy były budowane w macierzystych uczelniach, a następnie złożone razem w KL FAMO. Zbudowano 2 zegary, żeby móc określić ich dokładność, która wynosi poniżej 7×10^{-17} . Jednocześnie Laboratorium powiększono o 4 dodatkowe, wyremontowane pomieszczenia, w których umieszczono nową aparaturę zegara. Do Laboratorium włączono też nową Pracownię Spektroskopii Wysokiej Zdolności Rozdzielczej, którą prowadzi Daniel Lisak.

Wielką stratą dla całego środowiska FAMO była śmierć drugiego członka Rady Naukowej Krzysztofa Wódkiewicza (14.11.2008). Po jego śmierci oraz zrzeczeniu się członkostwa przez Jana Mostowskiego, Macieja Kolwasa i Józefa Szudego zaszła potrzeba uformowania nowego składu tej Rady. W grudniu 2010 została powołana nowa Rada Naukowa na kadencję 2011-2013. Na opróżnione miejsca zostali powołani: Marek Trippenbach i Konrad Banaszek z Katedry Optyki Kwantowej i Fizyki Atomowej IFT UW, Mariusz Gajda i Włodzimierz Jastrzębski z IF PAN oraz Roman Ciuryło z IF UMK. Do Rady dokooptowano też Andrzeja Kowalskiego z Uniwersytetu Gdańskiego i Waława Urbańczyka z Politechniki Wrocławskiej, tak żeby wszystkie polskie ośrodki dziedziny FAMO były reprezentowane. Jednocześnie Jastrzębski został wybrany na przewodniczącego Rady, zaś Konrad Banaszek – jego zastępcą. Natomiast Roman Ciuryło został dyrektorem KL FAMO, po rezygnacji Stanisława Chwirota znakomicie kierującego Laboratorium od początku jego istnienia. Ważnym aspektem działalności Rady i Laboratorium były prawie corocznie organizowane warsztaty dla badaczy – studentów i doktorantów początkujących w dziedzinie FAMO.

16.09.2011 obchodziliśmy w Toruniu 10 rocznicę utworzenia KL FAMO. Z tej okazji zorganizowana została uroczysta sesja naukowa. Wykłady wygłosili: Kazimierz Rzążewski – *FAMO, czyli o przewagach fizyki atomowej, molekularnej i optycznej* i Wojciech Gawlik – *Zegary optyczne tykają najszybciej – perspektywy metrologii optycznej*.

Po zwiedzaniu laboratoriów przez Gości odbył się koncert muzyki kameralnej w Pałacu Dąbskich. Następnego dnia odbyły się sesje: naukowa i plakatowa, które dotyczyły dyscyplin uprawianych w ramach KL FAMO.

W ostatniej kadencji Rady (2014-2018) wiceprzewodniczącym Rady został ponownie Konrad Banaszek, później, po jego rezygnacji z powodu innych zobowiązań, Marek Trippenbach. W trakcie tej kadencji Rada została uzupełniona o badaczy pełniących ważne role w pracach

„zegarowych”: Jerzego Zachorowskiego z IF UJ i Marcina Lipińskiego z AGH.

7. Zmiana zasad działania. Powstanie Konsorcjum FAMO

W drugim dziesięcioleciu bardzo poprawiła się sytuacja finansowa bogatszych zespołów pracujących w KL FAMO. Niedogodności związane z przyjazdami do Torunia przestały być kompensowane unikalną aparaturą, na którą coraz częściej było już stać pojedyncze zespoły. W roku 2018, po bardzo trudnej dyskusji, podjęta została decyzja o zmianie struktury i zasad działania KL FAMO. Zmieniono je na Konsorcjum laboratoriów dziedziny FAMO, w którym wskazano trzy laboratoria węzłowe, zlokalizowane na Uniwersytecie Jagiellońskim, Uniwersytecie Warszawskim i Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu. To ostatnie zachowało nazwę KL FAMO. Powstała nowa Rada Naukowa i Rada Dyrektorów laboratoriów węzłowych. Ustalono zasady przyjmowania nowych członków do Konsorcjum i reguły współpracy.

Jednak to już jest inna struktura, dlatego opowiedziawszy historię powstania i działalności Krajowego Laboratorium FAMO w Toruniu, w tym miejscu ten opis kończymy. W dalszej części przedstawimy skrótowo działalność naukową poszczególnych Pracowni KL FAMO.

8. Pracownia Inżynierii Kwantowej

Kierowana przez Czesława Radzewicza Pracownia Inżynierii Kwantowej KL FAMO wystartowała najszybciej i pierwsza uzyskała wartościowe wyniki. Dotyczyły one podstawowych problemów optyki i inżynierii kwantowej ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień związanych z zastosowaniami splątanych fotonów w informatyce i kryptografii kwantowej. Z wielkim entuzjazmem w nurt tych badań w KL FAMO włączyli się także najmłodsi współpracownicy Radzewicza z IFD UW: Piotr Wasylczyk i Wojciech Wasilewski. Za sukces Pracowni Inżynierii Kwantowej należy uznać eksperyment, w którym dokonano doniosłego pomiaru widma łącznego par fotonów [5, 11]. Warto zauważyć, że oprócz Wasilewskiego, Wasylczyka, Banaszka i Radzewicza w gronie wykonawców tego eksperymentu znalazł się także Piotr Kolenderski, ówczesny student UMK, który odtąd związał swoje losy z KL FAMO.

Szczególną rolę w działalności tej pracowni odegrał też Konrad Banaszek, który obronił pracę doktorską *Pomiar stanu kwantowego w przestrzeni fazowej* (2000) pod kierunkiem Wódkiewicza, po czym wyjechał na staż postdoktorski najpierw na uniwersytecie w Rochester (USA), a potem w Oxfordzie. Po powrocie do kraju został zatrudniony w Instytucie Fizyki UMK w Toruniu, gdzie pro-



Ryc. 6. Czesław Radzewicz, kierownik Pracowni Inżynierii Kwantowej, pomysłodawca i lider budowy polskiego atomowego zegara optycznego [2014] (z archiwum KL FAMO)

wadził zajęcia dydaktyczne (wykłady, ćwiczenia i seminarium) z zakresu optyki kwantowej oraz fundamentalnych problemów mechaniki kwantowej przejawiających się w układach optycznych, przede wszystkim zaś kwantowej teorii informacji, jej zastosowań oraz możliwych realizacji w układach optycznych. Program tych zajęć był związany z programem badawczym KL FAMO. Konrad Banaszek habilitował się na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej UMK, na podstawie rozprawy *Wierność w operacjach kwantowych* (2006). W latach 2007-2008 lat pełnił funkcję zastępcy dyrektora Instytutu Fizyki UMK. Odegrał wówczas kluczową rolę w zaprojektowaniu i budowie Centrum Optyki Kwantowej UMK.

Pod kierunkiem Banaszka, w KL FAMO Wojciech Wasilewski wykonał pracę doktorską *Źródła fotonów w łączności kwantowej* (2007), wykorzystującą jego badania teoretyczne podjęte w celu znalezienia kanonicznej postaci stanów generowanych w rzeczywistych optycznych wzmacniaczach parametrycznych [6] oraz opracowania metod ich przekształcania i wykorzystania w przesyłaniu informacji kwantowej [7]. Po doktoracie Wasilewski powrócił do Warszawy i został zatrudniony (2008) na stanowisku adiunkta w Zakładzie Optyki UW, jednak nadal brał udział w pracach Pracowni Inżynierii Kwantowej KL FAMO, w szczególności w kilku projektach dotyczących wzmacniaczy parametrycznych ultrakrótkich impulsów światła i problemu występującego w nich szumu pochodzenia kwantowego [8]. W badaniach tych uczestniczył także wspomniany wcześniej Piotr Kolenderski oraz Robert Frankowski, inny student UMK współpracujący z grupą Radzewicza [9, 10]. Istotną rolę w tej grupie ciągle odgrywał Konrad Banaszek, który wraz z resztą zespołu skierował swoją uwagę na zagadnienia kwantowej informacji i splątanych fotonów. Doniosłym osiągnięciem eksperymentalnym Radzewicza dokonanym w KL FAMO wspólnie z teoretykami: Ludmiłą Praxmeyer z uniwersytetu w Sofii oraz Krzysztofem Wód-

kiewiczem, a także z Piotrem Wasylczykiem z Zakładu Optyki UW było wykazanie możliwości istnienia struktur subplanckowskich w przestrzeni fazowej [12]. Szereg prac zespołu Radzewicza wykonanych w ciągu pierwszej dekady XXI w. dotyczyło procesów nieliniowych i ich zastosowań w doświadczalnej optyce kwantowej, nowych źródeł impulsów femtosekundowych (wykorzystujących światłowody i kryształy) oraz techniki pomiaru takich impulsów, a także fizyki i technologii wzmacniaczy laserowych dużej mocy [13]. Ważnym kierunkiem jego badań stała się metrologia czasu i częstotliwości, obejmująca prace nad konstrukcją grzebieni częstotliwości w celu ich zastosowania w optycznych zegarach atomowych.

9. Pierwszy w Polsce kondensat Bosego–Einsteina

Zasadniczym celem prac prowadzonych pod kierunkiem Wojciecha Gawlika w Pracowni Ultrazimnej Materii KL FAMO było doprowadzenie do wytworzenia kondensatu Bosego–Einsteina (BE) atomów rubidu ^{87}Rb . Prace te miały swoje korzenie w badaniach, rozpoczętych 10 lat wcześniej w zespole Gawlika w Instytucie Fizyki UJ w Krakowie. W roku 1998 uruchomiono tam pierwszą polską pułapkę magnetoopieczną, w której osiągnięto temperaturę rzędu $100\ \mu\text{K}$ [14, 15]. Pułapka ta została następnie wykorzystana do realizacji prac stanowiących część programu badawczego KL FAMO dotyczącego fizyki zimnych atomów

Chcąc uzyskać kondensat BE zespół Gawlika rozszerzył zakres prac krakowskich na znacznie niższe temperatury, czyli takie, w których jest możliwa kondensacja. Do jego grupy dołączyli następnie badacze z innych ośrodków, w tym Włodzimierz Jastrzębski z IF PAN oraz Marcin Witkowski z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Opolskiego i Jacek Szczepkowski z Akademii Pomorskiej w Słupsku. Pierwszy etap prac był realizowany nadal w Krakowie i obejmował budowę aparatury próżniowej oraz uruchomienie dwóch pułapek magnetoopiecznych. Istotną rolę w tych pracach odegrali Jerzy Zachorowski, Andrzej Noga i Michał Zawada z IF UJ. W tym samym czasie, w zespole Jastrzębskiego w IF PAN w Warszawie trwały prace nad budową pułapki magnetycznej, w Toruniu zaś organizowano pomieszczenie bezpyłowe przeznaczone dla aparatury budowanej w Krakowie i Warszawie. Właściwe prace nad kondensatem rozpoczęły się na jesieni 2004 roku, gdy cała aparatura została przetransportowana do KL FAMO. Czynnikiem opóźniającym był dorywczy charakter pracy zespołu dojeżdżającego z odległych od Torunia miejscowości (Kraków, Warszawa, Opole, Słupsk). Na szczęście na początku 2006 roku dwaj członkowie zespołu Gawlika (Andrzej Noga i Michał Zawada) osiedlili się czasowo w Toruniu, co wpłynęło pozytywnie na dalszy przebieg prac. Parę miesięcy później

Zawada przeprowadził się na stałe do Torunia i został zatrudniony w IF UMK.

Ostatecznie, po kilku miesiącach systematycznej pracy zespołu Wojciecha Gawlika, 02.03.2007 wysiłki zostały uwieńczone sukcesem. Wtedy to uzyskano pierwsze dane doświadczalne świadczące niezbicie, że uzyskano kondensat Bosego–Einsteina atomów ^{87}Rb [16]. Stwierdzono, że kondensat ma około 100 000 atomów i powstaje przy temperaturze 250 nK, to znaczy w tej temperaturze zachodziło przejście fazowe. W niższych temperaturach obserwowano już czysty kondensat Bosego–Einsteina.



Ryc. 7. Twórcy kondensatu Bosego–Einsteina w KL FAMO; z przodu od lewej: Michał Zawada, Jacek Szczepkowski, Wojciech Gawlik (lider Zespołu), Włodzimierz Jastrzębski; z tyłu od lewej: Marcin Witkowski, Jerzy Zachorowski, Andrzej Noga, Franciszek Bylicki [03.09.2007] (z archiwum KL FAMO)

Pierwsze prowadzone w KL FAMO badania nad kondensatem BE dotyczyły jego własności hydrodynamicznych w pułapce magnetycznej i zostały opisane w pracy ośmiu autorów, z których trzech (Wojciech Gawlik, Andrzej Noga, Jerzy Zachorowski) było pracownikami UJ, dwóch (Franciszek Bylicki, Michał Zawada) – UMK, Włodzimierz Jastrzębski – IF PAN, Marcin Witkowski – Uniwersytetu Opolskiego i Jacek Szczepkowski – Akademii Pomorskiej w Słupsku [17]. Taki skład autorów świadczył, że dzięki uzyskaniu kondensatu BE Krajowe Laboratorium FAMO zaznaczyło swoje istnienie i stało się atrakcyjnym miejscem dla młodych fizyków w Polsce. Wskazuje na to zespół autorów drugiej pracy grupy Gawlika wykonanej w Pracowni Ultrazimnej Materii KL FAMO, która zawierała wyniki eksperymentu nad swobodnym spadkiem chmury termicznej atomów pochodzących z kondensatu [18]. Oprócz dotychczasowych badaczy pojawili się tu magistranci i doktoranci z Uniwersytetu Wrocławskiego (Łukasz Tracewski), z UMK (Romaric Abdoul, Rafał Gartman) oraz Jan Chwedeńczuk, adiunkt z Instytutu Fizyki Teoretycznej UW. Można mniemać, że publikacje te uświadomiły krajowej i międzynarodowej społeczności fizyków, iż rozpoczęła się nowa epoka,

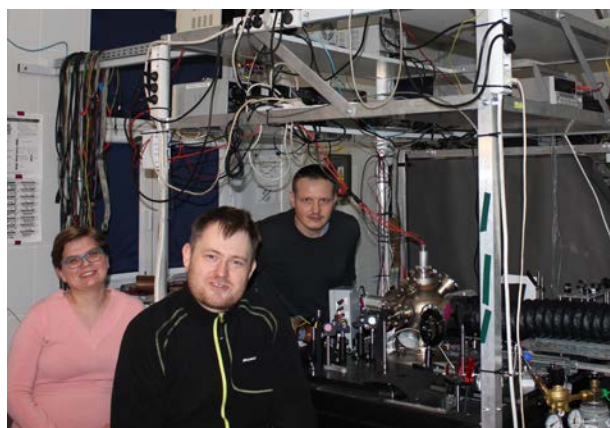
w której stało się w Polsce możliwe prowadzenie badań doświadczalnych na światowym poziomie w niezwykle atrakcyjnej dziedzinie, jaką jest fizyka zimnych atomów i kondensatów BE. W kolejnych latach w zespole Gawlika przeprowadzono szereg eksperymentów dotyczących dynamiki kondensatów BE w temperaturach niezerowych [19, 20]. Prowadzono także badania spinorowych kondensatów BE [21]. Godne podkreślenia jest to, że w tym zespole rozpoczęto także prace nad konstrukcją spowalnicza Zeemana w celu użycia go do otrzymania gazu ultrazimnych atomów, z myślą o budowie w przyszłości w KL FAMO optycznego zegara atomowego [22].

10. Pułapki jonowe

W ramach realizacji 3. zadania grantu przyznanego w 2001 roku przez KBN, grupa pod kierunkiem Ewy Stachowskiej z Politechniki Poznańskiej planowała prowadzenie badań małych zespołów jonów w pułapkach jonowych typu Paula. Był to ambitny zamiar, gdyż pułapki jonowe stanowią narzędzie służące do realizacji różnych doświadczeń dotyczących fundamentalnych problemów współczesnego przyrodoznawstwa, takich jak fizyka i chemia pojedynczych atomów i cząsteczek, zimna materia czy weryfikacja poprawności Modelu Standardowego. Badania takie mają ponadto ważne znaczenie aplikacyjne w informatyce kwantowej, gdyż zaproponowano, by jony uwięzione w pułapce Paula zostały wykorzystane do konstrukcji komputera kwantowego.

Na początku badania te dotyczyły metod wytwarzania jonów i koncentrowały się na fundamentalnych procesach prowadzących do jonizacji, a także na metodach chłodzenia otrzymanych jonów. Przyznane przez KBN w grudniu 2001 środki okazały się jednak niewystarczające, co powodowało znaczne opóźnienia prac. 04.03.2005 KBN przyznał KL FAMO dotację celową na dofinansowanie kosztów realizacji inwestycji aparaturowej pod nazwą *Układy aktywnej stabilizacji do laserów półprzewodnikowych*. Dzięki temu rozbudowany został system laserów w aparaturze do badań niewielkich zespołów jonów zamrożonych w pułapce Paula, ale wciąż było to niewystarczające, co spowodowało problemy dojeżdżających z Poznania badaczy, którzy przy braku konkretnych wyników nie mogli nadal godzić pracy w Laboratorium w Toruniu z zadaniami na Politechnice Poznańskiej. W tej sytuacji, przy aktywnym udziale Ewy Stachowskiej i Rady Laboratorium, Pracownię stopniowo przejmował Łukasz Kłosowski, adiunkt w IF UMK.

W proces znalezienia przyczyny występujących trudności eksperymentalnych zaangażował się jeden ze światowych liderów takich badań – Rainer Blatt z Innsbrucka. Po jego wizycie w Toruniu cała aparatura została przewieziona do Innsbrucka, żeby w końcu skutecznie rozwiązać występujące problemy.



Ryc. 8. Zespół Pracowni Pułapek Jonowych; do lewej: Katarzyna Pleskacz, Łukasz Kłosowski, Mariusz Piwiński [2020] (z archiwum KL FAMO)

Łukasz Kłosowski w latach 2011-2012 przebywał na stażu podoktorskim w grupie Michaela Drewsena na uniwersytecie w Aarhus w Danii. Zajmował się tam badaniami zimnych jonów molekularnych MgH^+ oraz tzw. kryształami coulombowskimi w pułapkach Paula [23,24]. Po powrocie do Torunia rozpoczął wraz z Mariuszem Piwińskim i Katarzyną Pleskacz, przy wsparciu Daniela Lisaka i Szymona Wójtewicza, prace nad budową układu do optycznego chłodzenia w systemie dopplerowskim jonów atomowych wapnia Ca^+ w pułapce [25]. W układzie tym zastosowano liniową pułapkę Paula wraz z impulsowym działem elektronowym, laserowym systemem chłodzenia dopplerowskiego i układem detekcji optycznej. Badania realizowane przez zespół skupiony wokół Kłosowskiego i Piwińskiego dotyczą nieliniowych zjawisk rezonansowych, które mogą znaleźć zastosowania w spektroskopii masowej [26]. Oprócz tego prowadzone są pomiary całkowitych przekrojów czynnych na zderzenia jonizujące przy użyciu impulsowego działu elektronowego [27], a także badania zderzeń sprężystych i niesprężystych elektronów z jonami uwięzionymi w pułapce [28]. Warto jeszcze dodać, że w roku 2021 grupa Kłosowskiego-Piwińskiego nawiązała współpracę z CERN, w ramach której zostanie zbudowane źródło jonów ujemnych wykorzystujące liniową pułapkę Paula.

11. Pierwszy polski optyczny zegar atomowy

Jak wspominaliśmy w opisie działań Rady Naukowej, prace nad atomowym zegarem optycznym rozpoczęły się po otrzymaniu grantu *Ultraprecyzyjne pomiary metodami optyki i fizyki atomowej* (2008), którego głównym celem było opanowanie i rozwój technologii niezbędnych do konstrukcji dwóch prototypów nowego wzorca czasu i częstości, wykorzystującego przejście optyczne w atomie strontu, roboczo nazwanego polskim optycznym zegarem atomowym (POZA). Projekt ten obejmował trzy duże zadania badawcze realizowane przez grupy

badawcze z trzech ośrodków naukowych. I tak w Zakładzie Fotoniki UJ w Krakowie zespół Wojciecha Gawlika podjął się konstrukcji atomowego wzorca częstości wykorzystującego ultrazimne atomy strontu. Z kolei w Zakładzie Optyki UW zespół Czesława Radzewicza był odpowiedzialny za zbudowanie optycznego grzebienia częstości, na UMK w Toruniu zaś przystąpiono do konstrukcji drugiego wzorca atomowego i ultrastabilnego lasera.

Decyzją Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 15.03.2012 przyznana została dotacja celowa na utrzymanie Specjalnego Urzędu Badawczego – optycznego zegara atomowego. Wysokość tej dotacji wynosiła 20,5 mln zł i podzielona została między członków konsorcjum POZA w sposób następujący: zespół UJ – 5 mln zł, zespół UW – 8 mln zł, zespół UMK – 7,5 mln zł.

Godny podkreślenia jest fakt, że realizując ten projekt wszystkie trzy grupy badawcze opanowały nowoczesne technologie niedostępne dotąd w Polsce [29]. Okazało się, że środowisko FAMO zdołało wypracować skuteczne metody współdziałania poszczególnych zespołów w różnych polskich instytucjach naukowych, co się przyczyniło do znacznego zwiększenia jego innowacyjności; niewątpliwie zaistnienie takiego stanu rzeczy w polskich warunkach stanowi wartościowe osiągnięcie.

W listopadzie 2014 w pomieszczeniach KL FAMO w Toruniu połączono wszystkie podzespoły i skonstruowano nie jeden, a dwa optyczne zegary, co dodatkowo umożliwiło przeprowadzenie testów i sprawdzenie poprawności ich działania. Ostatecznie w grudniu 2014 w KL FAMO został uruchomiony pierwszy w Polsce optyczny zegar atomowy, składający się z dwóch optycznych zegarów wykorzystujących bozony – atomy strontu ^{88}Sr . Atomy te były laserowo chłodzone, spowalniane i pułapkowane w jednowymiarowej sieci optycznej, a następnie częstość lasera wzorcowego była dostrajana do częstości przejścia $^1\text{S}_0 - ^3\text{P}_0$. Zmierzona względna stabilność dwóch zegarów była poniżej 7×10^{-17} , przy czasie uśredniania 1000 s. Bezwzględna częstość przejścia zegarowego w atomach strontu została wyznaczona z dokładnością około 1 Hz [30].

Skonstruowanie tego zegara stanowiło przedsięwzięcie pionierskie w skali kraju, gdyż stało się początkiem badań spektroskopowych ultrawysokiej rozdzielczości. W wyniku realizacji tego projektu powstała w KL FAMO nowoczesna baza aparaturowa, która równolegle z pracami nad nowymi wzorcami czasu i częstości umożliwiła badania nad wykorzystaniem efektów interferencji kwantowej i splątania kwantowego do zwiększenia precyzji pomiarów atomowych i optycznych. Sukces tego projektu dowodzi, że przyjęta na przełomie XX i XXI w. formuła działania KL FAMO dobrze zniosła próbę czasu i pozwoliła na prowadzenie pionierskich doświadczeń z zakresu

technologii wspomaganych kwantowo [31, 32]. Warto dodać, że optyczny zegar atomowy zlokalizowany w KL FAMO służy za wzorec częstości dla 32-metrowego radioteleskopu w Obserwatorium Astronomicznym UMK w Piwnicach używanego do obserwacji radioastronomicznych prowadzonych w ramach sieci VLBI. Aby to była możliwe, wykorzystano łącze światłowodowe (15 km) do transmisji sygnałów czasu ze stabilizacją częstości opracowaną przez Marcina Lipińskiego i jego zespół z AGH. Pierwsze wyniki prac przeprowadzonych w tym zakresie zostały już opublikowane w prestiżowym czasopiśmie *Astronomy and Astrophysics* [33]. Trzeba jeszcze dodać, że optyczne zegary atomowe w KL FAMO zostały połączone za pomocą światłowodu z Obserwatorium Astrogeodynamicznym Centrum Badań Kosmicznych PAN w Borowcu, które dysponuje najlepszą w Polsce doświadczalną realizacją sekundy uniwersalnego czasu koordynowanego UTC [34].

Jako spektakularne osiągnięcie, uzyskane dzięki wykorzystaniu optycznego zegara atomowego, można wymienić eksperyment przeprowadzony w KL FAMO dotyczący poszukiwania hipotetycznej ciemnej materii. Był to eksperyment o charakterze pionierskim, gdyż – w odróżnieniu od wcześniejszych prób dokonanych w skali galaktycznej – był przeprowadzony w warunkach laboratoryjnych. Wyniki tego eksperymentu zostały opisane w pracy opublikowanej w pierwszym numerze nowego czasopisma *Nature Astronomy* [35]. Praca ta spotkała się ze znacznym zainteresowaniem międzynarodowej społeczności i wkrótce po jej opublikowaniu została szczegółowo omówiona w popularnym i cieszącym się dużym prestiżem miesięczniku *Scientific American* [36]. Jej pierwszym autorem i zarazem pomysłodawcą tego zupełnie innowacyjnego sposobu badania ciemnej materii był Piotr Wcisło,³ który po magisterium uzyskanym na UJ w Krakowie (2010) przeprowadził się do Torunia i został zatrudniony na UMK włączając się z wielką energią w działalność badawczą KL FAMO.

Substancją, z którą w KL FAMO przeprowadzono większość doświadczeń nad zimną materią były zimne, spułapkowane atomy strontu. Jednakże w wielu ośrodkach na świecie były już prowadzone prace nad pułapkowaniem innych atomów m.in. rtęci. Idąc w tym kierunku również w KL FAMO, wykorzystując optyczny grzebień częstości, przeprowadzono dokładne pomiary częstości przejść $^1\text{S}_0 - ^3\text{P}_1$ oraz przesunięć izotopowych dla ato-

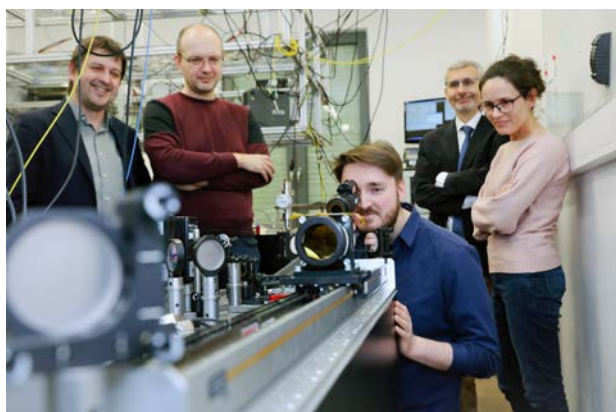
3. Piotr Wcisło otrzymał Nagrodę Narodowego Centrum Nauki (2022) w kategorii nauk ścisłych i technicznych za opracowanie nowej metody poszukiwania ciemnej materii, która wykorzystuje optyczne zegary atomowe, oraz za wykorzystanie ultradokładnej spektroskopii laserowej do testowania elektrodynamiki kwantowej i poszukiwania nowej fizyki.

mów rtęci, w tym czterech izotopów bozonowych (^{198}Hg , ^{200}Hg , ^{202}Hg , ^{204}Hg) i jednego izotopu fermionowego (^{199}Hg) [37].

12. Pracownia Spektroskopii Wysokiej Zdolności Rozdzielczej

Znaczącym wydarzeniem w historii KL FAMO było zbudowanie spektrometru strat we wnęce CRDS (*Cavity Ring-Down Spectroscopy*) dokonane przez zespół, który tworzyli: Agata Cygan, Daniel Lisak, Piotr Masłowski, Katarzyna Bielska, Szymon Wójtewicz, Jolanta Domyśławska, Ryszard S. Trawiński i Roman Ciuryło w ramach współpracy z laboratorium Josepha T. Hodgesa w National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA i laboratorium Hisashi Abe w National Metrology Institute of Japan, Tsukuba [38]. Ważną cechą tego spektrometru jest to, że charakteryzuje go jeden z najwyższych na świecie stosunek sygnału do szumu, dzięki czemu daje możliwość przeprowadzania niezwykle precyzyjnych pomiarów natężeń i kształtów słabych linii widmowych, takich jak te występujące w paśmie absorpcyjnym tlenu w otoczeniu długości fali $\lambda = 687 \text{ nm}$, co ma duże znaczenie w fizyce atmosfery ziemskiej [39]. Może on być wykorzystywany w licznych zastosowaniach, w szczególności pozwala na wyznaczanie stałej Boltzmanna na podstawie zmierzonych wartości szerokości dopplerowskiej linii atomowych lub molekularnych [40]. Nieco później w KL FAMO dokonano istotnego postępu w zakresie technik pomiarowych polegającego na dowiezaniu spektrometru CRDS do optycznego zegara atomowego, co umożliwiło wykonanie dokładnych pomiarów częstości przejść kwadrupolowych S(3) i S(4) w paśmie 2–0 cząsteczki deuteru D_2 [41]. Te badania odbywały się w ramach współpracy z grupą włoską z Politecnico di Milano i francuską z Université Rennes.

Kolejnym ważnym osiągnięciem KL FAMO było wdrożenie (2013) nowej techniki eksperymentalnej, czyli spektroskopii modów wnęki CMWS (ang. *cavity mode-*



Ryc. 9. W Pracowni Spektroskopii Wysokiej Zdolności Rozdzielczej; od lewej: Piotr Masłowski, Daniel Lisak, Dominik Charczun, Roman Ciuryło, Agata Cygan [2019] (z archiwum KL FAMO)

width spectroscopy), która stanowi alternatywę i uzupełnienie techniki CRDS dla tych przypadków, gdy ta ostatnia zawodzi. Dokonał tego zespół w składzie: Agata Cygan, Daniel Lisak, Piotr Morzyński, Marcin Bober, Michał Zawada, Eugeniusz Pazderski z Obserwatorium Astronomicznego UMK i Roman Ciuryło [42]. Dalsze prace tego zespołu doprowadziły do opracowania nowej techniki wykorzystującej spektroskopię dyspersyjną modów wnęki CMDS (ang. *cavity mode-dispersion spectroscopy*) wykazując, że może ona być niezwykle pomocna w wielu zastosowaniach, przede wszystkim w metrologii gazowej oraz monitoringu środowiska naturalnego [43]. Na szczególne podkreślenie zasługuje nieustanne dążenie wszystkich badaczy związanych z Pracownią Wysokiej Zdolności Rozdzielczej do udoskonalania stosowanych metod, czego dowodem jest zbudowanie unikatowego zestawu aparaturowego, podłączonego do optycznego zegara atomowego, który umożliwia dokonywanie pomiarów przy użyciu wszystkich trzech wyżej wspomnianych technik, tj. CRDS, CMWS oraz CMDS [44]. Innym niesłychanie ważnym osiągnięciem dokonanym w 2016 roku stało się wdrożenie szerokopasmowej spektrometrii modów wnęki z wykorzystaniem optycznego grzebienia częstości oraz spektrografu VIPA (ang. *virtually imaged phased-array*) [45]. Ostatnio pokazano, że stosując tę technikę można prowadzić pomiary spektroskopowe z dokładnością do kilku Hz [46]. Najnowszym osiągnięciem Pracowni Wysokiej Zdolności Rozdzielczej jest opracowanie w 2021 roku nowej techniki spektroskopowej zwanej w j. ang. *dual-comb cavity ring-down spectroscopy*, łączącej zalety powszechnie stosowanej spektroskopii CRDS z szerokopasmowym pomiarem o wysokiej rozdzielczości, za pomocą dwóch grzebieni optycznych (ang. *dual-comb spectroscopy*) [47].

Spoglądając na listę autorów omówionych wyżej publikacji warto zauważyć, że w miarę upływu czasu do grona pierwszych pionierów (Roman Ciuryło, Michał Zawada, Daniel Lisak, Ryszard S. Trawiński, Piotr Masłowski, Jolanta Domyśławska) stopniowo dołączali badacze z młodszego pokolenia (Piotr Wcisło, Agata Cygan, Marcin Bober, Marcin Witkowski, Piotr Morzyński, Katarzyna Bielska, Szymon Wójtewicz, Grzegorz Kowzan, Piotr Ablewski, Mateusz Borkowski i in.), którzy w sposób istotny przyczynili się do tego, że KL FAMO zyskało międzynarodowe uznanie jako jeden z wiodących ośrodków w dziedzinie spektroskopii ultrawysokiej zdolności rozdzielczej i fizyki zimnej materii.

13. Pracownia Splątanych Fotonów

Z chwilą powrotu do Warszawy Konrada Banaszka Pracownię Inżynierii Kwantowej przejmował sukcesywnie pracujący w niej, a zatrudniony w IF UMK, Piotr Kolen-derski. W wyniku tych zmian jednostka zmieniła nazwę



Ryc. 10. W Pracowni Splątanych Fotonów; do lewej: Piotr Kolenderski, Mikołaj Lasota, Dobrosława Bartoszek-Bober [2020] (z archiwum KL FAMO)

na Single Photon Application Laboratory (SPALab). Piotr Kolenderski, który swoją działalność naukową w KL FAMO rozpoczynał jeszcze jako student pod kierunkiem Konrada Banaszka, w latach 2010-2013 odbył staż podoktorski w Institute for Quantum Computing na uniwersytecie w Waterloo w Kanadzie. Po powrocie do kraju został zatrudniony jako adiunkt naukowy w IF UMK i jednocześnie w KL FAMO. Szybko skupił wokół siebie grono młodych badaczy (Mikołaj Lasota, Artur Czerwiński, Kaushik Joarder, Dobrosława Bartoszek-Bober) oraz doktorantów (Karolina Sędziak-Kacprowicz, Marta Miściak, Maria Gieysztor, Andrzej Gajewski, Anuradha Anarthe, Jakub Szlachetka) tworząc grupę, zajmującą się zastosowaniami splątanych fotonów w informatyce i kryptografii kwantowej. Przedmiotem badań tej grupy są zagadnienia dotyczące źródeł pojedynczych fotonów, ich czasowo-rozdzielczej detekcji oraz aplikacji w technologiach kwantowych, przede wszystkim w kryptografii kwantowej [48-50]. W tych badaniach kładzie się duży nacisk na eksperymentalne implementacje kwantowego przetwarzania informacji [51]. Jeden z celów prac grupy, to opracowanie metody dalekodystansowej, poufnej komunikacji kwantowej z wykorzystaniem odbiornika satelitarnego i istniejących sieci światłowodowych. W ramach współpracy z zespołem Wojciecha Gawlika, w Instytucie Fizyki UJ prowadzone są także prace nad oddziaływaniem pojedynczych fotonów z centrami barwnymi typu azot-wakancja (NV) w diamencie [52]. W pracach tych uczestniczyli też badacze z uniwersytetów w Waterloo (Kanada) i Ulm (Niemcy).

14. Posłowie

Dwie dekady, które minęły od chwili powstania KL FAMO, cechowały się znacznym wzrostem aktywności i innowacyjności polskich fizyków atomowych, molekularnych i optycznych, co zaowocowało licznymi publikacjami w renomowanych czasopismach międzynarodo-

wych. Unikatowość laboratoriów skupionych w strukturze KL FAMO polega przede wszystkim na koncentracji zaawansowanej aparatury umożliwiającej prowadzenie w Polsce prac badawczych na poziomie światowym. Wyjątkowość tej struktury polega też na tym, że powstała ona na przełomie dwóch tysiącleci jako oddolna i dobrowolna inicjatywa środowiska związanego z tematyką FAMO, które było świadome tego, że osiągnięcie takiego poziomu badań, jak w najlepszych naukowych centrach światowych, wymaga połączenia wysiłków najlepszych polskich laboratoriów. Nie było to łatwe także z psychologicznego punktu widzenia, gdyż w początkowym okresie działalność KL FAMO wiązała się z koniecznością rezygnacji z indywidualnych ambicji – również finansowych – uczestników tego przedsięwzięcia. Minione dwadzieścia lat wykazało jednak, że taka droga postępowania w pełni się sprawdziła; poszczególne ośrodki związane z KL FAMO współpracują ze sobą wymieniając personel i doświadczenia. Różnorodność posiadanej w laboratoriach FAMO infrastruktury badawczej oraz jej komplementarność pozwala na swobodne łączenie różnych technik eksperymentalnych i prowadzenie takich ambitnych prac badawczych, które w obecnych warunkach nie byłyby możliwe do wykonania przez pojedyncze polskie ośrodki. Jako przykład mogą tu służyć dwa doniosłe sukcesy:

- wytworzenie kondensatu Bosego–Einsteina w układzie zimnych atomów rubidu ^{87}Rb ,
- konstrukcja optycznego zegara atomowego wykorzystującego zimne atomy strontu.

Oba te sukcesy osiągnięto dzięki wspólnemu wysiłkowi trzech partnerów: Uniwersytetu Jagiellońskiego, Uniwersytetu Warszawskiego i Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, przy wsparciu badaczy z Instytutu Fizyki PAN, Uniwersytetu Opolskiego oraz Akademii Pomorskiej w Słupsku.

Na zakończenie tego artykułu powinniśmy wspomnieć o tych spośród współtwórców KL FAMO, którzy wnieśli istotny wkład w powodzenie tego przedsięwzięcia, a których już nie ma wśród nas. Byli to: Krzysztof Ernst (1940-2003), Krzysztof Wódkiewicz (1949-2008), Stanisław Chwirot (1950-2020) oraz Jerzy Zachorowski (1955-2017), który odegrał istotną rolę w budowie pułapek magnetoptycznych i zegara.

Literatura

- [1] B. Grzegorzewski, *Protokół z Zebrania Założycielskiego Sekcji FAMO Komitetu Fizyki PAN*, [w:] Spotkania FAMO, Wydawnictwo UMK, Toruń 1998, s. 129.
- [2] D. Bielińska-Wąż, J. Szudy, red., *Abstrakty Sesji Plakatywnej Sekcji FAMO*, [w:] Spotkania FAMO, Wydawnictwo UMK, Toruń 1998, ss. 11-128.

- [3] J. Szudy, red., *Fizyka polska u progu Trzeciego Tysiąclecia, Ogólnopolska Sesja Naukowa z okazji Stulecia Urodzin Aleksandra Jabłońskiego*, Wydawnictwo UMK, Toruń 1998.
- [4] J. Turło, *Krajowe Laboratorium FAMO w Toruniu*, *Postępy Fizyki*, **53**, 255 (2002).
- [5] W. Wasilewski, P. Wasylczyk, P. Kolenderski, K. Banaszek, C. Radzewicz, *Joint spectrum of photon pairs measured by coincidence Fourier spectroscopy*, *Optics Letters*, **31**, 1130 (2006).
- [6] A. Lvovsky, W. Wasilewski, K. Banaszek, *Decomposing a pulsed optical parametric amplifier into independent squeezers*, *Journal of Modern Optics*, **54**, 721 (2007); W. Wasilewski, A. Lvovsky, K. Banaszek, C. Radzewicz, *Pulsed squeezed light: simultaneous squeezing of multiple modes*, *Phys. Rev. A*, **73**, 063819 (2006).
- [7] W. Wasilewski, K. Banaszek, *Protecting an optical qubit against photon loss*, *Phys. Rev. A*, **75**, 042316 (2007).
- [8] J. Chwedeńczuk, W. Wasilewski, *Intensity of parametric fluorescence pumped by ultrashort pulses*, *Phys. Rev. A*, t. 78, s. 063823 (2008).
- [9] W. Wasilewski, P. Kolenderski, R. Frankowski, *Spectral density matrix of a single photon measured*, *Phys. Rev. Letters*, **99**, 123601 (2007); P. Kolenderski, W. Wasilewski, *Derivation of the density matrix of a single photon produced in parametric down-conversion*, *Phys. Rev. A*, **80**, 015801 (2009).
- [10] W. Wasilewski, C. Radzewicz, R. Frankowski, K. Banaszek, *Statistics of multiphoton events in spontaneous parametric down-conversion*, *Phys. Rev. A*, **78**, 033831 (2008); P. Kolenderski, W. Wasilewski, K. Banaszek, *Modelling and optimization of photon pair sources based on spontaneous parametric down-conversion*, *Phys. Rev. A*, **80**, 013811 (2009).
- [11] K. Banaszek, A. Dragan, W. Wasilewski, C. Radzewicz, *Experimental demonstration of entanglement-enhanced classical communication over a quantum channel with correlated noise*, *Phys. Rev. Lett.*, t. 92, s. 257901 (2004).
- [12] L. Praxmeyer, P. Wasylczyk, C. Radzewicz, K. Wódkiewicz, *Time-frequency domain analogues of phase sub-Planck structures*, *Phys. Rev. Lett.*, t. 98, s. 063901 (2007).
- [13] M. Karpiński, K. Banaszek, C. Radzewicz, *Fiber-optic realization of anisotropic depolarizing quantum channels*, *Journal of the Optical Society of America B*, t. 24, s. 668 (2008); W. Wasilewski, C. Radzewicz, R. Frankowski, K. Banaszek, *Statistics of multiphoton events in spontaneous parametric down-conversion*, *Phys. Rev. A*, t. 78, s. 033831 (2008); K. Banaszek, R. Demkowicz-Dobrzański, M. Karpiński, P. Migdał, C. Radzewicz, *Quantum and semiclassical polarization correlations*, *Opt. Comm.*, t. 283, s. 713 (2010); M. Karpiński, C. Radzewicz, K. Banaszek, *Dispersion-based control of modal characteristics for parametric down-conversion in multi-mode waveguide*, *Optics Letters*, t. 37, s. 878 (2012); M. Lasota, C. Radzewicz, K. Banaszek, R. Thew, *Linear optics schemes for entanglement distribution with realistic single-photon sources*, *Phys. Rev. A*, t. 90, s. 033836 (2014).
- [14] J. Zachorowski, T. Pałasz, W. Gawlik, *Magneto-optical trap for rubidium atoms*, *Optica Applicata*, **28**, 239 (1998)
- [15] J. Zachorowski, T. Pałasz, W. Gawlik, *Krakowska pułapka magnetoptyczna*, *Postępy Fizyki*, **49**, 338 (1998).
- [16] W. Gawlik, W. Jastrzębski, A. Noga, J. Zachorowski, M. Zawada, *Pierwszy polski kondensat Bosego-Einsteina*, *Postępy Fizyki*, **58**, 156 (2007).
- [17] F. Bylicki, W. Gawlik, W. Jastrzębski, A. Noga, J. Szczepkowski, J. Zachorowski, J. Witkowski, M. Zawada, *Studies of the hydrodynamic properties of Bose-Einstein condensate of ^{87}Rb atoms in a magnetic trap*, *Acta Phys. Polon.*, **113**, 691 (2008).
- [18] M. Zawada, R. Abdoul, J. Chwedeńczuk, R. Gartman, J. Szczepkowski, Ł. Tracewski, M. Witkowski, W. Gawlik, *Free-fall expansion of finite-temperature Bose-Einstein condensed gas in the non-Thomas-Fermi regime*, *Journal of Physics B*, **41**, 241001 (2008).
- [19] W. Gawlik, W. Jastrzębski, K. Szczepkowski, M. Witkowski, J. Zachorowski, *Experiments on the dynamics of the Bose-Einstein condensate at finite temperature*, *Physica Scripta*, **135**, 014028 (2009).
- [20] J. Szczepkowski, R. Gartman, M. Witkowski, Ł. Tracewski, M. Zawada, W. Gawlik, *Analysis and calibration of absorptive images of Bose-Einstein condensate at nonzero temperatures*, *Review of Scientific Instruments*, **80**, 053103 (2009).
- [21] R. Gartman, M. Piotrowski, J. Szczepkowski, M. Witkowski, M. Zawada, W. Gawlik, *Production of spinor condensates of ^{87}Rb released from a magnetic trap*, *Optica Applicata*, **40**, 565 (2020).
- [22] M. Bober, J. Zachorowski, W. Gawlik, *Designing Zeeman slower for strontium atoms – towards optical clock*, *Optica Applicata*, **40**, 547 (2010).
- [23] O. O. Versolato, M. Schwarz, A. Hansen, A. Gingell, A. Windberger, Ł. Kłosowaki, J. Ulrich, F. Jensen, J. R. Crespo Lopez-Urrutia, M. Drewsen, *Decay measurement of the first vibrationally excited state of MgH^+ in a cryogenic Paul trap*, *Phys. Rev. Letters*, **111**, 053002 (2013).

- [24] A. K. Hansen, O.O. Versolato, Ł. Kłosowski, S. B. Kristensen, A. Gingell, M. Schwarz, A. Windberger, J. Ullrich, J.P. Crespio Lopez-Urrutia, M. Drewsen, *Efficient rotational cooling of Coulomb-crystallized molecular ions by a helium buffer gas*, *Nature*, **508**, 76 (2014).
- [25] Ł. Kłosowski, K. Pleskacz, S. Wójtewicz, D. Lisak, M. Piwiński, *Optical system for Doppler cooling of trapped calcium ions*, *Photonics Lett. Poland*, **9**, 119 (2017).
- [26] Ł. Kłosowski, M. Piwiński, K. Pleskacz, S. Wójtewicz, D. Lisak, *Nonlinear resonances in linear segmented Paul trap of short central segment*, *Journal of Mass Spectrometry*, **53**, 541 (2018).
- [27] Ł. Kłosowski, M. Piwiński, S. Wójtewicz, D. Lisak, *Measurement of electron-calcium ionization integral cross section using an ion trap with a low-energy, pulsed electron gun*, *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, **228**, 13 (2018).
- [28] Ł. Kłosowski, M. Piwiński, *Energy transfer in elastic collisions between electrons and trapped ions*, *Physics of Plasmas*, **25**, 102114 (2018); *Attraction between trapped ions and beams of electrons*, *AIP Advances*, **10**, 015028 (2020).
- [29] M. Bober, J. Zachorowski, W. Gawlik, P. Morzyński, M. Zawada, D. Lisak, A. Cygan, K. Bielska, M. Piwiński, R. S. Trawiński, R. Ciuryło, F. Ozimek, C. Radzewicz, *Precision spectroscopy of cold strontium atoms: Towards optical atomic clock*, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences*, **60**, 4 (2012).
- [30] M. Bober, P. Morzyński, A. Cygan, D. Lisak, P. Masłowski, M. Prymaczek, P. Wcisło, P. Ablewski, M. Piwiński, S. Wójtewicz, K. Bielska, D. Bartoszek-Bober, R. S. Trawiński, M. Zawada, R. Ciuryło, J. Zachorowski, M. Piotrowski, W. Gawlik, F. Ozimek, C. Radzewicz, *Strontium optical lattice clocks for practical realization of the metre and secondary representation of the second*, *Measurement Science & Technology*, **26**, 075201 (2015);
- [31] C. Radzewicz, M. Bober, P. Morzyński, A. Cygan, D. Lisak, D. Bartoszek-Bober, P. Masłowski, P. Ablewski, J. Zachorowski, W. Gawlik, R. Ciuryło, M. Zawada, *Accuracy budget of the ^{88}Sr optical atomic clocks at KL FAMO*, *Physica Scripta*, **91**, 84003 (2016).
- [32] M. Zawada, P. Ablewski, W. Gawlik, R. Gartman, P. Masłowski, P. Morzyński, B. Nagórny, F. Ozimek, C. Radzewicz, P. Wcisło, M. Witkowski, R. Ciuryło, *Testing optical lock calibration procedures: Absolute frequency measurements of rubidium 5S-7S transition*, 2013 IFCS-EFTF Proceedings, 402 (2013).
- [33] P. Krehlik, L. Buczek, J. Kołodziej, M. Lipiński, L. Śliwczyński, J. Nawrocki, P. Nogaś, A. Marecki, E. Pazderski, P. Ablewski, M. Bober, R. Ciuryło, A. Cygan, D. Lisak, P. Masłowski, P. Morzyński, M. Zawada, R. M. Campbell, J. Pieczerak, A. Biniewicz, K. Turza, *Fibre-optic delivery of time and frequency to VLBI station*, *Astronomy and Astrophysics*, **603**, A48 (2017).
- [34] P. Morzyński, M. Bober, D. Bartoszek-Bober, J. Nawrocki, P. Krehlik, Ł. Śliwczyński, M. Lipiński, P. Masłowski, A. Cygan, P. Dunst, M. Garuś, D. Lisak, J. Zachorowski, W. Gawlik, C. Radzewicz, R. Ciuryło, M. Zawada, *Absolute measurement of the $^1\text{S}_0 - ^3\text{P}_0$ clock transition in neutral ^{88}Sr over the 330 km-long stabilized fibre optic link*, *Scientific Reports*, **5**, 17495 (2015).
- [35] P. Wcisło, P. Morzyński, M. Bober, A. Cygan, D. Lisak, R. Ciuryło, M. Zawada, *Experimental constraint on dark matter detection with optical clocks*, *Nature Astronomy*, **1**, 0009 (2016).
- [36] Ch. Q. Choi, *Hunting dark matter between the ticks of an atomic clock*, *Scientific American*, **12**, 2016.
- [37] M. Witkowski, G. Kowzan, R. Munoz-Rodriguez, R. Ciuryło, P. S. Żuchowski, P. Masłowski, M. Zawada, *Absolute frequency and isotope shift measurements of mercury $^1\text{S}_0 - ^3\text{P}_1$ transition*, *Optics Express*, **27**, 11069 (2019).
- [38] A. Cygan, D. Lisak, P. Masłowski, K. Bielska, S. Wójtewicz, J. Domysławska, R. S. Trawiński, R. Ciuryło, H. Abe, J. T. Hodges, *Pound-Drever-Hall-locked, frequency-stabilized cavity ring-down spectrometer*, *Review of Scientific Instruments*, **82**, 063107 (2011).
- [39] D. Lisak, P. Masłowski, A. Cygan, K. Bielska, S. Wójtewicz, M. Piwiński, J. T. Hodges, R. S. Trawiński, R. Ciuryło, *Line shapes and intensities of self-broadened $\text{O}_2 b^1\Sigma_g^+ (v = 1) \leftarrow X^3\Sigma_g^- (v = 0)$ band transitions measured by cavity ring-down spectroscopy*, *Phys. Rev. A*, **81**, 042504 (2010).
- [40] A. Cygan, D. Lisak, R. S. Trawiński, R. Ciuryło, *Influence of the line-shape model on the spectroscopic determination of the Boltzmann constant*, *Phys. Rev. A*, **82**, 032515 (2010).
- [41] S. Wójtewicz, R. Gotti, D. Gatti, M. Lamperti, P. Laporta, H. Józwiak, F. Thibault, P. Wcisło, M. Marangoni, *Accurate deuterium spectroscopy and comparison with ab initio calculations*, *Phys. Rev. A*, **101**, 052504 (2020).
- [42] A. Cygan, D. Lisak, P. Masłowski, M. Bober, M. Zawada, E. Pazderski, R. Ciuryło, *Cavity mode-width spectroscopy with widely tunable ultra narrow laser*, *Optics Express*, **21**, 29744 (2013).
- [43] A. Cygan, P. Wcisło, S. Wójtewicz, P. Masłowski, J.T. Hedges, R. Ciuryło, D. Lisak, *One-dimensional*

- frequency-based spectroscopy*, Optics Express, **23**, 14472 (2015).
- [44] D. Lisak, A. Cygan, S. Wójtewicz, P. Wcisło, M. Zaborowski, G. Kowzan, P. Masłowski, R. Ciuryło, *Spectral line-shape study by cavity-enhanced complex refractive index spectroscopy*, Journal of Physics: Conf. Series, **810**, 012007 (2017).
- [45] G. Kowzan, K. F. Lee, M. Paradowska, M. Borkowski, P. Ablewski, S. Wójtewicz, K. Stec, D. Lisak, M. E. Fermann, R. S. Trawiński, P. Masłowski, *Self-referenced, accurate and sensitive optical frequency comb spectroscopy with a virtually imaged phased array spectrometer*, Optics Letters, **41**, 974 (2016).
- [46] G. Kowzan, D. Charczun, A. Cygan, R. S. Trawiński, D. Lisak, P. Masłowski, *Broadband optical cavity mode measurements at Hz-level precision with a comb-based VIPA spectrometer*, Scientific Reports, **9**, 8206 (2019).
- [47] D. Lisak, D. Charczun, A. Nishiyama, T. Voumard, T. Wildi, G. Kowzan, V. Brasch, T. Herr, A. J. Fleisher, J. T. Hodges, R. Ciuryło, A. Cygan, P. Masłowski, *Dual-comb cavity ring-down spectroscopy*, Scientific Reports, **12**, 2377 (2022).
- [48] K. Sędziak, M. Lasota, P. Kolenderski, *Reducing detection noise of a proton pair in a dispersive medium by controlling its spectra entanglement*, Optica, **4**, 84 (2017).
- [49] A. Divochiy, M. Misiaszek, Y. Vakhtomin, P. Morozov, K. Smirnov, P. Zolotov, P. Kolenderski, *Single photon detection system for visible and infrared spectrum range*, Optics Letters, **43**, 6085 (2018).
- [50] K. Sędziak-Kacprowicz, A. Czerwiński, P. Kolenderski, *Tomography of time-bin quantum states using time-resolved detection*, Phys. Rev. A, **102**, 052420 (2020).
- [51] K. Sędziak-Kacprowicz, M. Lasota, P. Kolenderski, *Remote temporal wavepacket narrowing*, Scientific Reports, **9**, 1 (2019).
- [52] M. Gieysztor, M. Misiaszek, J. van der Veen, W. Gawlik, F. Jelezko, P. Kolenderski, *Interaction of a heralded single photon with nitrogen-vacancy centers in a diamond*, Optics Express, **29**, 564 (2021).

Econophysics and sociophysics: their milestones & challenges

Part 2*

Ryszard Kutner**

Faculty of Physics, University of Warsaw

Abstract. We continue to discuss the milestones of econophysics and sociophysics. We chose them in the context of the challenges posed by contemporary socio-economic reality. We indicate their role in building research areas in econophysics and sociophysics. This part is devoted primarily to complexity, incredibly complex networks, and phase transitions, particularly critical phenomena and processes, agent-based modeling, risk issues in the context of financial markets, and elements of modern sociophysics.

Keywords: science of complexity, complex networks, scaling-laws/power-laws and critical phenomena; financial, currency & cryptocurrency and company markets, agent modeling, market and systemic risks

Abstrakt. Kontynuujemy omawianie kamieni milowych ekonofizyki i socjofizyki. Wybraliśmy je w kontekście wyzwań jakie niesie ze sobą współczesna rzeczywistość społeczno-ekonomiczna. Wskazujemy na ich rolę w budowaniu obszarów badawczych ekonofizyki i socjofizyki. Ta część poświęcona jest przede wszystkim złożoności, a w tym sieciom złożonym, przemianom fazowym a szczególnie zjawiskom i procesom krytycznym, modelowaniu agentowemu, zagadnieniom ryzyka w kontekście rynków finansowych oraz elementom współczesnej socjofizyki.

Słowa kluczowe: nauka o złożoności, sieci złożone, prawa skalowania/prawa potęgowe i zjawiska krytyczne; rynki finansowe, walutowe oraz rynki firm, modelowanie agentowe, ryzyko rynkowe i systemowe

Preamble: The last three years can be characterized by the particularly intensive work of the econophysicists community on describing and understanding the new reality in which the world has found itself. What is being sought is a multidimensional response to the emerging extreme, multiple unique challenges on an unprecedented scale. The summary of this intensive work can be, for example, conferences:

- 11th Polish Symposium in Economy and Social Sciences (FENS 2021), Kraków 1-3 July 2021
- Conference on Complex Systems 2021 - Satellite on Econophysics, Lyon 27-28 October 2021
- Econophysics Colloquium, Thessaloniki 24-26 August 2022

In this context, advanced data analysis, particularly research of shocks, crashes, crises, and recessions, and besides reality modeling, and especially computer si-

mulation of complex systems, recognition and analysis of various types of risks and threats, and forecasting of socio-economic reality, have to take into account extreme ("black swans") and super-extreme ("dragon kings") events. From a factual point of view, this work concerns the period before 2020. However, the last three years require in-depth reflection, for which the proper basis is provided by, among other things, this paper and the Special Issues [2, 3].

1. The complexity of econophysics and sociophysics

We characterize the relationship between econophysics/sociophysics and areas related to complexity using the diagram shown in Fig. 3 in Part 1 [4]. These areas also show the wealth of topics in econophysics and sociophysics. Only some of them are presented in this first part of the article. This part is mainly devoted to discussing the complexity of econophysics and sociophysics in the context of complex networks, agent-based modeling as well as phase transitions and critical phenomena, which are widely practiced research directions of econophysics and sociophysics.

2. Complex networks

Important tools to describe and understand the collective behavior of financial time series (based on correlated

*This second part of the article is partially a reprint of the article [1] with some modifications. For example, we have introduced the Preamble, the short section 1, and a paragraph in section 7, while one paragraph we removed; we also extended the Abstract. Besides, the bibliography has been limited and the numbering of sections has changed. Moreover, it was stripped of the last paragraph compared to the original article. Elsevier License Terms and Conditions No. 5380360858688

**ORCID: 0000-0002-4949-8781

graphs) include the minimal spanning tree (MST) [5]. This was applied to finance for the first time by Rosario Mantegna [6], opening a new, extremely prolific chapter in econophysics and recently to sociophysics.

The MST (is a connected graph) that allows only such unique paths connecting nodes of a complete graph, which minimizes the sum of edge distances [7]. In this way, MST extracts the most important relevant informations in financial time series [8] and numerous applications [9] (e.g., in seismic, meteorological, cardiological, and neurological time series).

The analysis of cluster hierarchy deserves special attention within MST. It well reproduces the sectorial nature of stock exchange. It must be said, however, that the MST is not robust in a sense that by removing one data one gets another (topologically non-equivalent) tree. Only the proper family of MST trees enables to give a sufficiently robust result [10, 11].

The MST based work [12] details numerical and empirical evidence for dynamical, structural and topological phase transitions on the Frankfurt Stock Exchange (FSE) in the temporal vicinity of the worldwide financial crash 2007/8. Indeed, using the MST technique, two typical transitions of the topology of a complex network representing the FSE were found. The first transition is from a hierarchical Abergel scale-free MST representing the stock market before the recent worldwide financial crash, to a superstar-like MST decorated by a scale-free hierarchy of trees. The latter one represents the market's state for the period containing the crash. Subsequently, a transition is observed from this transient, (meta)stable state of the crash to a hierarchical scale-free MST decorated by several star-like trees after the worldwide financial crash.

Another method, called Planar Maximally Filtered Graphs (PMFG), is a powerful tool to study complex datasets [13, 14, 15]. It has been shown that by making use of the 3-clique structure of the PMFG a clustering can be extracted allowing dimensionality reduction. This keeps both local information and global hierarchy in a deterministic manner without the use of any prior information [16]. Filtered graphs can also be used to diversify financial risk by building a well-diversified portfolio that effectively reduces investment risk. This is done by investing in stocks that occupy peripheral, poorly connected regions in the financial filtered networks [17, 18, 19].

However, the algorithm so far proposed to construct the PMFG is numerically costly with $O(N^3)$ computational complexity and cannot be applied to large-scale data. There is a challenge therefore to search for novel algorithms that can provide, in a numerically efficient way, such a reduction to planar filtered graphs.

A new algorithm, called the TMFG (Triangulated Maximally Filtered Graph), was introduced to efficiently extract a planar subgraph, which optimizes an objective function. The method is scalable to very large data sets and it can take advantage of parallel and GPUs computing. The method is adaptable allowing online updating and learning with continuous insertion and deletion of new data as well changes in the strength of the similarity measure [20].

Network filtering procedures are also allowing to construct probabilistic sparse modeling for financial systems that can be used for forecasting, stress testing and risk allocation [21, 22, 23].

The problem of studying the economic growth patterns across countries is actually a subject of great attention to economists and econophysicists [24, 25]. Cluster analysis methods allow for a comparative study of countries through basic macroeconomic indicator fluctuations. Statistical (or correlation) distances between 15 EU countries are first calculated for various moving time windows. The decrease in time of the mean correlation distance is observed as an empirical evidence of globalization. Besides, the most strongly correlated countries can be partitioned into stable clusters. The Moving Average Minimal Length Path algorithm indicates the existence of cluster-like structures both in the hierarchical organization of countries and their relative movements inside the hierarchy.

All the above mentioned methods enabled effective exploration of any complex networks, opening new, extremely interesting research fields and triggering a real flood of not only econophysical and sociophysical works but also far beyond these research areas (e.g., in biology, ecology, climatology, medicine, telecommunications).

3. Systemic risk and network dynamics

This type of risk has spread widely culminating in the subprime crisis of 2007/08. The analysis and control of systemic risk has therefore become an extremely important social and economic challenge. This challenge was taken up by economics, finance, and also by econophysics. It was found that the role of the financial institutions' network was crucial in the dissemination of the financial crisis of 2007/08. The greater the degree of cross-linking, the greater the risk of system crash. This was thoroughly considered in review entitled: *Econophysics of Systemic Risk and Network Dynamics* edited in 2013 by the Abergel, Chakrabarti, Chakraborti, and Ghosh [26].

3.1. Financial market risk and the first-passage time problem

The uncertainty and risk are inextricably linked to the activity of financial markets [27, 28]. One has approached

the very promising issue of risk evaluation and control as a first-passage time (FPT) problem. The mean first-passage time (MFPT) was used as a basis for the assumption of stochastic volatility (exploited within the Heston model) [29]. One significant result is the evidence of extreme deviations – which implies a high risk of default – when the strength of the volatility fluctuations increases. This approach may provide an effective tool for risk control, which can be readily applicable to real financial markets both for portfolio management and trading strategies. Analysis of extreme times considered in [30] (also as a significant quantity of FPT) is closely related to at least two challenging problems which are of great practical interest: the American option pricing and the issue of default times and credit risk. Both problems require the knowledge of first-passage times to certain thresholds. It was found that the MFPT versus the threshold level can be represented as a power law. Thus the usefulness of FPT approach to financial times series analysis has been proven.

3.2. Agent-based modelling

Agent-based modelling (ABM) opens the possibility for describing the phenomena and processes occurring on financial markets (and not only) at ab initio level. In general, the market modelling is one of the challenges of modern econophysics [31, 32, 33, 34, 35, 36]. The main purpose of market modelling is to reveal the laws and underlying processes of market behavior supplying (as one of the results) some signatures or warnings of upcoming extreme events or crashes.

Agent-based models, also called computational economic models, are widely exploited, for instance, in economics (Ausloos et al., 2015 [37]; Farmer and Foley, 2009 [38]), sociology (Macy and Willer, 2002 [39]) and in the environmental sciences (Billari et al., 2006 [40]). A thorough review was made from the econophysics point of view in 2014 year in the collective review publication entitled: *Econophysics of Agent-Based Models* edited by Abergel, Aoyama, Chakrabarti, Chakraborti, and Ghosh [41].

The hallmark of ABMs is the coupling of individual and collective degrees of freedom of the analyzed system that is, its micro- and macroscales. The former is represented by individual agents, while the latter one by the system as a whole (or its macroparts). Frequently, agents are divided into two completely different groups: stabilizing (e.g., fundamentalists or rebalancers) and destabilizing market activity (e.g., chartists, noise traders or portfolio insurers). The competition between them can be a source of long-range and long-term nonlinear correlations, critical phenomena and fat-tailed distributions.

Firstly, a few inspiring canonical models belonging to the field of portfolio analysis are presented. The pione-

ering Kim-Markowitz (KM) agent-based model [42, 43] was inspired by the stock market crash of 19th October 1987, when DJIA decreased by more than 20% per day. This model confirmed by numerical simulation a common observation that strategies of portfolio insurers (and not that of rebalancers) destabilize financial markets. This model has raised hopes for the promising agent-based modelling capabilities.

Besides, the Levy-Levy-Solomon (LLS) model [44] was developed to consider the risk-averse investors having arbitrary long memory. The LLS model describes the spontaneous periodicity of the market, its booms and crashes. Although the results obtained depend significantly on the initial conditions assumed, the model has demonstrated (by numerical simulation) that the wealth available on the market (in the form of shares and bonds) will, after sufficiently long time, be taken over by a group of investors equipped with a long memory (one hundred steps back in simulation). This outcome is in line with expectations.

An extremely popular model describing the evolution of the market, going beyond the aforementioned portfolio analysis category is the Lux-Marchesi (LM) model [45]. It is able to correctly describe many stylized facts, for example: volatility clustering, power-law distribution of returns, and long-term autocorrelation of absolute returns. This model is based on the concept of mutual exchange and interaction between different groups of investors (i.e. chartists and fundamentalists) and on the process of price adjustments with a demand-supply imbalance. Additionally, chartists are divided into optimists and pessimists - the competition between them as well as with fundamentalists create an effective opinion of agents leading to strong interconnection of chartists amount with the price amplitude. This interconnection is responsible for the observed large market fluctuations. A similar influence of portfolio insurers is observed within the Kim-Markowitz model. The technical disadvantage of the LM model is the large number of free parameters in the model involved.

A very important category of models describing the behavior of financial markets, and inspired by models drawn from physics, are primarily Ising-like on complex networks, whose prominent example is the Iori numeric model [46]. The agent is represented here by three-state spin vector, where state +1 means buying a stock, -1 selling, while 0 means inactive state. Obviously, the agent activity is limited by amount of his capital however, his activity has still a probabilistic character with threshold. Besides, the market maker is present guarding the liquidity of the market. The price in this model depends not only on the ratio of the supply of securities to their demand but also on the available securities volume. This

multiparameter model managed to describe all the stylized facts (i.e. volatility clustering of returns, the positive correlation between volatility and trading volume, the power-law decay of autocorrelation).

The above models inspired the econophysicists in a significant way. The first model that grew out of this society and was characterized by a small number of parameters was the Cont-Bouchaud (CB) model [47] based on a discrete percolation phenomenon – a phenomenon previously analyzed in the field of chemistry and statistical physics, condensed matter physics and mathematics. A year later, Dietrich Stauffer also used percolations to model the behavior of financial markets [48].

As a part of the CB model, neighboring network nodes form a cluster making collectively investment decisions in a probabilistic manner. Therefore, it can be said that this model is based on the so-called lattice-gas model isomorphic with canonic Ising model. The market price is (as usual) a function (here exponential) of the difference between demand and supply. This type of approach is very flexible, generating (depending on the input probability) either Gaussian distributions or various types of power-laws distributions – both observed on financial markets.

The next interesting ABM is the Bornholdt spin model [49, 50] primarily designed to recreate the price dynamics in short time horizons. Similarly to the KM and LM models, it assumes that there are two types of investors on the market: fundamentalists and noisy traders. The fundamentalists only respond to price changes, making the market price as close as possible to the fundamental value of stock. The mutually interacting noisy traders take the probabilistic decisions to buy or sell the stocks depending on the market situation. This situation is described by the local, time-dependent threshold function of influence having a threshold character. The size of this threshold is connected linearly with the volume. In this model, the interacting traders are responsible for non-Gaussian behavior of the market. The Bornholdt model describes a lot of stylized facts: power-law return distributions, volatility clustering, positive correlation between volatility and volume, and self-similarity between volatilities on various time scales. Unfortunately, the shape of the absolute-returns autocorrelation function is not a power law herein.

Although the ABMs circumscribed above are valuable and useful, none of them were used to model the interevent-time statistics so much significant in a study of correlations on financial markets. In 2014 the model of so-called cunning agents was developed [51], which reproduces not only stylized facts but also empirical statistics of interevent times. One can say that we are dealing with a cunning agent if he accepts a position, for example,

a long one indicating the willingness to buy additional items and informs his neighbors about it, but in fact, simultaneously sells the possessed assets. The situation is similar in the short and neutral position. Recently, a model appeared [52], which starting from the level of stochastic dynamic equations, was able to reproduce mentioned above the empirical statistics of interevent times.

The interesting extension of the Geometrical Brownian Motion was made by Dhesi and Ausloos [53] who introduced so-called the Irrational Fractional Brownian Motion model. They re-examined agent behaviour reacting to time dependent news on the log-returns thereby modifying a financial market evolution. Authors specifically discuss the role of financial news or economic information as a positive or negative feedback of such irrational (or contrarian) agents upon the price evolution. A kink-like effect reminiscent of soliton behaviour was observed, suggesting how forecasts uncertainty induces stock prices. This way they proposed a measure of irrational force in a market, which seems to be a very significant for understanding the dynamics of stock market.

It should be emphasized that agent-based models, along with network models, have gained immense popularity not only in the society of econophysicists but also sociophysicists.

4. Phase transitions, catastrophic and critical phenomena

Phase transitions, catastrophic and critical phenomena have long been studied both in the framework of econo- and sociophysics (see, for instance, [54, 55]). However, phase transition of the global financial system observed at the end of 2008 deserves the special attention. This is because it was just after the bankruptcy of Lehman Brother [56]. The signature of this transition is a sharp increase in the susceptibility/sensitivity of the system to the negative global shock with an initially well-defined epicenter focused on mortgage backed securities. This shock was the source of the observed cascade of defaults or a succession of problems associated with the most prominent global institutions (belonging to the banking, insurance and mortgage sectors). This cascade caused crash on the stock market and the subsequent panic among economical institutions from the global ('too-big-too-fall') to the local ones – leading many of the latter to bankruptcy.

The model developed in paper [56] is, in essence, a simplified discrete correlated random walk of walkers (or firms) on the ladder consisting of the effective credit rating grades (ECRGs), where the firm either remains at a given ECRG or change its value by one (with blocking

boundary condition at top and the bottom of the ladder). By using the statistical-mechanic partition function based on the Ising-like sociological influence function, the conditional single-step probability for each firm is constructed in the exponential form. This partition function contains the field of panic taking into account the firm's bankruptcy. For simplicity, the direct coupling between firms is a random variable drawn from the Gaussian distribution. This model exhibits a critical behaviour that is, the second-order phase transition at well-defined critical point. Besides, the phenomenon of spontaneous symmetry breaking is observed (by the increasing the number of bankruptcies) due to the nonvanishing of the panic field. The model offers the phase diagrams and enables the system time evolution. This is the first so complete model in the field although earlier more sociophysical oriented models by Schweitzer et al. were published [57].

One should also mention works that still raise controversy regarding the presence of bifurcation on the stock exchange or, more generally, phase transformations of the first order. The related issue of the critical and catastrophic slowing down phenomenon are the most refined indicators of whether a system is approaching a critical point or a tipping point – the latter being a synonym for the catastrophic threshold located at a catastrophic bifurcation transition. The still open problem raised by Scheffer et al. [58] is whether early-warning signals in the form of a critical or catastrophic slowing down phenomena (such as those observed in multiple physical systems) are present on financial market. The possibility of existence of the above-mentioned early-warning signals was highlighted in publication of Kozłowska et al. [59] and refs. therein.

A microscopic approach to macroeconomic features has always been a challenge [60] and refs therein. A birth-death lattice gas model for macroeconomic behavior under heterogeneous spatial economic conditions takes into account the influence of an economic environment on the fitness and concentration evolution of the economic entities. The reaction-diffusion model can be also mapped onto a high order logistic map. The role of the selection pressure along various dynamics (with entity diffusion on a square symmetry lattice) has been studied by Monte-Carlo simulation. The model leads to a sort of phase transition for the fitness gap as a function of the selection pressure and to cycles. The scalar control parameter is a sort of a “business plan”. The business plan(s) allows for spin-offs or merging and enterprise survival evolution law(s), once bifurcations, cycles and chaotic behavior are taken into account.

The problem whether a power-law or an exponential law describes better the distribution of occurrences of economic recession periods is significant not only

for econo- and sociophysics but primarily for socio-economical science and life. In order to clarify the controversy a different set of GDP data were examined in [61] for example. The conclusion about a power law distribution of recession periods seems to be more reliable though the matter is not entirely settled. The case of prosperity duration is also studied and it is found to follow also a power law. Considering that the economy is basically a bistable system (recession/prosperity) a characteristic (de)stabilisation time is possible to quantitatively derive.

5. Significant elements of global economy

The global economy has its source in important connections (dependences, interactions, influences, etc) between countries and regions [62]. An international trade is a glaring example of this. Obviously, the globalization is one of the central processes of our age. The common perception of such process is that, due to declining communication and transport costs, distance becomes less and less important. However, the distance coefficient in the economical gravity model of trade [63] (which grows in time) indicates paradoxically that the role of distance becomes a more important. In the paper [62] it was shown that the fractality of the international trade system (ITS) provides a simple solution for this globalization puzzle. It was argued that the distance coefficient corresponds to the fractal dimension of ITS and not to the Cartesian distance.

The world economic conditions evolve and are quite varied on different time and space scales. This evolution forces developing of macroeconomic entities within a geographical type of framework [64, 65]. For the firm fitness evolution a constraint is taken into account such that the disappearance of a firm modifies the fitness of nearest neighboring ones (as in Bak-Sneppen population fitness evolution model [66]). The concentration of firms, the averaged fitness, the regional distribution of firms, and fitness for different time moments, the number of collapsed, merged and new firms as a function of time have been recorded and are discussed. A power law dependence, signature of self-critical organization, is seen in the firms' birth and collapse asymptotic values for a high selection pressure (control parameter) only. A lack of self-organization is also seen at region borders. The research and market modeling of companies is still one of the main goals of econophysics.

6. Contemporary sociophysics

The systematic research on society that gives rise to the modern sociology is mainly due to the work of Quetelet [67] (see also [68]). Today it is clear that only a compre-

hensive approach to economic phenomena and processes, including both psychology, social psychology and sociology, enables the description and understanding of the mechanisms governing socio-economic life (including also financial markets). This was shown convincingly in 2006 in the collective work [69]. We are increasingly attempting to understand the emotional nature of human activity and activity of human communities. This emotional component can be seen particularly clearly in cyberspace – this has been well presented in the collective work entitled: *Cyberemotions. Collective Emotions in Cyberspace*, edited by Janusz A. Hołyst [70]. This type of interdisciplinary approach to the complex socio-economic reality is extremely inspiring, stimulating and promising. In this context, we should say about the role of the Sznajd model ('united we stand, divided we fall' – USDF model) [71, 72]. It has become credible thanks to its success in predicting the result of elections in Brazil, opening the way for contemporary sociophysics. The Sznajd model easily introduces the possibility of obtaining a consensus by exchanging opinions between members of a given community. It is based on the Ising model with characteristic social interaction – it is by far the most exploited by sociophysicists toy model with the cluster-like ever-growing number of different variants. A complementary, important model that should also be mentioned here is the Bonabeau model [73] showing how hierarchies are created in a given community. Let us add that currently the study of various hierarchical structures, cascades, and networks is fashionable and very advanced [74, 75].

The social impact is one of the most important and the most common social phenomena. The dynamical theory of this impact proposed in 1990 [76] gave rise to a huge stream of works. The sociophysicists have made a significant contribution to the development of this trend. Today, this type of modeling is a canonical component of the sociophysics without which one cannot imagine an advanced analysis of the societies' behavior.

The attempts made by physicists to understand so-called social "forces" have lasted at least since the mid-1970s [77]. Quite interestingly, the source of social force is attributed to technological innovation made by competing goods and new population. Another view about quantifying social forces (found in [78]) pretends that they result as coupling to some external fields.

The role of emotions in opinion dynamics mentioned above was used in a variant of the ABM complementary to the Sznajd model. The combination of information and emotions interplay was used successfully to predict the results of Polish election in 2015 [79, 80]. This is the prominent evidence of the practical use of sociophysical modeling.

Let us add that the collective work entitled: *Why Society is a Complex Matter* edited by Philip Ball in 2012 [81] also played a prominent role in the development of contemporary sociophysics. This collective work pointed to sociophysics as a new kind of science. There the Helbing's work [82] (see also [83]) has shown a crucial role of information and communication technology for society.

It should be noted that in the last decade issues related to the evolution of cultures (including linguistics) have been continuing to represent an attractive, intriguing course of research [84, 85, 86, 87, 88]. A key tool for modeling this evolution is the Axelrod model and its various variants [84].

The Axelrod model [89] is defined by stochastic process which, similarly to the voter model, contains a social interaction between nodes of a network, but unlike the voter model also accounts for homophily. The aim of the model is to describe and explain macroscopic observations in real-world social networks, based on simple microscopic rules. These microscopic rules are also inspired by empirical observations or concluded from sociology or psychology. Every node of the network is described, in the frame of the model, by a vector of traits representing internal degrees of freedom. The idea behind the model was simple – to explain cultural diversity observed in societies, despite the fact that people become more alike within a face to face interaction. Therefore, Axelrod asked why eventually all differences do not disappear? In his model the vector of traits describes culture of an individual (regional society or nation) in a sense of habits, beliefs, religion, language, hobbies, views, etc. During the evolution two individuals become more similar to each other, unless they stay different. This is a crucial observation leading to an interesting result, because only that one can obtain frozen (or equilibrium) states. Depending on the initial conditions, simulations can end in one of the states: in a homogeneous state with a monoculture or heterogeneous with many small subcultures, called 'domains'. The coexistence of these many different subcultures is a main result, confirming the possibility of existence of heterogeneous societies, despite people become more and more similar.

The model gained interest among physicists a few years later [90] along with the discovery of the phase transitions between homogeneous and heterogeneous states (continuous or discontinuous types). To make the model more realistic, it was extended to complex networks with very different topologies [91] as well as to dynamic complex networks. Moreover, this latter issue was addressed in [92], where different rewiring mechanisms were analyzed. It was then possible to obtain real-world features, like power-law degree distribution or high va-

lues of clustering coefficient. Besides, it was shown that a key to the proper scaling of the number of languages is triadic closure – type of rewiring proved to be very important in social networks [93].

A “degree of freedom” in a population is also the religion adhesion. The pioneering work on such adhesion aspect, in fact similar to market/company growth and market share influence, was published almost a decade ago [94]. The observed features and some intuitive interpretations point to opinion based models with vector like agent rather than scalar ones (many degrees of freedom instead of one). This supports the assumption of the Axelrod approach.

It is worth to mention also the works from the borderline of econo- and sociophysics regarding household incomes (especially in the European Union and the United States). The approach based on the stationary solution of the reinterpreted Fokker-Planck equation turned out to be particularly useful [95, 96]. This approach allowed to describe the distribution of income of all three social classes: low income, medium and high income well reproducing the Pareto laws (with different Pareto exponents) for the last two classes.

Concerning the wealth distribution, one of the most interesting outputs is the generic existence of a phase transition, separating a phase where the total wealth of a very large population is concentrated in the hands of a finite number of individuals (condensation phenomenon) from a phase where it is shared by a finite fraction of the population [97]. The rich phase diagram was examined in [98], in which both open and closed Pareto macroeconomics were studied. The wealth condensation takes place in the social phases both for closed (with the fixed total wealth) and open (with the fixed mean wealth) macroeconomy. The wealth condensation takes place also in the liberal phase for super-open macroeconomy (it was proved, indeed, in [97]). It was found that in the first two cases of macroeconomy, the condensation is related to the mechanism known from the balls-in-boxes model, while in the last case, to the fat tails of the Pareto distribution. Besides, for a closed macroeconomy in the social phase, the emergence of a “corruption” phenomenon was pointed out. A sizeable fraction of the total wealth is always amassed by a single individual. In publications cited above the dependence of Pareto exponents on microscopic parameters of the model was found. This is an achievement useful both for theoreticians and practitioners in social sciences.

Recently, several studies were published [99] (and refs. therein) which have given better insight into how birth is affected by exogenous factors. Especially, the adverse conditions (e.g. famines, epidemics, earthquakes, droughts, floods, etc.) temporarily affect the conception

capacity of populations, thus producing birth rate troughs nine months after mortality waves. The challenge here is the discovery of the birth rate patterns and their interpretation. A promising step in this direction was made in paper [99], where several important patterns were found and discussed.

7. Challenges and warnings

It is already known that the analysis should take into account the feedback between econophysics and sociophysics (including socio-psychology and even psychology of leaders and the policy of the state). Even roughly approximated modelling of reality should take into account the rivalry of the rational multicomponent with irrational one. The interdependence and networking of elements of socio-economical complex systems constitute (within econo- and sociophysics) the basis for the research even if the available empirical data is dirty and uncertain. The researchers realize that they are affecting the problems generated by complex systems. This complexity is the source of emergent phenomena and processes, including catastrophic and critical ones (on a macroscale). This may result in a dichotomy of descriptions within the micro- and macroscales. It is understand that, for example, breaking the principle of ergodicity may lead to the impassable barrier creating a dichotomy in the statistical description of socio-economical reality. That is, phenomena and processes in the macro scale mainly result from the properties of the system as a whole (especially when the system stays in a critical state) and not only from the behavior and properties of individual objects forming the system in the microscale. The understanding the role of dependency or correlation, causality, and coevolution or adaptation in markets or the complexity of markets and emerging phenomena and processes, become one of the greatest challenges for modern research of a socio-economical reality [100, 101, 102]. However, the econophysicists discoveries has miserable impact on the main stream works of financial economy (see Jovanovic and Schinckus [103]).

Finally, we must say about an event that puts a shadow on mathematics and financial physics as a great warning and a lesson for all of us. The portfolio analysis in the nineties of the previous century was based, in fact, on the canonical option pricing formula of Black-Scholes-Merton (BSM) derived in the canonical paper [104]. The BSM formula was derived mainly assuming that the prices of basic financial instruments, on which options were issued, are subject to the geometrical Brownian motion, while considered options are risk-neutral. As for the trend, its constant growth would be driven by investors constantly seeking arbitrage opportunities.

Based on this theoretical approach, the hedge fund Long-Term Capital Management (LTCM) was created in year 1994; the key people behind LTCM were Myron S. Scholes and Robert C. Merton – the Nobel Prize winners.

Although initially successful (for three consecutive years) with annualized return of over 20% netto, from August to September 1998 (short after the Asian financial crisis in 1997 and 1998 Russian financial crisis) LTCM lost, however, about 4.5 miliard (US billion) dollars severely disrupting global markets for several months. This was the consequence of violating the key assumptions of the theory in new market circumstances and neglecting the constant verification of these assumptions. Besides, used by LTCM leverage of portfolio composition has reached an unbearable ratio of debt-to-equity as 25:1. An in-depth systematic econophysical analysis of this subject, and especially issues related to market risks, was provided in year 2001 by Jean-Philippe Bouchaud and Marc Potters in the book *Theory of Financial Risks. From Statistical Physics to Risk Management* [105].

As a warning, we should also mention that the giant financial pyramid was discovered in 2008 by financial supervision. It was created by Bernard Madoff (co-founder and former chairman of the NASDAQ stock exchange operating today) as part of his elite *Madoff Investment Securities* hedge fund. The fraudulent fund led approximately 13,500 shareholders (including reputable banks and financial institutions) to roughly 35 billion USD in losses. As a result, Madoff spent the rest of his life in prison.

It must be clearly stated that we live in an increasingly risky society which is particularly vulnerable to extreme types of risk – both market and systemic [106]. Concerning the financial sector, among all possible extreme phenomena, indeed crashes are presumably the most striking events with an impact and frequency that has been increasing in the last two decades increasing the risk of market activity extremely. Understanding what is happening as well as risk control and management is an urgent challenge for investors and researchers alike.

Literatura

- [1] Ryszard Kutner, Marcel Ausloos, Dariusz Grech, Tiziana Di Matteo, Christophe Schinckus, and H. Eugene Stanley: ‘Econophysics and sociophysics: Their milestones & challenges’, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 516, 240-253 (2019)
- [2] *Physica A*, VSI: “Econophysics and sociophysics in turbulent world”, Marcel Ausloos, Dariusz Grech, Tiziana Di Matteo, Ryszard Kutner, Christophe Schinckus, and H. Eugene Stanley (Eds.)
- [3] Entropy, SI open access: “Three Risky Decades: A Time for Econophysics?”, Ryszard Kutner, Christophe Schinckus, and H. Eugene Stanley (Eds.)
- [4] R. Kutner: *Kamienie milowe & wyzwania ekonofizyki a także socjofizyki cz. 1*, *Postępy Fizyki* 73 (1), 11 (2022).
- [5] A.L. Bárabási, *Network Science*, (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2017).
- [6] R.N. Mantegna and H.E. Stanley, *An Introduction to Econophysics. Correlations and Complexity in Finance*, (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2002).
- [7] F. Chin, D. Houck, *Algorithms for updating minimal spanning trees*, *J. Comp. System Sciences* 16(3), 333 (1978).
- [8] R.N. Mantegna, *Hierarchical structure in financial markets*, *Eur. Phys. J. B* 11(1), 193 (1999).
- [9] P.L. Graham, P. Hell, *On the history of the minimum spanning tree problem*, *Annals Hist. Comp.*, 7(1), 43 (1985).
- [10] H. Yaman, O.E. Karşan, M.Ç. Pinar, *The robust spanning tree problem with interval data*, *Oper. e research Lett.* 29, 31 (2001).
- [11] Th. Kirschstein, S. Liebscher, C. Becker, *Robust estimation of location and scatter by pruning the minimum spanning tree*, *J. Multivariate Anal.* 120, 173 (2013).
- [12] A. Sienkiewicz, T. Gubiec, R. Kutner, and Z.R. Struzik, *Structural and topological phase transition on the German Stock Exchange*, *Physica A* 392, 5963 (2013).
- [13] M. Tumminello, T. Aste, T. Di Matteo and R. N. Mantegna, *A tool for filtering information in complex systems*, Edited by H. Eugene Stanley, *PNAS* 102, 10421 (2005).
- [14] T. Aste, T. Di Matteo, and S. T. Hyde, *Complex networks on hyperbolic surfaces*, *Physica A* 346, 20 (2005).
- [15] T. Aste, R. Gramatica, and T. Di Matteo, *Exploring complex networks via topological embedding on surfaces*, *Phys. Rev. E* 86, 036109 (2012).
- [16] Won-Min Song, T. Di Matteo, and T. Aste, *Hierarchical information clustering by means of topologically embedded graphs*, *PLoS One* 7(3), e31929 (2012).
- [17] F. Pozzi, T. Di Matteo and T. Aste, *Spread of risk across financial markets: better to invest in the peripheries*, *Scientific Reports* 3, 1665 (2013).
- [18] N. Musmeci, T. Aste, and T. Di Matteo, *Relation between financial market structure and the real economy: comparison between clustering methods*, *PLoS ONE* 10(3), e0116201 (2015).
- [19] N. Musmeci, T. Aste, and T. Di Matteo, *Risk diversification: a study of persistence with a filtered*

- correlation-network approach*, J. Network Theory in Finance 1(1), 1 (2015).
- [20] R. Morales, T. Di Matteo, and T. Aste, *Dependency structure and scaling properties of financial time series are related*, Scientific Reports 4 (2014) 4589. DOI: 10.1038/srep04589.
- [21] R. J. Buonocore, T. Di Matteo, and R. N. Mantegna, *On the interplay between multiscaling and cross-correlation*, (2017) arXiv:1802.01113 [q-fin.ST].
- [22] N. Musmeci, T. Aste, and T. Di Matteo, *Interplay between past market correlation structure changes and future volatility outbursts*, Scientific Reports 6, 36320 (2016).
- [23] T. Aste and T. Di Matteo, *Sparse causality network retrieval from short time series*, Complexity 2017, Article ID 4518429, 13 pages(2017).
- [24] M. Gligor and M. Ausloos, *Convergence and cluster structures in EU area according to fluctuations in macroeconomic indices*, Journal of Economic Integration 23(2), 297-330 (2008).
- [25] M. Gligor and M. Ausloos *Cluster structure of EU-15 countries derived from the correlation matrix analysis of macroeconomic index fluctuations*, Eur. Phys. J. B 57 (2), 139-146 (2007)
- [26] *Econophysics of Systemic Risk and Network Dynamics* edited by F. Abergel, B.K. Chakrabarti, A. Chakraborti, and A. Ghosh, (Springer-Verlag, London 2013)
- [27] Y. Malevergne and D. Sornette, *Extreme Financial Risks. From Dependence to Risk Management*, (Springer-Verlag, Heidelberg 2006).
- [28] *Uncertainty and Risk. Mental, Formal, Experimental Representations*, M. Abdellaoui, R.D. Luce, M.J. Machina, and B. Munier (Eds) (Springer-Verlag, Heidelberg 2007).
- [29] J. Masoliver and J. Perelló, *First-passage and risk evaluation under stochastic volatility*, Phys. Rev. E 80, 016108 (2009).
- [30] J. Masoliver and J. Perelló, *Extreme times for volatility processes*, Phys. Rev. E 75, 046110 (2007).
- [31] R. Cont, *Empirical Properties of Asset Returns: Stylized Facts and Statistical Issues*, Quant. Finance 1, 223 (2001).
- [32] J.-P. Bouchaud, *The Endogenous Dynamics of Markets: Price Impact, Feedback Loops and Instabilities in Lessons from the 2008 Crisis*, edited by A. Berd (Risk Books, Incisive. Media, London, 2011).
- [33] A. Abergel, J.-P. Bouchaud, Th. Foucault, Ch. Lehalle, and M. Rosenbaum *Market microstructure. Confronting many viewpoints*, (J. Wiley and Sons, 2012).
- [34] F. Slanina, *Essentials of Econophysics Modelling*, (Oxford University Press, Oxford 2014).
- [35] D. Sornette, *Physics and financial economics (1776-2014): Puzzles, Ising and agent-based models*, Reports on Progress in Physics 77 (6): 062001 (2014).
- [36] Ch. Schinckus, *1996-2016: Two decades of econophysics: Between methodological diversification and conceptual coherence*, Eur. Phys. J. Special Topics 225, 3299 (2016).
- [37] M. Ausloos, H. Dawid, and U. Merlone, *Spatial Interactions in Agent-Based Modeling in Complexity and Geographical Economics: Topics and Tools*, P. Comendatore, S. Kayam, I. Kubin (Eds.), (Springer-Verlag, Heidelberg 2015), p. 353.
- [38] J.D. Farmer and D. Foley, *The economy needs agent-based modelling*, Nature 457, 957 (2009).
- [39] M.W. Macy and R. Willer, *From Factoras to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling*, Annu. Rev. Sociol. 28 (2002) 143.
- [40] F.C. Billari, Th. Fent, A. Prskawetz, J. Scheffran, (Eds.) *Agent-Based Computational Modelling. Applications in Demography, Social, Economic and Environmental Sciences*, (Springer-Verlag, Heidelberg 2006).
- [41] F. Abergel, H. Aoyama, B.K. Chakrabarti, A. Chakraborti, A. Ghosh (Eds.) *Econophysics of Agent-Based Models*, (Springer-Verlag, 2013).
- [42] G. Kim, H. Markowitz, *Investment Rules, Margin, And Market Volatility*, Journal of Portfolio Management 16, 45-52 (1989).
- [43] E. Samonidou, E. Zschischang, D. Stauffer, T. Lux, *Microscopic models of financial markets*, Rep. Prog. Phys. 70, 409 (2007).
- [44] M. Levy, H. Levy, and S. Solomon, *A microscopic model of stock market: cycles, booms and crashes*, Econ. Lett. 45, 103 (1994).
- [45] T. Lux and M. Marchesi, *Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of financial markets*, Nature 397, 498 (1999).
- [46] G. Iori, *Avalanche dynamics and trading friction effect on stock market returns*, Int. J. Mod. Phys. C 10, 1149 (1999).
- [47] R. Cont, J.-P. Bouchaud, *Herd behaviour and aggregate fluctuations in financial markets*, Macroekon. Dyn. 4, 170 (2000).
- [48] D. Stauffer, *Percolation models of financial market dynamics*, Adv. Complex Syst. 4 19 (2001).
- [49] S. Bornholdt, *Expectation bubbles in a spin model of markets: intermittency from frustration across scales*, Int. J. Mod. Phys. C 12 667 (2001).
- [50] T. Kaizoji, *Speculative bubbles and crashes in stock markets: an interacting-agent model of speculative activity*, Physica A 287 493 (2000)

- [51] M. Denys, T. Gubiec, and R. Kutner, *Reinterpretation of Siczka-Hołyst financial market model*, Acta Phys. Pol. A 123(3) 513 (2013).
- [52] V. Gontis, *Interplay between Endogenous and Exogenous Fluctuations in Financial Markets*. Acta Phys. Pol. A 129, 1023 (2016).
- [53] G. Dhesi and M. Ausloos, *Modelling and Measuring the Irrational behaviour of Agents in Financial Markets: Discovering the Psychological Soliton*, Chaos Solitons & Fractals 88, 119 (2016).
- [54] N. Vandewalle, M. Ausloos, Ph. Boveroux, A. Minguet, *How the financial crash of 1987 could have been predicted*, Eur. Phys. J. B 4 (1998) 139.
- [55] N. Vandewalle, Ph. Boveroux, A. Minguet, and M. Ausloos, *The crash of October 1987 seen as a phase transition: amplitude and universality*, Physica A 225(1), 201 (1998).
- [56] P. Siczka, D. Sornette, and J. Hołyst, *The Lehman Brothers effect and bankruptcy cascades*, Eur. Phys. J. B 82: 257 (2011).
- [57] F. Schweitzer, G. Fagiolo, D. Sornette, F. Vega-Redondo, A. Vespignani, and D.R. White, *Economic Networks: The New Challenges*, Science 325, 422 (2009).
- [58] M. Scheffer, J. Bascompte, W.A. Brock, V. Brovkin, S.R. Carpenter, V. Dakos, H. Held, E.H. van Nes, M. Rietkerk, and G. Sugihara, *Early-warning signals for critical transitions*, Nature 461, 53 (2009).
- [59] M. Kozłowska, M. Denys, M. Wiliński, G. Link, T. Gubiec, T.R. Werner, R. Kutner, and Z.R. Struzik, *Dynamic bifurcations on financial markets*, Chaos, Solitons and Fractals 88, 126 (2016).
- [60] M. Ausloos, P. Clippe, J. Miśkiewicz, and A. Pękalski, *A (reactive) lattice-gas approach to economic cycles*, Physica A 344, 1 (2004).
- [61] M. Ausloos, J. Miśkiewicz, and M. Sanglier, *The durations of recession and prosperity: does their distribution follow a power or an exponential law?*, Physica A 339, 548 (2004).
- [62] M. Karpiarz, P. Fronczak, and A. Fronczak, *International Trade Network: Fractal Properties and Globalization Puzzle*, Phys. Rev. Lett. 113, 248701 (2014).
- [63] J.M.C. Santos Silva and T. Silvana, *The Log of Gravity*, Rev. of Economics and Statistics 88 (4), 641 (2006).
- [64] M. Ausloos, P. Clippe, and A. Pękalski, *Model of macroeconomic evolution in stable regionally dependent economic fields*, Physica A 337, 269 (2004).
- [65] M. Ausloos, P. Clippe, and A. Pękalski, *Evolution of economic entities under heterogeneous political/environmental conditions within a Bak-Sneppen-like dynamics*, Physica A 332, 394 (2004).
- [66] P. Bak and K. Sneppen, *Punctuated equilibrium and criticality in a simple model of evolution*, Phys. Rev. Lett. 71(24), 4083 (1993).
- [67] A. Quetelet, *Mémoire sur les lois des naissances et de la mortalité à Bruxelles*, Nouveaux mémoires de l'Académie royale des sciences et belles-lettres de Bruxelles 1826, 3: 495 (in French).
- [68] A. Quetelet, *Sur l'homme et le développement de ses facultés, ou Essai de physique sociale*, Guillaumin et Cie, Paris, 1835.
- [69] B.K. Chakrabarti, A. Chakraborti, and A. Chatterjee, *Econophysics and Sociophysics. Trends and Perspectives*, (Viley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, Weinheim 2006).
- [70] *Cyberemotions. Collective Emotions in Cyberspace*, J.A. Hołyst (Ed.), Springer Complexity (Springer International Publishing Switzerland 2017).
- [71] K. Sznajd-Weron and J. Sznajd, *Opinion evolution in closed community*, Int. J. Mod. Phys. C 11, 1157 (2000).
- [72] D. Stauffer, *Sociophysics: the Sznajd model and its applications*, Comp. Phys. Comm. 146(1), 93 (2002).
- [73] E. Bonabeau, G. G. Theraulaz, J. L. Deneubourg, *Phase diagram of a model of self-organizing hierarchies*, Physica A 217, 373 (1995).
- [74] D. Pumain, *Hierarchy in Natural and Social Sciences*, (Springer-Verlag, 2006).
- [75] R. Paluch, K. Suchecki, and J.A. Hołyst, *Models of random graph hierarchies*, Eur. Phys. J. B 88: 216 (2015).
- [76] A. Nowak, J. Szamrej, B. Latané, *From Private Attitude to Public Opinion: A Dynamic Theory of Social Impact*, Psychological Review 97(3), 362 (1990).
- [77] E.W. Montroll, *Social dynamics and the quantifying of social forces*, Proc. Nat. Acad. Sci. USA 75, 4633 (1978).
- [78] M. Ausloos, *Another Analytic View about Quantifying Social Forces*, Advances in Complex Systems 16, 1250088 (2013).
- [79] P. Sobkowicz and A. Sobkowicz, *Two-Year Study of Emotion and Communication Patterns in a Highly Polarized Political Discussion Forum*, Social Science Computer Review May 6 (2012).
- [80] P. Sobkowicz, *Quantitative Agent Based Model of Opinion Dynamics: Polish Elections of 2015*, Plos One May 12 (2016).
- [81] *Why Society is a Complex Matter. Meeting Twenty-first Century Challenges with a New Kind of Science. With a contribution of Dirk Helbing*, P. Ball (Ed.) (Springer-Verlag, Berlin 2012).
- [82] D. Helbing, *New Ways to Promote Sustainability and Social Well-Being in a Complex, Strongly Interdependent World: The FuturICT Approach in Why Society*

- is a Complex Matter. *Meeting Twenty-first Century Challenges with a New Kind of Science*, (Springer-Verlag, Berlin 2012) p. 55.
- [83] D. Helbing, I. Farkas, and T. Vicsek, *Simulating dynamical features of escape panic*, *Naturew* 407, 487 (2000).
- [84] C. Castellano, S. Fortunato, and V. Loreto, *Statistical Physics of Social dynamics*, *Rev. Mod. Phys.* 81, 591 (2009)
- [85] Th. Gross and B. Blasius, *Adaptive coevolutionary networks: a review*, *J. Royal Soc. Interface* 5, 259 (2008).
- [86] M. Perc, J.J. Jordan, D. Rand, Zhen Wang, S. Boccaletti, and A. Szolnoki, *Statistical physics of human cooperation*, *Phys. Rep.* 687, 1 (2017).
- [87] V. Loreto, A. Baronchelli, A. Mukherjee, A. Puglisi, and F. Tria, *Statistical physics of language dynamics*, *J. Stat. Mech.: Theory and Experiment* 2011, P04006 (2011).
- [88] Sch. Christian and D. Stauffer, *Recent developments in computer simulations of language competition*, *Computing in Science & Engineering* 8, 60 (2006).
- [89] R. Axelrod, *The dissemination of culture: A model with local convergence and global polarization*, *J. Conflict Res.* 41, 203 (1997).
- [90] C. Castellano, M. Marsili, and A. Vespignani, *Nonequilibrium phase transition in a model for social influence*, *Phys. Rev. Lett.* 85, 3536 (2000).
- [91] K. Klemm, V.M. Eguiluz, R.Toral, and M. San Miguel, *Nonequilibrium transitions in complex networks: A model of social interaction*, *Phys. Rev. E* 67, 026120 (2003).
- [92] T. Raducha and T. Gubiec, *Coevolving complex networks in the model of social interactions*, *Physica A* 471, 427 (2017).
- [93] M.A.L. Chavira and R. Marcelin-Jiménez, *Distributed rewiring model for complex networking: The effect of local rewiring rules on final structural properties*, *Plos One* 12(11), e0187538 (2017).
- [94] M. Ausloos and F. Petroni, *Statistical dynamics of religions and adherents*, *Europhys. Lett.* 77(3), 38002 (2007).
- [95] V.M. Yakovenko and J.B. Rosser, *Colloquium: Statistical mechanics of money, wealth, and income*, *Rev. Mod. Phys.* 81, 1707 (2009).
- [96] M. Jagielski and R. Kutner, *Modelling of income distribution in the European Union with the Fokker-Planck equation*, *Physica A* 392(9), 2130 (2013).
- [97] J.-P. Bouchaud and M. Mezard, *Wealth Condensation in a simple model of economy*, *Physica A* 282, 536 (2000).
- [98] Z. Burda, D. Johnston, J. Jurkiewicz, M. Kaminski, M.A. Nowak, G. Papp, and I. Zahed, *Wealth condensation in Pareto macroeconomies*, *Phys. Rev. E* 65, 026102 (2002).
- [99] C. Hertellu, P. Richmond, and B.M. Roehner, *Deciphering the fluctuations of high frequency birth rates*, *Physica A* 509, 1046 (2018).
- [100] T. Aste and T. Di Matteo, *Introduction to Complex and Econophysics Systems: A Navigation map, in Complex Physical, Biophysical and Econophysical Systems* in *World Scientific Lecture Notes in Complex Systems*, edited by Robert L. Dewar & Frank Detering (World Scientific, Singapore 2010), Vol. 9, Chap. 1, pp. 1-35.
- [101] R. J. Buonocore, N. Musmeci, T. Aste, and T. Di Matteo, *Two different flavours of complexity in financial data*, *Eur. Phys. J. Special Topics* 225, 3105 (2016).
- [102] N. Musmeci, V. Nicosia, T. Aste, T. Di Matteo, and V. Latora, *The Multiplex Dependency Structure of Financial Markets*, *Complexity*, vol. 2017, Article ID 9586064, 13 pages, 2017, doi:10.1155/2017/9586064 (arXiv:1606.04872).
- [103] F. Jovanovic, Ch. Schinckus, *Econophysics and Financial Economics. An Emerging Dialogue*, (Oxford Univ. Press, Oxford, 2017).
- [104] F. Black, M.S. Scholes, and R.C. Merton, *The Pricing of Options and Corporate Liabilities*, *Journal of Political Economy* 81, 637 (1973).
- [105] J.-Ph. Bouchaud and M. Potters, *Theory of Financial Risks. From Statistical Physics to Risk Management*, (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2001).
- [106] Y. Malevergne and D. Sornette, *Extreme Financial Risks. From Dependence to Risk Management*, (Springer-Verlag, Heidelberg, 2006).

Badanie antymaterii z atomową precyzją

Łukasz Kłosowski^{(1)*}, Georgy Kornakov^{(2)**}, Mariusz Piwiński^{(1)***}, Tomasz Sowiński^{(3)****}

⁽¹⁾ Instytut Fizyki, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu

⁽²⁾ Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej

⁽³⁾ Instytut Fizyki PAN

Abstrakt. Badanie antymaterii to jedno z najbardziej fascynujących zagadnień współczesnej fizyki. Trwający od kilku dziesięcioleci bezprecedensowy rozwój technik doświadczalnych z pogranicza fizyki atomowej i jądrowej pozwala obecnie nie tylko wytwarzać antymaterialne cząstki, ale również je w sposób kontrolowany gromadzić, przechowywać i używać jako niezwykle precyzyjne narzędzia badawcze. Jednym z fundamentalnych pytań, na które wciąż nie znamy satysfakcjonującej odpowiedzi, jest to, czy współczesna teoria oddziaływań grawitacyjnych prawidłowo opisuje również świat antymaterialny. Odpowiedzi na to pytanie szuka międzynarodowy zespół AEgIS w CERN w Genewie, w skład którego wchodzi grupa polskich badaczy z Torunia i Warszawy. Zasadniczym celem tego ambitnego programu badawczego jest sprawdzenie z atomową precyzją, jak wygląda swobodny spadek w polu grawitacyjnym Ziemi obiektów zawierających antymaterialne składniki.

Słowa kluczowe: antymateria, spadek swobodny, słaba zasada równoważności, CERN

Abstract. The study of antimatter is one of the most fascinating issues in modern physics. The recent unprecedented development of experimental techniques in atomic and nuclear physics now makes it possible not only to produce antimaterial particles, but also to collect, store and use them in a controlled manner as extremely precise research tools. One of the fundamental questions still remaining without a satisfying answer is whether the contemporary theory of gravity describes correctly also the antimaterial world. Answering this question is on the agenda of AEgIS – the international team at CERN in Geneva including a group of Polish researchers from Toruń and Warsaw. The fundamental goal of this ambitious research program is to verify with atomic precision a free fall in the Earth's gravitational field of objects containing antimaterial components.

Keywords: antimatter, free fall, weak equivalence principle, CERN

Współczesna fizyka atomowa narodziła się na przełomie XIX i XX wieku na skutek niesamowitego postępu technologicznego pozwalającego badać oddziaływanie materii z promieniowaniem z bardzo dużą dokładnością. W parze z kolejnymi sukcesami eksperymentalnymi szły przełomowe koncepcje teoretyczne, które naprzemiennie albo wyprzedzały doświadczalne osiągnięcia, albo próbowały tłumaczyć nowe, jeszcze niewytłumaczone rezultaty badań. Cały postęp w tamtym okresie był związany z rodzącymi się właśnie dwoma filarami nowoczesnej fizyki, które całkowicie zmieniły nasze rozumienie Przyrody, tj. teorii względności oraz mechaniki kwantowej.

Teoria względności (TW) daje spojrzenie na wszelkie zagadnienia fizyczne w najszerszej możliwej skali. Określa ramy w jakich należy opisywać różne zjawiska tak, aby opis był wewnętrznie spójny i zgodny z zasadą przyczynowości, tzn. że skutek nie może poprzedzać przyczyny. Jedną z jej konsekwencji jest zrozumienie, że pojęcia takie jak czas i przestrzeń nie są absolutne, a ich percepcja

zależy od ruchu obserwatora. Bardziej dogłębne przeanalizowanie tych ogólnych zasad doprowadziło Einsteina do wniosku, że w ramach TW (po pewnych uogólniających modyfikacjach) należy również opisywać wszelkie zjawiska grawitacyjne. Wynika to z faktu, że żadne lokalne pomiary nie pozwalają na odróżnienie jednorodnych sił grawitacji od pozornych sił bezwładności związanych z ruchem przyspieszonym. Obrazowo mówiąc, masa jako miara bezwładności, o której mówi II zasada dynamiki Newtona, jest tą samą masą, która występuje w prawie powszechnego ciężenia określającym oddziaływanie grawitacyjne. Tym samym Einstein zamknął raz na zawsze historyczną klamrą najróżniejsze rozważania i dywagacje, których źródłem była słynna zasada równoważności Galileusza stwierdzająca, że wszystkie ciała muszą spadać z tym samym przyspieszeniem niezależnie od tego, jaka jest ich masa, budowa czy struktura wewnętrzna. Pozostało jedynie ostateczne sprawdzenie doświadczalne, że tak jest w istocie. W następnych latach zostało to potwierdzone we wszystkich możliwych skalach, od atomowych po astronomiczne.

Druga teoria, która odmieniła sposób, w jaki rozumiemy działanie otaczającego nas świata, to mechanika kwantowa. Teoria ta w swoim założeniu została stworzona po to, aby opisywać subtelne zjawiska zachodzące

*ORCID: 0000-0002-5463-5381

**ORCID: 0000-0002-3652-6683

***ORCID: 0000-0001-5847-2578

****ORCID: 0000-0002-7970-4371

w skalach atomowych. Sformułowanie nowej teorii było konieczne, ponieważ próba wyjaśnienia obserwowanych faktów w ramach klasycznej mechaniki i elektrodynamiki prowadziła wprost do absurdalnych wniosków. Początkowo mechanikę kwantową budowano wykorzystując bardzo uproszczone modele, w ramach których mówiło się o pojedynczych fotonach czy pojedynczych atomach zbudowanych z pojedynczych protonów i elektronów. Jej kolejne sukcesy, w wyjaśnianiu zjawisk wcześniej niewyjaśnialnych, były inspiracją do podejmowania wyzwań, tj. rozwiązywania coraz to trudniejszych problemów zarówno na gruncie teoretycznym, jak i doświadczalnym. W końcu abstrakcyjne, matematyczne sformułowanie mechaniki kwantowej i zastosowanie jej do opisu układów wielociałowych pozwoliło dostrzec, że w Przyrodzie mogą zachodzić bardzo subtelne zjawiska, które albo z jakiegoś powodu nie są realizowane, albo są na tyle ulotne, że ich doświadczalne zaobserwowanie wymaga dużo bardziej dokładnej aparatury.

Oczywiście fizycy natychmiast postawili sobie za cel sprawdzenie, czy te całkowicie teoretyczne przewidywania mechaniki kwantowej są prawdziwe. To doprowadziło do spektakularnego rozwoju technik doświadczalnych, które dość szybko (choć w sposób zupełnie niezaplanowany) znalazły przełożenie na nasze codzienne życie. Wraz z pierwszym wymuszeniem akcji laserowej stało się jasne, że potencjalnie badania podstawowe mogą gruntownie przeformułować główne problemy technologiczne i tym samym zmienić nasze codzienne życie. Doświadczamy tego każdego dnia, przy każdej czynności wspomaganą wszelkimi urządzeniami elektronicznymi. Ich działanie to bezpośrednie, namacalne przejawy zjawisk zachodzących na mikroskali, których ujarzmienie było możliwe tylko dzięki temu, że sformulowano abstrakcyjny opis zjawisk kwantowych.

Obie wspomniane fundamentalne teorie fizyczne sprawiły, że w ostatnich stu latach rozwój ludzkości był wielokrotnie szybszy niż kiedykolwiek w historii. Od momentu ich sformułowania panowało przekonanie, że mechanika kwantowa — jako teoria bardziej szczegółowa, koncentrująca się na konkretnych zjawiskach, opisująca jedynie fragmenty rzeczywistości — musi być w jakimś stopniu uzgodniona z TW — teorią o bardzo fundamentalnych postulatach. To był jeden z głównych powodów, dla którego podejmowano próby sformułowania mechaniki kwantowej w takim języku, aby była całkowicie zgodna z teorią względności. Jedną z pierwszych udanych prób była teoria Diraca z 1928 roku — pierwszy kwantowo-mechaniczny, a zarazem relatywistyczny opis dynamiki pojedynczego elektronu w zewnętrznym polu elektromagnetycznym. Zaraz po jej matematycznym sformułowaniu Dirac zauważył, że samo żądanie, aby opis był zgodny z teorią względności prowadzi wprost do pewnych nietry-

wialnych przewidywań w opisie kwantowym, jak choćby istnienie spinu — niezbywalnej, klasycznie niewytłumaczalnej, wewnętrznej własności cząstki, która determinuje jej nieintuicyjne zachowanie w polu elektromagnetycznym. Zrozumienie, czym jest spin, pozwoliło ujarzmić zjawisko spinowego rezonansu magnetycznego jąder atomowych i nieoczekiwanie znalazło zastosowanie w bezinwazyjnym obrazowaniu wewnętrznych struktur naszych ciał. Każdego roku, tylko w Polsce takie badanie wykonuje się kilkaset tysięcy razy. Bez dogłębnego zrozumienia czym jest spin, nie da się prawidłowo wytłumaczyć, skąd bierze się magnetyzm substancji.

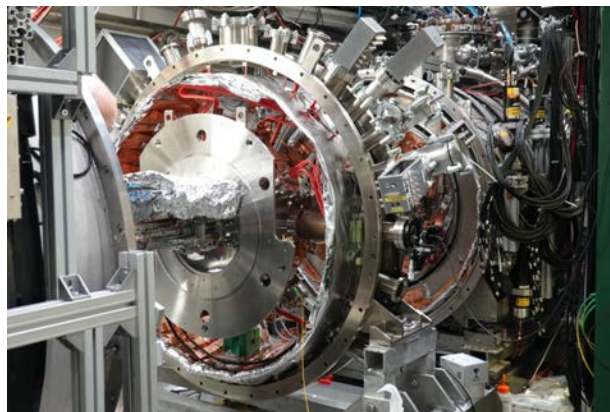
Inną, chyba najbardziej zaskakującą konsekwencją zapisania praw mechaniki kwantowej w sposób zgodny z teorią względności jest przewidywanie istnienia antymaterii. Jeśli tylko elektron podlega prawom relatywistycznej mechaniki kwantowej, to musi istnieć również antyelektron (zwany pozytonem), czyli cząstka o tej samej masie, ale przeciwnym ładunku elektrycznym. Elektron z pozytonem przyciągają się siłami elektrycznymi i gdy tylko się spotkają, to znikają (anihilują), a ich masa zamienia się na energię promieniowania elektromagnetycznego, zgodnie z najsłynniejszym einsteinowskim równaniem $E = mc^2$. To, wydawałoby się całkowicie kuriozalne przewidywanie relatywistycznej teorii Diraca, zostało pierwszy raz potwierdzone w roku 1932 w eksperymencie Carla Andersona, który zaobserwował pozytony w komorze mgłowej. Od tego czasu doświadczalnie odkryliśmy wiele różnych antycząstek, a istnienie antymaterii okazało się tak samo prawdziwe, jak istnienie „naszej” materii, z której jest zbudowane wszystko, co nas otacza. Zrozumienie jej różnych własności, elementarnych oddziaływań jakim podlega, jej wpływu na otaczający nas świat, a także na ewolucję całego Wszechświata jest od tamtego czasu jednym z najważniejszych kierunków badań współczesnej fizyki. Największą przeszkodą w prowadzeniu tych badań jest natomiast fakt, że wciąż z niezrozumiałych w pełni przyczyn, wszystko co nas otacza zbudowane jest przede wszystkim z materii. Antymaterialne cząstki (przynajmniej w naszej części Wszechświata) obserwujemy bardzo sporadycznie, głównie gdy powstają w wyniku zderzeń wiatru słonecznego z ziemską atmosferą, albo w wyniku spontanicznych rozpadów jąder atomowych.

Precyzyjne badanie różnych własności cząstek antymaterialnych wymaga zbudowania wydajnego źródła, które będzie je produkowało i dostarczało wręcz na żądanie. Z uwagi na to, że chcemy dokładnie zbadać nie tylko same antycząstki, ale również większe struktury, w które mogą się łączyć (np. atomy, cząsteczki), potrzebne jest źródło antycząstek cięższych niż pozyton. Najważniejszą z nich jest oczywiście antyproton — najlżejszy, stabilny, antymaterialny barion, podstawowy składnik jąder ato-

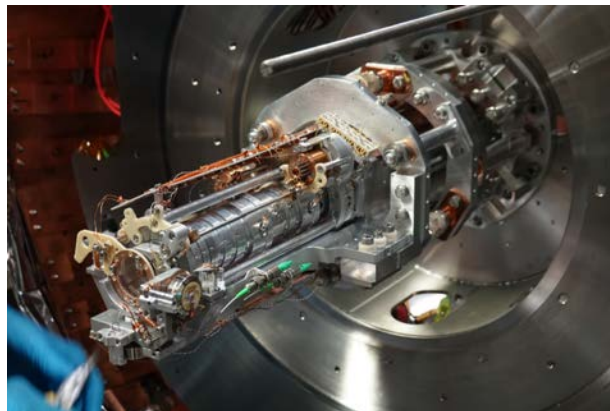
mowych. Wytworzenie antyprotonu wcale nie jest proste. W sytuacji, gdy mamy do dyspozycji tylko materię, może on powstać jedynie w wyniku zderzenia rozpędzonych do niebotycznych prędkości protonów z cięższymi jądrami atomowymi. W takim przypadku może dojść do zjawiska odwrotnego niż wspomniana wcześniej anihilacja — uwolniona w zderzeniu energia może zostać przekształcona na parę proton–antyproton. Jeśli wyprodukowany w takim procesie ujemnie naładowany antyproton zostanie przechwycony za pomocą zewnętrznego pola elektromagnetycznego i będzie odpowiednio kontrolowany, to jego kontakt z materialnym światem nie będzie możliwy. Tym samym otrzymamy stabilny antyproton, który może być wykorzystany do dalszych badań. Taka właśnie technika zastosowana jest w Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (CERN, ang. *European Organization for Nuclear Research*, franc. *Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire*) pod Genewą, gdzie w kompleksie AD (ang. *Antiproton Decelerator*) jest uruchomione jedno z najbardziej wydajnych źródeł antyprotonów, które następnie są spowalniane w deceleratorze ELENA (ang. *Extra Low Energy Antiproton*). W każdej minucie pracy urządzenie jest w stanie produkować kilkanaście milionów antyprotonów, które następnie są dystrybuowane do różnych eksperymentów dedykowanych precyzyjnym badaniom ich własności.

Jednym z projektów w kompleksie AD jest międzynarodowy eksperyment AEgIS (ang. *Antimatter Experiment: Gravity, Interferometry, Spectroscopy*), w którym biorą udział również polscy naukowcy z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Politechniki Warszawskiej oraz Instytutu Fizyki PAN. Zasadniczym celem tego eksperymentu jest precyzyjne sprawdzenie wspomnianej już galileuszowskiej zasady równoważności dla antymaterialnej części Przyrody. W tym celu dostarczone antyprotony zostaną przechwycone i uwięzione w pułapce magnetycznej. Następnie w sposób kontrolowany zostaną połączone z pozytonami, tak aby powstały elektrycznie neutralne atomy antywodoru, czyli atomy najlżejszego pierwiastka z antymaterialnej tablicy Mendelejewa. Jeśli zasada Galileusza jest prawdziwa (a przypomnijmy, że jest to również jeden z bezpośrednich wniosków ogólnej teorii względności Einsteina), to atomy antywodoru powinny spadać w polu grawitacyjnym Ziemi dokładnie tak samo, jak atomy „zwykłego” wodoru. Bardzo prawdopodobny jest oczywiście wynik pozytywny, gdyż jak do tej pory, w ramach powszechnie uznawanych teorii, nie ma żadnych przesłanek wskazujących na to, że antymateria zachowuje się w polu grawitacyjnym inaczej niż materia. Zatem jakiegokolwiek odstępstwo od tej równoważności będzie wymagało przeformułowania naszego sposobu postrzegania Przyrody. Rozwój fizyki to nieustanne próby doświadczalnego podważania lub niezależnego po-

twierdzenia wcześniej ugruntowanych i sprawdzonych twierdzeń. Sam fakt, że zasada równoważności Galileusza nie była dotąd zadowalająco dobrze sprawdzona dla antymaterii, jest dla fizyków wystarczającym bodźcem do podjęcia takiego wyzwania.



Ryc. 1. Centralna część aparatury AEgIS w trakcie montażu w komorze próżniowej. Na osi układu umieszczona została pułapka Penninga-Malmberga. Na zewnątrz widoczne są uzwojenia elektromagnesu 5T wraz z przewodami obsługującymi detektory monitorujące tworzenie atomów antywodoru i innych atomów antyprotonowych. Podczas eksperymentu całość będzie znajdowała się w ultrawysokiej próżni (ciśnienie sto bilionów razy mniejsze niż ciśnienie atmosferyczne) (fot. Georgy Kornakov, AEgIS Collaboration)



Ryc. 2. Elektrody pułapki Penninga-Malmberga, w której będzie przetrzymywana zimna mieszanina ujemnych jonów atomowych i antyprotonów. Właśnie w jej wnętrzu, w wyniku kontrolowanych zderzeń, będą tworzone atomy antywodoru, a w późniejszych etapach egzotyczne średniociężkie atomy antyprotonowe (fot. Georgy Kornakov, AEgIS Collaboration)

Niezależnie od końcowego wyniku, eksperyment AEgIS przeniesie nasze rozumienie podstawowych praw fizyki na kolejny poziom. Albo będziemy zmuszeni je całkowicie przeformułować, albo przekonamy się, że są one jeszcze bardziej fundamentalne, niż dotąd uważaliśmy. Do tego dochodzi jeszcze inna, równie ważna wartość dodana eksperymentu AEgIS. Prowadzony z atomową dokładnością, w pełni powtarzalny eksperyment będzie niezwykle precyzyjnym i unikatowym narzędziem pozwalającym wytwarzać, kontrolować i wykonywać pomiary antymaterii. To może otworzyć drogę do badania

nie tylko innych antymaterialnych atomów czy cząsteczek (np. cząsteczki antywodoru H_2), ale również bardziej egzotycznych obiektów będących stanami związanymi materii i antymaterii. Do tej grupy należą atomy antyprotonowe, tzn. atomy, w których jeden lub kilka krążących wokół jądra elektronów zastąpionych zostaje antyprotonami. Ich najprostszym przedstawicielem jest protonium, czyli wodoropodobny atom składający się z jednego protonu i jednego antyprotonu. Zadaniem polskich naukowców pracujących w eksperymencie AEGIS jest rozbudowa eksperymentu w taki sposób, aby możliwe było wytworzenie oraz badanie cięższych atomów antyprotonowych (zawierających kilkadziesiąt lub na-

wet ponad sto nukleonów w jądrze), w których zamiana orbitującego elektronu na prawie 2000 razy cięższy antyproton nie wpływa zasadniczo na dynamikę samego jądra, ale istotnie zmienia własności elektronowe takiego egzotycznego atomu. Pierwsze wyniki dotyczące badania zasady równoważności w eksperymencie AEGIS oczekiwane są w połowie 2023 roku.

Udział polskich naukowców w eksperymencie AEGIS jest wspierany w ramach projektu dofinansowanego przez Ministra Edukacji i Nauki na podstawie umowy nr 2022/WK/06.

Szkodliwe wspomnienia o płynie Lugola

Dariusz Aksamit*

Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej

Abstrakt. Zajęcie 26 lutego 2022 Czarnobylskiej Strefy Wykluczenia¹ przez rosyjskie wojska dokonujące inwazji na Ukrainę wywołało w naszym społeczeństwie panikę strachu przed promieniowaniem jonizującym, co objawiło się wykupieniem z aptek zapasu płynu Lugola. Przy tej okazji warto przyjrzeć się nie tylko aspektom fizycznym i biologicznym reagowania na różnego rodzaju zagrożenia radiacyjne, ale także zastanowić się nad rolą, jaką może w takich sytuacjach odegrać społeczność fizyków.

Słowa kluczowe: płyn Lugola, dezinformacja, komunikacja naukowa, rosyjska inwazja na Ukrainę, Czarnobyl, skażenie promieniotwórcze

Abstract. On February 26th 2022, the occupation of the Chernobyl Exclusion Zone by the Russian troops invading Ukraine caused a panic of fear of ionizing radiation in our society, which resulted in the purchase of a supply of Lugol's fluid from pharmacies. On this occasion, it is worth considering not only the physical and biological aspects of responding to various types of radiation threats, but also the role that the physicists community can play in such situations.

Keywords: Lugol's solution, disinformation, science communication, Russian invasion of Ukraine, Chernobyl, radioactive contamination

1. Początek paniki

W czwartek 24.02.2022 o godzinie czwartej nad ranem czasu polskiego wojska rosyjskie rozpoczęły inwazję na Ukrainę. Dzień później, w piątek 25.02.2022 Rosjanie przejęli kontrolę nad Czarnobylską Strefą Wykluczenia, biorąc personel elektrowni za zakładników. To zdarzenie wywołało lawinę doniesień medialnych zarówno w mediach tradycyjnych, jak i w mediach społecznościowych, które – w i tak już bardzo nerwowej atmosferze – zawoocowały paniką strachu przed skażeniem promieniotwórczym. Mierzalnym objawem tej paniki był znaczny wzrost zainteresowania kupnem płynu Lugola – portal GdziePoLek.pl między 24/25 lutego odnotował wzrost zainteresowania wyszukaniem tego produktu w aptekach o ponad 31 000%! Sama sprzedaż preparatu w ciągu jednej doby również wzrosła lawinowo – liczba aptek, które danego dnia sprzedały przynajmniej jedno opakowanie, wzrosła z typowych 6% do 31%. Dane te dotyczą wyłącznie aptek podłączonych do systemu GdziePoLek.pl – nie udało mi się dotrzeć do danych ogólnopolskich, z rozmów telefonicznych z hurtowniami farmaceutycznymi wynika bowiem, że takie dane nie są publicznie dostępne, jednak uzyskałem potwierdzenie, że na przełomie lutego i marca w hurtowniach farmaceutycznych zabrakło płynu Lugola. Dopiero po trzech tygodniach,

bliżej połowy marca, zainteresowanie sprzedażą i sama sprzedaż wróciły do średniej sprzed wybuchu wojny.

Samo hasło o walkach w Strefie Wykluczenia wystarczyło, aby wywołać panikę, ale zostało dodatkowo wzmacnione informacją o „wzroście poziomu promieniowania” odnotowanym przez system automatycznego monitoringu radiacyjnego na terenie elektrowni i Strefy.

Faktycznie do takiego wzrostu doszło, co szybko wyjaśniono wzbiciem pyłu z głębszych warstw gruntu, zawierającego głównie większe ilości cezu ¹³⁷Cs, na skutek ruchu ciężkiego sprzętu wojskowego np. transporterów opancerzonych. Wzrost mocy dawki na wykresie w ujęciu procentowym wyglądał spektakularnie, ale wartości bezwzględne już nie – maksymalny poziom promieniowania wynosił około 60 μ Sv/h i ograniczony był do małych regionów Strefy.

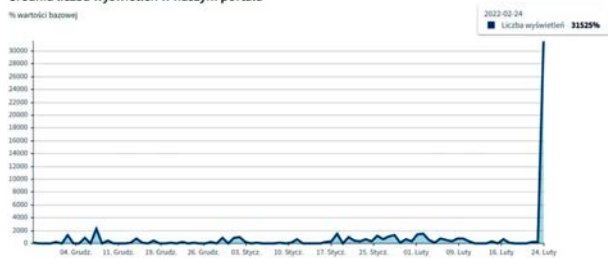
2. Jaki sens ma suplementacja jodu?

Pomysł, aby spożywać na własną rękę płyn Lugola, ma źródło we wspomnieniach z końca kwietnia 1986, gdy po awarii reaktora w Czarnobylu, wobec zagrożenia radiacyjnego o nieznaną skalę, ówczesne władze podjęły 29 kwietnia decyzję o masowym podaniu preparatu jodu populacji, ze szczególnym uwzględnieniem dzieci. Z braku dostępności jodu w tabletkach zdecydowano o populacyjnym podaniu płynu Lugola, w tym 95% stanowiły dzieci, dostarczając w ciągu 24 godzin 18,5 miliona dawek na terenie kraju.

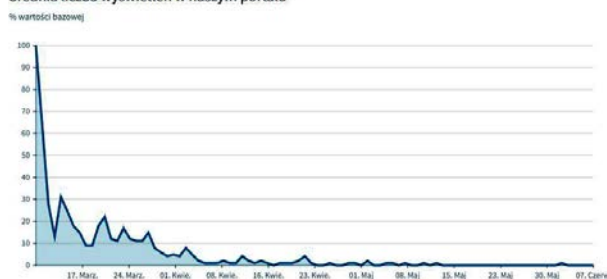
*ORCID: 0000-0003-3468-9232

1. Zamknięta strefa ponad 2000 km² wokół czarnobylskiej elektrowni jądrowej, obejmująca tereny najbardziej dotknięte skutkami katastrofy w 1986 roku (przyp. red.).

Średnia liczba wyświetleń w naszym portalu



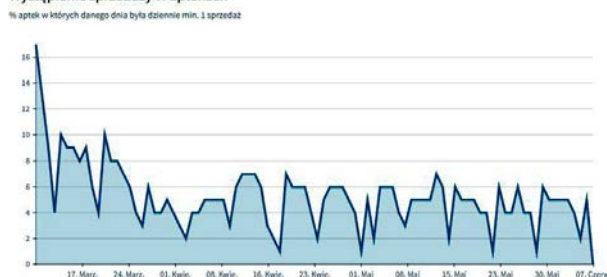
Średnia liczba wyświetleń w naszym portalu



Wystąpienie sprzedaży w aptekach



Wystąpienie sprzedaży w aptekach



Pytania o płyn Lugola i sprzedaż w aptekach w lutym i w marcu 2022 (źródło: GdziePoLek.pl)

Celem tej awaryjnej procedury było doprowadzenie w organizmach ludzi do nadpodaży stabilnego jodu, aby zablokować wychwyty radiojodu przez tarczycę. Niestety akcji podania jodu nie towarzyszyła kampania edukacyjna, w efekcie czego w społeczeństwie wytworzyło się błędne skojarzenie „jod – ochrona przed promieniowaniem”. Podanie stabilnego jodu może chronić tylko przed wchłonięciem radiojodu, ale jest bezużyteczne w przypadku innych radioizotopów; co więcej, uderzeniowa dawka jodu nie pozostaje obojętna dla organizmu.

Niestety skutkiem ubocznym takiej nadpodaży jodu jest wywołanie efektu Wolffa–Chaikoffa, w efekcie którego czasowo ustaje wydzielanie hormonów tarczycowych T3 i T4, tj. odpowiednio trójjodotyroniny i tyroksyny, które biorą udział w wielu szlakach metabolicznych w organizmie. Nadmiar jodu może prowadzić zarówno do nadczynności, jak i niedoczynności tarczycy, a niektórzy sugerują, że również może przyczyniać się do chorób autoimmunologicznych (Hashimoto).

Sama zasadność podania stabilnego jodu w warunkach awaryjnych może być kwestionowana [9]; badania wykazały, że „blokada” wchłaniania jodu przy podaniu jodku potasu po godzinie od wchłonięcia radioaktywnego jodu wynosi 85%, po trzech godzinach 50%, a po sześciu godzinach efekt ochronny jest zaniedbywalny. Rachunek zysków i strat nie jest zatem oczywisty; przy tym dyskusja jest w ogóle bezprzedmiotowa w sytuacji braku radiojodu w powietrzu.

Rachunek na poziomie liceum pozwala wykazać, że skoro okres połowicznego rozpadu jodu ^{131}I wynosi 8,02 dnia, to od katastrofy w Czarnobylu 26.04.1986 do zajęcia przez rosyjskie wojsko Strefy Wykluczenia 26.02.2022 mi-

nęło 13 090 dni, czyli nieco ponad 1632 okresy połowicznego rozpadu tego radioizotopu. Korzystając z prawa rozpadu naturalnego możemy obliczyć, że:

$$N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} = \frac{N_0}{2^{1632}} \cong N_0 \cdot 5 \cdot 10^{-492} \cong 0,$$

czyli z pewnością możemy powiedzieć, że w środowisku wokół elektrowni nie pozostał żaden atom radiojodu wyemitowanego w trakcie katastrofy w Czarnobylu (1986).

04.03.2022 wojska rosyjskie dokonały bezprecedensowego ataku na Zaporoską Elektrownię Jądrową oraz rozpoczęły okupację miasta Energodar, w którym mieszka personel tego obiektu. Elektrownia Zaporozże jest największą elektrownią jądrową na naszym kontynencie – składa się z sześciu reaktorów jądrowych WWER-1000 o mocy 950 MW każdy. Ponieważ na skutek ostrzału doszło do pożaru na terenie elektrowni, ponownie wróciło pytanie o zasadność spożywania płynu Lugola, gdyby doszło do uszkodzenia pracującego reaktora.

Na szczęście budynek, w którym wybuchł pożar był budynkiem szkoleniowym – nie doszło do uszkodzenia części jądrowej obiektu. Ponieważ reaktory tej elektrowni posiadają żelbetowe obudowy bezpieczeństwa, nie jest możliwe ich uszkodzenie przypadkiem, nawet z użyciem broni pancerniej, dopiero celowy atak pociskami burzącymi mógłby naruszyć obudowę bezpieczeństwa. Czy w takiej, abstrakcyjnej i praktycznie nieprawdopodobnej sytuacji, powinniśmy suplementować jod, skoro może pojawić się skażenie jodem ^{131}I ? Ponownie **nie**, po pierwsze ze względu na niewielkie stężenie jodu, który mógłby po kilku dniach dotrzeć do Polski, ale również ze względu

na fakt, że w przeciwieństwie do roku 1986, obecnie w Polsce nie występują populacyjne niedobory jodu; zalecana dzienna dawka jodu według WHO wynosi 150 mikrogramów i odkąd w 1996 roku wprowadzono w Polsce ustawowo suplementację jodu poprzez jodowanie soli kuchennej, populacyjne niedobory zniknęły.

Pomijając samą zasadność suplementacji, warto podkreślić jeszcze jeden aspekt – płyn Lugola dostępny w aptece bez recepty nie jest preparatem przeznaczonym do spożycia. Zgodnie z ulotką nadaje się on wyłącznie do użytku zewnętrznego: do dezynfekcji ran powierzchownych, otarć, zmian skórnych w obrębie narządów płciowych. Płyn Lugola, który nadaje się do spożycia, sporządzany jest przez farmaceutę na receptę wystawioną przez endokrynologa. Wtedy dawkowanie preparatu odbywa się zgodnie z zaleceniami lekarza. Samodzielne przyjmowanie preparatu może doprowadzić do przedawkowania jodu w przypadku przekroczenia 20-krotności dziennego zapotrzebowania, czyli około 2 mg/dzień.

Podsumowując: nie było, nie ma i nie będzie potrzeby przyjmowania płynu Lugola. Dziecięce wspomnienia o jego ochronnym działaniu przeciwradiacyjnym są błędne, a samodzielne przyjmowanie tego preparatu może powodować negatywne skutki zdrowotne.

3. Jak zachować się w wypadku rzeczywistego zagrożenia?

Właściwa reakcja na zagrożenie wymaga przede wszystkim zrozumienia jego istoty. Dlatego ogólną radą jest obserwowanie strony Państwowej Agencji Atomistyki, prowadzącej monitoring radiacyjny kraju oraz uprawnionej do wydawania zaleceń w sytuacji zagrożenia radiacyjnego. W zależności od poziomu skażenia i występujących w nim izotopów, PAA może sugerować czasowe pozostanie w domu i zaniechanie wietrzenia pomieszczeń, a przy przebywaniu na zewnątrz stosowanie masek filtrujących i odzieży szczelnie pokrywającej ciało, ewentualnie powstrzymanie się od spożywania określonej żywności na danym terenie. Jednakże populacyjne podawanie środków farmakologicznych nie wydaje się prawdopodobne. Jedyną grupą, u której mogłoby to być uzasadnione, są osoby uczestniczące w akcji ratunkowej narażone na duże dawki promieniowania – wtedy do rozważenia byłoby podanie preparatów radioprotekcyjnych przed ekspozycją lub radiomitygacyjnymi po ekspozycji.

Podstawowych zasad ochrony radiologicznej: *zwiększ odległość, stosuj osłony, ogranicz czas ekspozycji*, ewidentnie nie stosowali rosyjscy żołnierze okupujący Czarnobylską Strefę Wykluczenia. Po wycofaniu się wojsk ze Strefy, Gwardia Narodowa Ukrainy udostępniła zdjęcia okopów wykopanych w Czerwonym Lesie

(!), tj. najbardziej skażonej części Strefy. Jednocześnie po inwentaryzacji terenu elektrowni okazało się, że z laboratoriów dozymetrycznych skradziono źródła promieniotwórcze m.in. w postaci roztworów izotopowych służących do kalibracji aparatury dozymetrycznej.

W efekcie pojawiły się doniesienia o rosyjskich żołnierzach trafiających z chorobą popromienną do szpitala w miejscowości Homel na Białorusi, gdzie funkcjonuje Republikańskie Centrum Naukowo-Praktyczne Medycyny Radiacyjnej i Ekologii Człowieka. Prawdopodobnie nie doczekamy się upublicznienia szczegółowych raportów dozymetrycznych, aby móc w pełni ocenić te wydarzenia z perspektywy ochrony radiologicznej, jednakże przytoczę anonimowo komentarz lekarza pracującego w tym szpitalu: *żołnierze, którzy stali się ofiarami choroby popromiennej, byli powoływani do służby z tak głębokich wiosek, że nawet nie wiedzieli, co to „Czarnobyl”, więc jak kazali kopać, to kopali.*

4. Jak zareagujemy w przyszłości?

Rosyjska inwazja na Ukrainę toczy się nie tylko fizycznie na polu walki, ale również wirtualnie w przestrzeni publicznej. Oprócz propagandy informacyjnej na użytek wewnętrzny i zewnętrzny oraz ataków hakerskich, składa się na nią również dezinformacja i rozsiewanie *fake news*-ów mających wywołać panikę. Aby w przyszłości w podobnych wypadkach przeciwdziałać społecznej panice, oprócz rzetelnej edukacji szkolnej potrzebne są również bieżące dobre relacje między środowiskiem naukowym, a dziennikarskim. Takie relacje, zawczasu świadomie budowane i wzmacniane, mogą być obustronnie wykorzystywane, co ułatwi dziennikarzom dostęp do rzetelnej wiedzy komentatorów oraz spowoduje rozpowszechnianie przez nich komunikatów i stanowisk organizacji specjalistycznych, takich jak np. komunikat Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej w sprawie płynu Lugola, a organizacje takie jak Polskie Towarzystwo Fizyczne mogą służyć jako platforma kontaktowa dla dziennikarzy, oferując szybko(!) merytoryczny komentarz.

Abstrahując od wojny, praktycznie każdego roku w kwietniu pojawiają się *fake news*-y na temat rzekomego zagrożenia z Czarnobyla (pożary lasu w Czarnobylskiej Strefie Wykluczenia), a także wiele innych tematów, odwołujących się do fizyki, trafia regularnie do przestrzeni publicznej; jako społeczność naukowa powinniśmy zatem spodziewać się raczej zwiększonej, a nie zmniejszonej intensywności pojawiania się takich informacji i być przygotowani do ich skutecznego odpięcia poprzez efektywną komunikację naukową ze społeczeństwem.

Źródła

- [1] Komunikat Państwowej Agencji Atomistyki z 25.02.2022; <https://www.gov.pl/web/paa/komunikat-paa-w-sprawie-doniesien-medialnych-o-sytuacji-w-czarnobylskiej-strefie-wykluczenia>
- [2] Informacje Państwowej Agencji Ukrainy ds. zarządzania Strefą Wykluczenia (Державне агентство України з управління зоною відчуження); <https://dazv.gov.ua/>
- [3] Ulotka na temat płynu Lugola; https://www.doz.pl/czytelnia/a42-Jod_i_tarczycza (dostęp: 17.06.20220)
- [4] „Sytuacja profilaktyki jodowej w Polsce w świetle ostatnich rekomendacji WHO dotyczących ograniczenia spożycia soli”, Szybiński Z., *Pediatric Endocrinology, Diabetology and Metabolism* 15 (2), 103 (2009); https://www.ign.org/cm_data/2009_Szybinski_Iodine_prophylaxis_in_Poland_in_the_light_of_the_WHO_rec_on_reduction_of_he_daily_saly_intake_ED.pdf
- [5] Zarządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dnia 24 lipca 1996 r. w sprawie zakazu produkcji i wprowadzania do obrotu w celach spożywczych niektórych rodzajów soli; <https://www.monitorpolski.gov.pl/mp/1996/s/48/462>
- [6] Cohen D.P.A., Lebsir D., Benderitter M., Souidi M. “A systems biology approach to propose a new mechanism of regulation of repetitive prophylaxis of stable iodide on sodium/iodide symporter (NIS)” *Biochimie* 162 (7), 208 (2019); <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31071356/>
- [7] Eder S., Hermann C., Lamkowski A., Kinoshita M., Yamamoto T., Abend M., Shinomiya N., Port M., Rump A. “A comparison of thyroidal protection by stable iodine or perchlorate in the case of acute or prolonged radioiodine exposure” *Arch Toxicol.* 94 (9), 32312020; <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32656655/>
- [8] Becker D. V. “Physiological basis for the use of potassium iodide as a thyroid blocking agent logistic issues in its distribution” *Bulletin of the New York Academy of Medicine* 59, (10) 1003 (1983); <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1911930/>
- [9] Grissinger, Matthew. “Look Out for Lugol’s: Error-Prevention Strategies for This Strong Iodine Solution” *P&T: a peer-reviewed journal for formulary management* 40 (7), 412 (2015); <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4495864/>
- [10] Komunikaty ukraińskiego dozoru jądrowego z 25.02.2022; <https://snriu.gov.ua/en/news/updated-information-radiation-situation-exclusive-zone> <https://snriu.gov.ua/en/news/radiation-situation-exclusive-zone>
- [11] Strona internetowa Elektrowni Jądrowej w Czarnobylu z danymi z monitoringu radiacyjnego dostępnymi online; <https://chnpp.gov.ua/en/www.srp.ecocentre.kiev.ua>
- [12] “Anticarcinogenesis and Radiation Protection 2, Intervention Procedures for Radionuclides” Adelstein S. J. s. 227-228; https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-3850-9_32

Znaczy Pogoria

Raport z rejsu fizyków i lekarzy Physculap (30.07-13.08.2022)

Zbigniew Nawrat*

Katedra Biofizyki Śląskiego Uniwersytetu Medycznego, Fundacja Rozwoju Kardiologii im. prof. Zbigniewa Religi



Papa/Oscar/Golf/Oscar/Romeo/India/Alfa – to refren szanty, którą napisałem w tym roku, a jednocześnie sposób prezentacji naszego statku. Porozumiewanie się przez radio – medium, które może wprowadzać błędy i zakłócenia, wymaga metody samonaprowadzającej na właściwą nazwę, dlatego „redundantnie” wprowadza się słowa ogólnie rozpoznawalne, by łatwo było zidentyfikować właściwą zgłoszę przekazywanej nazwy.

Rano miałem sen: pełniąc wachtę trapową widzę, że w porcie przybijają nowy znak. Podbiegam więc do nich i pytam, co ów znak oznacza. ZERO emisyjności. Do portu mogą wchodzić tylko jachty i statki o napędzie elektrycznym. Wyklócam się uparcie, że *muszą Pogorię wypuścić z portu* (wszak jedyny nasz silnik to spalinowy jak najbardziej), *bo znaku tam wcześniej nie było* ... tak energicznie, że się obudziłem. No tak, wszyscy powinniśmy się obudzić i skonstatować, że wiatr i słońce to jedyna energia do przetwarzania na ruch i inne przygody. O tym mówił dobitnie, jak na Marszałka przyznało, Konstancy z AGH, gdy wiatr dął w nasze żagle. Zgodnie z trybem wprowadzonym przez wielkiego nieobecnego – Adama Jassera – wspólna podróż żaglowcem to też kulturalna przygoda. W tym roku mieliśmy tylko 4 lekcje: 1) Asi Pajkowskiej, bo po prostu (tak o tym mówi) opłynęła

świat 2 razy (a może 3?) samotnie; 2) Zbyszka Nawrata – piszącego te słowa – bo sztuczne serce, roboty i Religa lub tylko dlatego, że, jak najbardziej, wzorem *physculapa* jest; 3) Olgi Kruszelnickiej, bo chciała uratować nam serce i co tam jeszcze z ciała wartościowego zostało; 4) Konstantego Marszałka – bo to od cienkich warstw specjalista, który nam opowiedział o tym, jak ze słońca energię pozyskać, o tym jak na podstawie wydechu zmierzyć parametry zdrowotne oraz innych wynalazkach, które źródło w cienkich warstwach mają...

Rejs fizyków i medyków oraz ich przyjaciół, sprawdzonych pod żaglami, rozpoczął się w sobotę w Loano – porcie w miejscowości wczasowej niedaleko Genui. Marina bardzo gościnna, wygodna; wieczorem większość z nas udała się na plażę, by zażyć kąpeli. Tak oczyszczeni z pyłu i smutków lądowych, przekraczania wielu granic i zaokrętowania w wyznaczonych kajutach, mogliśmy już oddać się na przechowanie, wychowanie i pływanie pogorianom.

Stała załoga jachtu. Cook Sylwek (Małachowski) witiał nas każdego dnia chrupiącym, świeżym pieczywem i potrafił podać 60 kotletów posiadając jedną patelnię wielkości szachów. Było jeszcze dwóch mechaników, którzy skromnie i pracowicie dbali, by chodziły silniki i wszelkie inne mechanizmy, dzięki którym płynął prąd, woda czy Pogoria (chief: Dariusz Kamiński). Bosman (Jakub Maciąg), codziennie w innej czapeczce, okazał się świetnym narratorem: dodawał treści wszystkim mijającym krajobrazom i osiedlom. Prywatnie krakowski rzeźbiarz, wszędobyłski archeolog i restaurator zabytków.

Pozostali funkcyjni. Kapitan Marcin (Wojtkowski) to lekarz (jak trzeba wojskowy – pięć misji jako szef medyczny w Afganistanie), niezwykle utalentowany, nagradzany na świecie jako innowacyjny ortopeda, no i lekarz okrętowy, który i tym razem miał kogo ratować. Marcin choć co najmniej pułkownikiem jest i ordynatorem, najlepiej lubi kapitański mostek. Oficerami byli: ze Śląska Tadek (Morawiec) – kapitan i chirurg stomato-

*ORCID: 0000-0003-0638-3789

log znakomity. Gdyby nie on zapomnielibyśmy wszyscy o śpiewaniu. Jego gitara, głos i chęć szczerą wzbudzały potrzebę zabrania głosu po żeglarsku (o śpiewniki zadbał Tomasz Traczyk). A wszystko to okraszone anegdotami o twórcach i odtwórcach, o żaglach i łodziach. Kapitanowie Alek (Nebelski) i Asia (Pajkowska) to najbardziej doświadczeni, światowi żeglarze. Alek z klasą i spokojem radził sobie z naszą niezdarkością i brakiem obeznania, który sznur co pociąga i dlaczego teraz. Asia to wulkan pozytywnej energii – była zawsze pierwsza na każdy alarm do żagli, pomagając każdej sierocie i temu wielkiemu żaglowcowi, była to na rei chwytając żagle lub za chwilę w pontonie, dowożąc nas do wyspy. Rozchwytywana przez wszystkich, by opowiedziała o swoich odważnych i niezwykłych wyprawach samotnych i w towarzystwie. W tym roku Asia weszła na 4/5 Mount Everestu, by pomagać innym zdobyć szczyt. Nie zdziwiłbym się, gdyby Asia planowała wyprawę dookoła świata wzdłuż południka 20 stopni (z przejściem dwóch biegunów). Był jeszcze Michał (Grzejszczyk) – pierwszy oficer, kapitan, który wiedział wszystko i z każdym chętnie dzielił się swoją wiedzą oraz doświadczeniem..

Plan wytyczaliśmy tak, by nie marnować korzystnych wiatrów. Rejs odbywał się w pięknych okolicznościach natury, przecinając ścieżki historii Napoleona czy Kolumba. Po opuszczeniu spokojnego miasteczka Loano, dopłynęliśmy do Antibes na Lazurowym Wybrzeżu, potem byliśmy na skalistej Korsyce w uroczym Calvi (gdzie trwał nabór do Legii Cudzoziemskiej), następnie na Sardynii w Alghero (znakomite cumowanie rufą i Pogoria na pocztówkach w miejscowych punktach sprzedaży pamiątek!), a w drodze powrotnej była wysepka Giannutri (ze starorzyską miejscówką wypoczynkową) i Elba (Porto Ferraio), która wszystkich zaskoczyła ofertą nurkowania. Zaliczyliśmy silniejszy wiatr, do 28 węzłów, niesamowite wschody i zachody słońca, wieczorne i ranne kąpiele w morzu, sypianie na decku (tj. pokładzie, bo gorąco).

Wachty – nawigacyjna, psia, nawigacyjna, kambuz – to rytm naszych dni i nocy. Psia wachta od północy do 4 rano. Ci co zaczynali wachkę na pokładzie o 4 rano mieli w gratisie wschód słońca. Ci co mieli wachkę gospodarczą – przygotowanie śniadania, sprzątanie wszystkiego od ko-

rytarzy do sanitariatów, wiedzieli pierwsi co na obiad. Po dwóch dniach tych zmian lepszego na gorsze, potem trochę lepsze, ale za to z pobudką o 4 rano ... każdy z nas cenił sobie każdą chwilę snu.

Po raz pierwszy nie było ojca tych naszych rejsów, kapitana Adama Jassera, z powodów zdrowotnych. To on wprowadził specyficzną kulturę żeglowania i my jesteśmy tylko jego wdzięcznymi uczniami.

Wreszcie nie byłoby tego rejsu, który powstawał przy wielu obawach (CoVid, finanse...), gdyby nie Janek Grabski, który zmobilizował fizyków do pływania na dużych żaglowcach, rzucając hasło Rejsu 100-lecia PTF, a potem organizując Rejs Fizyków i Lekarzy. Niezwykle skromny, uprzejmy, opiekował się nami każdego dnia. Polskie Towarzystwo Fizyczne od początku zaangażowało się w organizację, a on zadbał razem z armatorem o wszystko. Też o nasz drużynowy wizerunek – koszulki z logo rodzinnym Physcup. Gratulujemy i wdzięczni jesteśmy. Rejs fizyków i lekarzy nosił nazwę wymyśloną przez Anię (Srebrną), która pływa zwykle z ojcem Romualdem Kotoskim (fizyk, który zawsze robi notatki, gdzie byliśmy, więc gdyby ktoś zapomniał, to jego spytać trzeba).

Jak połączyć fizyków z lekarzami? Zaciągnąć ich na Pogorię. Physcup 2022 zostanie w naszej pamięci, a przyjaźnie będą trwały w życiu. I pewnie znowu spotkamy się za rok, jeśli będziemy mieli szczęście, i znowu, jak od wielu lat Marek (Przybylik, znany wśród załogi *człowiek, który je różnie*) zapyta *Jak zdrowie kapitana dzisiaj? A na razie, każdy w swoim porcie – komenda tak stoimy.*



Kronika Polskiego Towarzystwa Fizycznego

MAJ 2021

Wrocław. Z wielkim smutkiem Oddział Wrocławski PTF pożegnał prof. UW r. dr. hab. Bernarda Jancewicza, który był powszechnie znany wśród fizyków, nie tylko wrocławskich, a w PTF działał „od zawsze”. Odszedł wspaniały kolega, zawsze służący pomocą i dobrym słowem, oddany całym sercem Wrocławowi, Uniwersytetowi Wrocławskiemu i Polskiemu Towarzystwu Fizycznemu. Obszerne wspomnienie o Bernardzie Jancewiczu ukazało się w *Postęпах Fizyki* 72 (3), 33 (2021).

STYCZEŃ-CZERWIEC 2022

Poznań. Rok 2022 to wyjątkowo smutny czas dla poznańskiego środowiska naukowego, które pożegnało wybitnych fizyków i działaczy: prof. dr. hab. Romana Micnasa (w styczniu) – fizyka teoretyka zajmującego się materią skondensowaną, członka rzeczywistego, członka Prezydium i Dziekana Wydziału III PAN), prof. dr. hab. Stefana Jurgę (w marcu) – eksperta w zakresie spektroskopii NMR i fizyki materii miękkiej, byłego Rektora UAM, założyciela i pierwszego dyrektora Centrum NanoBioMedycznego UAM, a także członka Kapituły Nagród PTF (2018-2021), prof. dr. hab. Jana Jadźyna (w kwietniu) – specjalistę w zakresie badań właściwości dielektrycznych układów cieczowych, prof. dr. hab. Janusza Morkowskiego (w kwietniu) – eksperta w dziedzinie badań fizyki ciała stałego i magnetyzmu, byłego dyrektora IFM PAN, prof. dr. hab. Ryszarda Krzyminiewskiego (w maju) – specjalistę w zakresie fizyki medycznej, prof. UAM dr. hab. Henryka Drozdowskiego (w czerwcu) – cenionego fizyka eksperymentatora badającego układy ciekłe, popularyzatora nauki i wieloletniego przewodniczącego Oddziału Poznańskiego PTF.

STYCZEŃ 2022

Wrocław. 27.01.2022 odbyło się zebranie sprawozdawczo-wyborcze Wrocławskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Fizycznego, przeprowadzone w formie zdalnej, na platformie MS TEAMS. Ustępujący Zarząd uzyskał

absolutorium. Na nową kadencję (2022-2023) zostało ponownie wybrane Prezydium Zarządu w składzie Ewa Dębowska – przewodnicząca, Wojciech Rudno-Rudziński – sekretarz, Janusz Miśkiewicz – skarbnik; w gronie ośmiuosobowego Zarządu znalazły się dwie nowe osoby.

Wrocław. W LXXI Olimpiadzie Fizycznej udział wzięło 91 uczniów z województwa dolnośląskiego. Zawody teoretyczne II etapu odbyły się 16.01.2022, a część doświadczalna 20.02.2022 w budynku Wydziału Fizyki i Astronomii UW r.

Wrocław. Prace nadesłane w I etapie Turnieju Młodych Fizyków zostały ocenione przez dwuosobowe zespoły recenzentów, w tym pracowników Uniwersytetu Wrocławskiego, w dniach 10-23.01.2022; z wyjątkiem jednej osoby recenzentami byli członkowie PTF. Zawody półfinałowe zostały rozegrane 26.03.2022 w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie oraz Instytucie Fizyki Doświadczalnej UW r.

LUTY 2022

Wrocław. 26.02.2022 odbył się II etap XVIII edycji Otwartego Międzyszkolnego Konkursu Fizycznego im. Bożeny Koronkiewicz. Uczestników Konkursu gościł Wydział Fizyki i Astronomii UW r. Zadania konkursowe przygotowane zostały między innymi przez Ewę Dębowską, która była przedstawicielką PTF w jury oceniającym prace uczniów. Finał XVIII edycji Konkursu odbył się 08.04.2022 we wrocławskim X LO.

MARZEC 2022

Poznań. Wydział Fizyki i Wydział Filozoficzny UAM zorganizowały w dniach 4-5.03.2022 XVIII Ogólnopolską Konferencję Filozofii Fizyki. Patronat nad wydarzeniem objęły Poznańskie Oddziały Polskiego Towarzystwa Fizycznego i Polskiego Towarzystwa Filozoficznego.

KWIECIEŃ 2022

Warszawa. Zgodnie z ponad siedemdziesięcioletnią tradycją, wiosną każdego roku odbywa się finał Olimpiady Fizycznej. Po dwóch latach ograniczeń związanych

z pandemią koronawirusa, tym razem Olimpiada odbyła się w tradycyjnej formule stacjonarnej; w dniach 9-10.04.2022 zawodnicy rozwiązywali zadania finałowe, a 12 kwietnia, w budynku Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego otrzymali dyplomy i nagrody. Również wcześniejsze etapy Olimpiady odbyły się według dawnego schematu – pierwszy stopień polegał na rozwiązaniu zadań w domu, drugi stopień, zarówno jego część teoretyczna, jak i doświadczalna, odbył się w siedzibach Komitetów Okręgowych Olimpiady, czyli w 13 miastach uniwersyteckich.

Finał polegał na rozwiązaniu zadania doświadczalnego i trzech zadań teoretycznych. Zadanie doświadczalne inspirowane było zasadą działania mikroskopu sił atomowych (AFM) i polegało na wyznaczeniu zależności siły oddziaływania dwóch niewielkich magnesów neodymowych od ich odległości, uczestnicy nie mieli jednak dynamometru. Jeden magnes umiejscowiony został na elastycznej (drewnianej) linijce, drugi był stacjonarny. Należało wyznaczyć częstotliwość drgań linijki z magnesem wokół położenia równowagi, dla różnych odległości stacjonarnego magnesu od magnesu na linijce i na tej podstawie wyznaczyć szukaną zależność. Do dyspozycji zawodnicy mieli oscyloskop oraz długi przewód miedziany, który służył do zrobienia cewki.

Trzy zadania teoretyczne dotyczyły różnych dziedzin fizyki. Jedno, bardzo aktualne, polegało na wyznaczeniu okresu ruchu teleskopu Webba, umieszczonego ostatnio na orbicie okołosłonecznej w pobliżu Ziemi. Zadanie to sprawiło dużo kłopotu zawodnikom. Autor jedyne poprawne rozwiązanie dostał specjalne wyróżnienie. Dwa kolejne zadania dotyczyły klasycznych działów fizyki – równowagi naładowanych elektrycznie baniek mydlanych oraz ruchu naładowanej cząstki w zmiennym polu magnetycznym.

Zadania na drugim stopniu Olimpiady też były ciekawe i miały elementy humorystyczne. Jedno z zadań teoretycznych, dotyczące efektu Dopplera i rzutu ukośnego, sformułowane zostało w ten sposób, że będący na równinie świstak emituje dźwięk (pisk) i odbiera dźwięk odbity od nadbiegającego drapieźnika, a więc o innej częstotliwości, a następnie rzuca kamieniem w tego drapieźnika. Zadanie to zostało skrytykowane przez... biologów, bo przecież świstaki żyją w górach, a nie na równinach. Kolejne zadanie dotyczyło wyznaczenia przyspieszenia grawitacyjnego pochodzącego od półkuli o danej masie i promieniu. Półkula została opisana jak Ziemia „zgodna z symetryczną teorią, [...] z jednej strony płaska (żeby zadowolić płaskoziemców, a z drugiej okrągła (żeby zadowolić kulistoziemców)”. To zadanie ma rozwiązanie elementarne, niewymagające jawnego całkowania, jednak nikt z uczestników nie podał takiego rozwiązania. Zadanie doświadczalne na tym etapie polegało na

wyznaczeniu wartości pojemności dwóch kondensatorów i oporu opornika połączonych ze sobą w jeden obwód. Pełna treść zadań wraz z rozwiązaniami znajduje się na stronie Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej: www.kgof.edu.pl.

Nagrodami w Olimpiadzie Fizycznej były bony podarunkowe oraz książki. Laureaci trzech pierwszych miejsc dostali też inne nagrody rzeczowe. Ponadto wszyscy finaliści zostali zwolnieni z egzaminu maturalnego z fizyki uzyskując jednocześnie najwyższą ocenę.

W ubiegłych latach pierwszych pięciu laureatów otrzymywali zaproszenia do udziału w Międzynarodowej Olimpiadzie Fizycznej. W tym roku sytuacja się skomplikowała, Międzynarodowa Olimpiada Fizyczna bowiem, która miała się odbyć w Białorusi, została odwołana. Jednak w ostatniej chwili została naprędce zorganizowana w trybie zdalnym, uczestniczyła w niej polska drużyna składająca się ze zwycięzców krajowej Olimpiady Fizycznej. Laureaci pierwszych pięciu miejsc wzięli też udział w Europejskiej Olimpiadzie Fizycznej, która odbyła się w Słowenii w końcu maja tego roku.

W zawodach finałowych OF 2022 uczestniczyło 80 uczniów ze wszystkich rejonów Polski, tytuły laureatów przyznano 28 osobom; poniżej ich lista w porządku zajętych miejsc:

1. Korneliusz Piotr Obarski, Prywatne Liceum im. Królowej Jadwigi w Lublinie, nauczyciel: Piotr Kononowicz;
2. Kacper Paciorek, V Liceum Ogólnokształcące im. Augusta Witkowskiego w Krakowie, nauczyciel: Tomasz Zajac;
3. Filip Tomasz Baciak, I Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Chrzanowie, nauczyciel: Anna Oprządek, Łukasz Białas, Maciej Maruszczak;
4. Stanisław Marcin Karpiejczyk, XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Warszawie, nauczyciel: Leszek Gładczuk;
5. Mateusz Tomasz Kamiński, VI Liceum Ogólnokształcące im. Adama Mickiewicza w Krakowie, nauczyciel: Piotr Kamiński, Joanna Sobczuk;
6. Piotr Borodako, V Liceum Ogólnokształcące im. Augusta Witkowskiego w Krakowie, nauczyciel: Witold Zawadzki;
7. Antoni Buraczewski, III Liceum Ogólnokształcące im. Adama Mickiewicza we Wrocławiu, nauczyciel: Paweł Zięba, Edyta Waszak-Dobrowolska;
8. Jakub Łukasz Nowrotek, I Liceum Ogólnokształcące Dwujęzyczne im. E. Dembowskiego w Gliwicach, nauczyciel: Zbigniew Gawron;
9. Stanisław Sawicki, V Liceum Ogólnokształcące im. Augusta Witkowskiego w Krakowie, nauczyciel: Dagmara Sokołowska;

10. Piotr Jan Łaba, I Liceum Ogólnokształcące im. ONZ w Biłgoraju, nauczyciel: Krzysztof Wesołowski;
11. Tomasz Piotr Grewenda, Uniwersyteckie I Liceum Ogólnokształcące im. Juliusza Słowackiego w Chorzowie, nauczyciel: Patryk Wolny;
12. *(*ex aequo*) Michał Piotr Lipiec, V Liceum Ogólnokształcące im. Augusta Witkowskiego w Krakowie, nauczyciel: Witold Zawadzki;
13. *(*ex aequo*) Piotr Maksymiuk, Prywatne Liceum im. Królowej Jadwigi w Lublinie, nauczyciel: Piotr Kononowicz;
14. Stanisław Antoni Pańkowski, II Liceum Ogólnokształcące im. księżnej Anny z Sapiehów w Białymstoku, nauczyciel: Dariusz Bossowski;
15. Jeremiasz Igor Preiss, XIV Liceum Ogólnokształcące im. Polonii Belgijskiej we Wrocławiu, nauczyciel: Marian Bąk;
16. Jakub Krzysztof Jurczak, XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Warszawie, nauczyciel: Elżbieta Zawistowska;
17. Dawid Ratyński, XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Warszawie, nauczyciel: Elżbieta Zawistowska;
18. Grzegorz Piotr Adamiec, II Liceum Ogólnokształcące z Oddziałami Dwujęzycznymi im. A. Frycza Modrzewskiego w Rybniku, nauczyciel: Grzegorz Łopatka;
19. *(*ex aequo*) Paweł Karol Pielasa, XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Warszawie, nauczyciel: Elżbieta Zawistowska;
20. *(*ex aequo*) Jakub Kośmicki, XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Warszawie nauczyciel: Elżbieta Zawistowska;
21. Kamil Marek Abendroth, Publiczne Liceum Ogólnokształcące Politechniki Łódzkiej w Łodzi, nauczyciel: Bogusława Kłos;
22. Mikołaj Tomasz Kuziuk, Prywatne Liceum im. Królowej Jadwigi w Lublinie, nauczyciel: Piotr Kononowicz, Grzegorz Zawadzki, Waldemar Berej;
23. Szymon Niewadzi, XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Warszawie, nauczyciel: Elżbieta Zawistowska;
24. Justyna Strejczek, V Liceum Ogólnokształcące im. Ks. Józefa Poniatowskiego w Warszawie;
25. Adam Łukasz Naskręcki, XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Warszawie, nauczyciel: Elżbieta Zawistowska;
26. Wojciech Kukielka, I Liceum Ogólnokształcące w Radzynie Podlaskim, nauczyciel: Leszek Szalast;
27. Andrzej Franciszek Maroń, XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Warszawie, nauczyciel: Włodzimierz Zielić;
28. Damian Wróblewski, I Liceum Ogólnokształcące im. Tadeusza Kościuszki w Łomży, nauczyciel: Marek Cieciński.

W grupie nauczycieli – opiekunów laureatów OF 2022 zdecydowaną liderką okazała się dr Elżbieta Zawistowska z XIV Liceum Ogólnokształcącego im. Stanisława Staszica w Warszawie, która przygotowała sześciu, tj. niemal ¼ laureatów tegorocznej Olimpiady Fizycznej. **Pełna podziwu i uznania Redakcja *Postępów Fizyki* serdecznie gratuluje Elżbiecie Zawistowskiej!**

MAJ 2022

Lublana, Słowenia. Tegoroczna, szósta Europejska Olimpiada Fizyczna (EuPhO) odbyła się w Lublanie (Słowenia) w dniach 20-24.05.2022. Warto wspomnieć, że Słowenia miała być gospodarzem Olimpiady już w ubiegłym roku, jednak z uwagi na pandemię COVID19 EuPhO 2021 odbyła się w formie zdalnej, natomiast Słowenia podtrzymała gotowość jej organizacji w bieżącym roku. W tegorocznej EuPhO wzięło udział 182 uczniów szkół średnich z 37 krajów. Do uczestnictwa ze strony polskiej zostali zaproszeni laureaci pierwszych pięciu miejsc w finale krajowej Olimpiady Fizycznej

Zadania olimpijskie rozwiązywano 21 i 22.05.2022. Pierwszego dnia zawodnicy mieli do rozwiązania trzy powiązane tematycznie zadania doświadczalne, których wspólnym motywem były radiometryczny i fotometryczny opis światła.



Część doświadczalna EuPhO 2022 (fot. Vojko Opašk; archiwum organizatorów EuPhO 2022)

Drugiego dnia odbyły się zawody teoretyczne, na które złożyły się trzy zadania o zróżnicowanym stopniu trudności. Pierwsze z nich było związane z oscylacjami metalowego cylindra zanurzonego w cieczy, drugie zadanie dotyczyło oscylacji termicznych w obwodzie elektrycznym, natomiast trzecie – postępowo-obrotowego ruchu dipola elektrycznego w polu magnetycznym.

Zadania przygotowane były przez organizatorów w języku angielskim. Przetłumaczenie ich na języki narodowe było rolą opiekunów reprezentantów poszczegól-

nych krajów. Ze względu na zaangażowanie dużej liczby osób, zadania były przekazywane do tłumaczenia w ostatnim możliwym momencie, tj. 3 godziny przed zawodami. Zawodnicy mogli rozwiązywać zadania w swoich językach, bądź też w języku angielskim. Polscy uczestnicy poprosili o teksty zadań w języku polskim i angielskim.

W zależności od uzyskanej liczby punktów można było otrzymać medal złoty, srebrny, brązowy lub wyróżnienie, a wszyscy uczestnicy otrzymali świadectwa udziału w Olimpiadzie. Zwycięzcą szóstej Europejskiej Olimpiady Fizycznej został Vlad-Ștefan Oros z Rumunii. Wyniki polskich uczestników przedstawiały się następująco: złoty medal – Filip Baciak; srebrne medale – Stanisław Karpiejczyk, Kacper Paciorek, Korneliusz Obarski; brązowy medal – Mateusz Kamiński.



Reprezentanci Polski po zakończeniu EuPhO 2022; od lewej: Tomasz Kazimierzczuk (opiekun), Mateusz Kamiński, Korneliusz Obarski, Filip Baciak, Kacper Paciorek, Stanisław Karpiejczyk, Ana Medved [opiekunka drużyny polskiej ze strony organizatorów] (fot. Wojko Opaśk; archiwum organizatorów EuPhO 2022)

Zgodnie z regulaminem Europejska Olimpiada Fizyczna nie prowadzi klasyfikacji drużynowej (krajowej). Kolejna, siódma Europejska Olimpiada Fizyczna odbędzie w 2023 roku w Niemczech.

Poznań. W dniach 20-21.05.2022 roku na Wydziale Fizyki UAM odbyła się I Poznańska Konferencja Młodych Fizyków. W ramach wydarzenia, organizowanego przez studentów dla studentów, młodzi fizycy mogli podzielić się zainteresowaniami naukowymi oraz wynikami swoich badań.

Lublin. W dniach 22-26.05.2022 odbyła się w Lublinie XX Krajowa Konferencja Nadprzewodnictwa *Nowe fazy, koncepcje i zastosowania* zorganizowana przez Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Politechnikę Lubelską oraz oddział lubelski Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Konferencja miała charakter stacjonarny, umożliwiając uczestnikom oraz przybyłym słuchaczom bezpośrednią

wymianę informacji o najnowszych odkryciach w dziedzinie nadprzewodnictwa i stanów pokrewnych. Wzięło w niej udział 76 uczestników. Wykład inauguracyjny *Dlaczego warto zadbać, aby żółta plamka w naszym oku była naprawdę żółta?* przedstawił prof. dr hab. Wiesław I. Gruszecki, prorektor ds. nauki i współpracy międzynarodowej UMCS w Lublinie; W części naukowej uczestnicy konferencji usłyszeli wykłady plenarne: prof. dr hab. Józefa Spałka *A brief perspective in high temperature superconductivity*, prof. dr hab. Marty Z. Cieplak *Interplay of various order parameters and disorder in iron chalcogenides*, prof. dr hab. Tomasza Dietla. *Exchange interactions in magnetically doped semiconductors*. Podczas konferencji ogłoszono w sumie 20 referatów i 23 komunikaty ustne oraz przedstawiono 23 plakaty. Tematyka obejmowała zagadnienia dotyczące konwencjonalnych i egzotycznych realizacji nadprzewodnictwa, nadciekłości, magnetyzmu, topologicznych stanów materii, efektów korelacyjnych, zjawisk krytycznych, dynamicznych przejść fazowych, interferencji kwantowej i wielu innych. Szczegółowy plan wystąpień wraz ze streszczeniami jest dostępny pod adresem internetowym <https://sites.google.com/view/kkn2022pl>. Komitet naukowy konferencji zdecydował, że kolejne spotkanie z tej serii zostanie zorganizowane przez ośrodek krakowski.

Warszawa. 27.05.2022 odbyła się w XXI LO im. Hugona Kołłątaja w Warszawie siódma edycja Festiwalu Przyrodniczego, podczas którego uczniowie przedstawili doświadczenia i poprowadzili warsztaty z dziedziny biologii, chemii, fizyki i geografii. To wielkie święto nauk przyrodniczych wpisało się na trwałe w tradycję edukacyjną Warszawy, od lat odkrywając uczniom szkół podstawowych tajemnice nauk przyrodniczych, pomagając w wyborze kierunku dalszego etapu edukacji. Festiwal organizowany jest przez nauczycielki liceum: p. Dorotę Wojtasiewicz-Błachowską (chemia), p. Dagmarę Chmielarz (biologia), p. Urszulę Setlak (fizyka) oraz p. Martę Rogowską (geografia). Wydarzeniu patronował m.in. Warszawski Oddział PTF.

CZERWIEC 2022

Warszawa. Program *Ochota na naukę* (koordynatorka: dr hab. Katarzyna Grabowska) realizowany jest przez OW PTF przy wsparciu Wydziału Fizyki UW, ze środków programu Aktywna Warszawska Młodzież prowadzonego przez Biuro Edukacji m.st. Warszawy. Celem programu jest umożliwienie grupom młodzieżowym realizację własnych projektów naukowych lub edukacyjnych związanych przede wszystkim z naukami ścisłymi i przyrodniczymi. Tematyka projektów dotyczyć może badań podstawowych, a także działań edukacyjnych związanych z tymi naukami. Konstrukcja programu

przypomina programy grantowe dla dorosłych naukowców. Grupy projektowe przechodzą całą drogę związaną z realizacją swojego pomysłu: od pierwszych idei, przez pisanie wniosków grantowych, realizację zadań, aż po przygotowanie rozliczenia i sprawozdania oraz prezentację wyników na konferencji naukowej. Grupy młodzieżowe otrzymują granty w wysokości do 4000 zł. Każda edycja programu składa się z dwóch sesji grantowych: jesiennej w pierwszym semestrze i zimowej w drugim semestrze roku szkolnego. W ubiegłej (styczeń-15 czerwca 2022) sesji grantowej udział wzięło 6 grup młodzieży liczących łącznie 20 osób, które realizowały następujące tematy:

1. *Ab astris*. Młodzież przygotowująca się do olimpiady astronomicznej związana z XIV LO im Stanisława Staszica w Warszawie buduje zestaw do fotometrii i spektroskopii dla posiadaczy teleskopów.
2. *Algae Carbon Dioxide Scrubbing System* – ACDS. Młodzież tworząca grupę Chase for Space zainteresowana eksploracją kosmosu buduje bioreaktor, w którym powszechnie występujące algi używane będą do oczyszczania powietrza z dwutlenku węgla i wzbogacania go w tlen. Bioreaktor posłuży także do badania wzrostu alg poddawanych różnym czynnikom fizycznym i chemicznym.
3. *Mobilny Asystent przyszłości*. Kontynuacja projektu z sesji jesiennej, którego celem jest zaprogramowanie od podstaw komputerowego asystenta w języku Python, tak aby współpracował ze zbudowanym robotem Ohbotem, mającym kształt ludzkiej głowy. Robot porozumiewa się z otoczeniem za pomocą głosu oraz reaguje na polecenia.
4. *Ochota na fizykę 9*. Kontynuacja współpracy z klubem naukowym Fenix zrzeszającym młodzież przygotowującą się do Turnieju Młodych Fizyków. Młodzież realizuje doświadczenia corocznie proponowane przez organizatorów turnieju i zazwyczaj coś wygrywa.
5. *Pociąg do fizyki*. Grupa młodzieży opracowuje doświadczenia dotyczące zjawisk fizycznych związanych z pociągami, budową linii kolejowych itd. Doświadczenia te prezentowane są następnie w ramach wydarzeń organizowanych na przykład przez Stację Muzeum.
6. *Usłyszeć naukę*. Młodzież zrzeszona w kole technicznym w warszawskim IX LO im Klementyny Hoffmanowej opracowuje doświadczenia fizyczne związane z rozchodzeniem się dźwięku. Na co dzień koło to zapewnia nagłośnienie w czasie imprez organizowanych w szkole oraz innych imprez młodzieżowych w Warszawie.

03.06.2022 odbyła się konferencja podsumowująca piątą edycję programu *Ochota na naukę*. Udział wzięło 39 osób. Grupy projektowe z sesji jesiennej i wiosennej przedstawiły swoje prace w formie plakatów; pięć wybranych wygłosiło prezentacje ustne.

Poznań. NanoTech Poland 2022 (01-03.06.2022) oraz International Soft Matter Conference 2022 (ISMC 2022, 19-23.09.2022) to dwie międzynarodowe konferencje zorganizowane w 2022 roku przez Centrum NanoBioMedyczne UAM. Wydarzenia przyciągnęły uwagę uczestników z całego świata, a wśród wykładowców znalazło się wielu znanych naukowców zajmujących się fizyką ciała stałego i materii miękkiej.

Poznań. Kierunek protetyka słuchu na Wydziale Fizyki UAM obchodzi swoje 30-lecie. Wydarzenie zostało uczczone cyklem wykładów, które odbyły się 11.06.2022.

Lublin. Głównym organizatorem Konferencji *Ion Implantation and Other Applications of Ions and Electrons ION 2022*, która odbyła się w dniach 27-30.06.2022 był Instytut Fizyki UMCS przy współpracy z Politechniką Lubelską. Konferencja zgromadziła około 50 uczestników, w tym gości zagranicznych z Niemiec, Republiki Południowej Afryki, Ukrainy. Obrady odbywały się w języku angielskim. Wygłoszono 30 referatów plenarnych oraz zaprezentowano 26 prac w formie plakatów. Wybrane, recenzowane prace zostaną opublikowane w formie artykułów w specjalnym numerze *Acta Physica Polonica A* oraz w *Advances in Science and Technology Research Journal*. Tematyka obrad skoncentrowana była na zagadnieniu implantacji jonów – ważnej metodzie modyfikacji warstw przypowierzchniowych półprzewodników, metali, polimerów i innych materiałów wykorzystującej wiązkę jonowe oraz plazmę. Przedstawiono prace zarówno należące do dziedziny badań podstawowych, z których większość dotyczyła oddziaływania jonów średnich energii z ciałem stałym, jak i te prowadzące do zastosowań technicznych. Należy podkreślić multidyscyplinarny charakter Konferencji, czego dowodem są specjalizacje zawodowe uczestników, a byli to przede wszystkim fizycy, ale też elektronicy, optoelektronicy i specjaliści z zakresu inżynierii materiałowej. Na uwagę zasługuje fakt, że organizatorzy Konferencji uzyskali dofinansowanie od Ministra Edukacji i Nauki w ramach programu Doskonała Nauka na projekt *Międzynarodowa Konferencja „Implantacja jonowa i inne zastosowanie jonów i elektronów” ION2020* [ze względu na pandemię środki zostały przesunięte na 2022]. W opinii zebranych oraz Komitetu Naukowego, następna Konferencja z serii ION powinna odbyć się także w Kazimierzu Dolnym.

Warszawa. Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego wraz z Polskim Towarzystwem Fizycznym oraz m.st. Warszawa, w ramach akcji LATO W MIEŚCIE zorganizował *Letnią Szkołę Fizyki*. Jej program skierowany był do uczniów ostatnich klas szkół podstawowych oraz szkół ponadpodstawowych zainteresowanych naukami

przyrodniczymi, chcących poznać najnowsze osiągnięcia nauki w dziedzinie fizyki i astronomii. Zajęcia odbywały się w dniach 27.06-08.07.2022 na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Na program składały się m.in. wykłady, zajęcia eksperymentalne oraz wizyty w laboratoriach naukowych (pracownie optyczne, biofizyczne, technologiczne i inne), podczas których uczestnicy brali udział w warsztatach prowadzonych przez naukowców Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego związanych z aktualnymi badaniami naukowymi. Letnią Szkołę Fizyki organizuje dr Izabela Skwira-Chalot z Uniwersytetu Warszawskiego.

LIPIEC 2022

Warszawa. Tegoroczna, 52 Międzynarodowa Olimpiada Fizyczna (MOF 2022) odbyła się w dniach 10-18.07.2022 w trybie zdalnym. Olimpiada była poprzedzona serią bardzo trudnych, chwilami dramatycznych decyzji.

Cztery lata temu zostało postanowione, że MOF 2022 odbędzie się w Białorusi. Decyzja wydawała się racjonalna, organizatorzy uzyskali gwarancje rządowe dotyczące finansowania, a Uniwersytet w Mińsku miał zapewnić właściwy poziom merytoryczny Olimpiady. Sytuacja zmieniła się radykalnie ponad rok temu po brutalnym stłumieniu prodemokratycznych demonstracji w Białorusi i pogorszyła się jeszcze bardziej po wybuchu wojny w Ukrainie. W tej sytuacji przedstawiciele wielu krajów, w tym Polski, domagali się przeniesienia MOF do innego kraju lub jej odwołania. Również organizatorzy z Białorusi zdali sobie sprawę, że sankcje nałożone na Białoruś w zasadzie uniemożliwiają organizację MOF, nawet w wersji zdalnej. W rezultacie, w marcu 2022, decyzją przedstawicieli wszystkich uczestniczących w Olimpiadzie krajów, MOF 2022 w Białorusi została odwołana.

Od tego momentu zaczęło się gorączkowe poszukiwanie nowego organizatora. Trzeba zaznaczyć, że zorganizowanie MOF w ciągu trzech miesięcy jest niesłychanie trudne. W końcu zadania tego podjął się dr Lionel Philippoz ze Szwajcarii. Zadania zostały przygotowane przez międzynarodowy Komitet Naukowy, któremu przewodniczył prof. Jaan Kalda z Estonii.

Kwestia udziału Rosji i Białorusi w MOF stała się kolejnym trudnym problemem. Zgodnie z Regulaminem MOF żaden kraj nie może być z niej wykluczony. Jednak wiele krajów, w tym Polska, zagroziło bojkotem Olimpiady, jeśli Rosja i Białoruś będzie uczestniczyć na równych prawach. Po długich dyskusjach osiągnięty został kompromis - zawodnicy z Rosji i Białorusi zostali dopuszczeni do MOF jako zawodnicy niezależni uczestniczący pod neutralną flagą. Ta decyzja została podjęta przez Prezydenta MOF dopiero 29 czerwca, na niecałe dwa tygodnie przed rozpoczęciem MOF. Ze względu na

bardzo krótki czas przygotowań oraz ograniczone fundusze, w tym roku nie było zadań ściśle doświadczalnych. Zamiast nich organizatorzy przygotowali zadania symulujące doświadczenia wykonywane na komputerach. Zawody olimpijskie polegały na rozwiązaniu dwóch zadań symulacyjnych oraz trzech zadań rachunkowych.

Olimpiada odbyła się w przewidzianym terminie w formule zdalnej. Wzięło w niej udział 368 uczestników z 75 krajów, po maksimum 5 zawodników z jednego kraju. Zawodnicy rozwiązywali zadania w swoich krajach pod nadzorem osób wyznaczonych do reprezentowania organizatorów oraz pod nadzorem kamer. Zadania, których oryginały zostały przygotowane w j.angielskim, zostały przetłumaczone na języki narodowe przez opiekunów z poszczególnych państw. Uczestnicy mogli napisać swoje rozwiązania w swoim języku lub po angielsku. Rozwiązania były sprawdzane przez organizatorów oraz przez opiekunów z poszczególnych krajów, a następnie oceny były uzgadniane. Przyznano 39 złotych medali, 71 srebrnych, 97 brązowych oraz 96 wyróżnień. Zwycięzcą MOF został Guowei Xu z Chin. Należy zwrócić uwagę, że zawodnicy chińscy zajęli pięć pierwszych miejsc. Dalsze wysokie miejsca przypadły zawodnikom z innych krajów, w tym z USA, kilku krajów azjatyckich i europejskich. Dopiero po 29 czerwca, kiedy wiadomo było, że zawodnicy z Rosji i Białorusi wezmą udział w MOF pod neutralną flagą, Komitet Główny Olimpiady Fizycznej podjął ostateczną decyzję o udziale polskich zawodników. Opłatę za udział w MOF w wysokości 1400 Euro pokrył Komitet Główny Olimpiady Fizycznej z dotacji MEN. Składka w tym roku była ponad dwukrotnie niższa niż w latach ubiegłych ze względu na formułę zdalną oraz brak zadania doświadczalnego. Reprezentanci Polski to zwycięzcy polskiej Olimpiady Fizycznej:

1. Filip Tomasz Baciak, I Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Chrzanowie;
2. Piotr Borodako, V Liceum Ogólnokształcące im. Augusta Witkowskiego w Krakowie;
3. Mateusz Tomasz Kamiński, VI Liceum Ogólnokształcące im. Adama Mickiewicza w Krakowie;
4. Stanisław Marcin Karpiejczyk, XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Warszawie;
5. Kacper Paciorek, V Liceum Ogólnokształcące im. Augusta Witkowskiego w Krakowie.

Udział polskich uczestników w MOF został poprzedzony obozem przygotowawczym, który odbył się w dniach 04-08.07.2022. Ze względu na to, że zadania na Międzynarodowej Olimpiadzie Fizycznej różnią się charakterem od zadań z polskiej Olimpiady, uczestnicy w ramach treningu rozwiązywali między innymi zadania z poprzednich Olimpiad Międzynarodowych oraz uzupełniali wiadomości z zakresu nieobjętego polską podstawą progra-

nową, a wymaganego na MOF. Instruktorami byli członkowie Komitetu Głównego Olimpiady Fizycznej. Późny termin decyzji o udziale w MOF na pewno nie wpłynął dobrze na przygotowanie polskich zawodników, jednakże zarówno Komitet Główny, jak i uczestnicy dołożyli wszelkich starań, żeby podczas tego obozu jak najlepiej przygotować się do udziału w MOF. Podczas Olimpiady opiekunami polskiej drużyny byli dr Jacek Jasiak i prof. Jan Mostowski, a organizatorów reprezentował dr hab. Tomasz Kazimierzczuk.

Polscy uczestnicy rozwiązywali zadania w budynku Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w dniach 11 i 13.07.2022. W dniu wolnym uczestnicy wzięli udział w wycieczce po Warszawie, zwiedzili też Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego. Wyniki polskich uczestników: srebrne medale – Filip Baciak, Stanisław Karpiejczuk; brązowe medale – Mateusz Kamiński, Kacper Paciorek; wyróżnienie – Paweł Borodako.

Zgodnie z regulaminem, MOF nie prowadzi klasyfikacji drużynowej, osiągnięcia są indywidualne. Uczestnicy otrzymają dyplomy oraz drobne upominki. MOF nie daje żadnych oficjalnych uprawnień, ze względu jednak na jej międzynarodowy prestiż wiele uczelni ułatwia medalistom MOF dostanie się na studia, przynajmniej stypendia itd. Kolejna 53 Międzynarodowa Olimpiada Fizyczna odbędzie się w lipcu 2023 w Japonii.

Warszawa. W dniach 19.07-08.09.2022 na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego odbywały się wakacyjne zajęcia z fizyki dla uczniów z Ukrainy organizowane przez Oddział Warszawski PTF przy współpracy Wydziału Fizyki. Celem programu było ułatwienie młodzieży pochodzącej z Ukrainy rozpoczęcie po wakacjach nauki w polskich szkołach. Zajęcia prowadzone były w dwóch czterotygodniowych cyklach. W każdym tygodniu uczniowie uczestniczyli w czterech godzinach zajęć w blokach po dwie godziny. Pracowali w kilkusobowych grupach wiekowych. Program zajęć został przygotowany przez grupę specjalistów – nauczycieli z Polski i Ukrainy: Marcina Brauna – nauczyciela i autora podręczników do fizyki, Urszulę Setlak – nauczycielkę z XXI LO im Hugona Kołłątaja w Warszawie, Olę Feketę – pochodzącą z Ukrainy nauczycielkę pracującą w warszawskiej szkole ukraińskiej, Martę Nagalską – nauczycielkę matematyki i jednocześnie studentkę Wydziału Fizyki UW, Mirosława Galikowskiego – nauczyciela fizyki z XXI LO im Hugona Kołłątaja w Warszawie, także autora zbiorów zadań oraz podręczników. W trakcie 4 godzin zajęć zaplanowanych na każdy tydzień znalazły się następujące elementy: 1) przeprowadzenie doświadczenia fizycznego wybranego spośród doświadczeń będących w podstawie programowej dla grupy, opracowanie wyników tego doświadczenia i dyskusja; 2) praca nad zagadnieniami ma-

tematycznymi związanymi z omawianym zagadnieniem fizycznym; 3) wspólne rozwiązywanie zadań z fizyki z elementami matematyki; 4) nieobowiązkowe zadania domowe. W trakcie zajęć wykorzystywane były zasoby Pracowni Podstaw Fizyki oraz Pracowni Pokazów Wykładowych Wydziału Fizyki UW. Zajęcia prowadzili studenci tego Wydziału, a koordynowali: dr hab. Katarzyna Grabowska i dr hab. Krzysztof Piasecki. W pierwszym cyklu zajęć wzięło udział 25 uczniów w tym 9 dziewcząt i 16 chłopców. W drugim cyklu uczestniczyło 23 uczniów, w tym 14 dziewcząt i 9 chłopców.

Program wakacyjnych zajęć z fizyki dla uczniów z Ukrainy finansowany był przez Fundusz Narodów Zjednoczonych na rzecz Dzieci UNICEF za pośrednictwem m. st. Warszawy.

Warszawa. W dniach 24-29.07.2022 odbyła się w Warszawie jedna z największych konferencji z dziedziny magnetyzmu – *The Joint European Magnetic Symposia (JEMS)* zorganizowana wspólnie przez Instytut Fizyki PAN, Wydział Fizyki UW i firmę Nobell Congressing. Konferencje JEMS odbywają się pod patronatem European Magnetism Association (EMA); JEMS 2022 dodatkowo patronował rektor Uniwersytetu Warszawskiego prof. Alojzy Nowak. Przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego był Andrzej Wiśniewski (Instytut Fizyki PAN), współprzewodniczącym Andrzej Twardowski (Wydział Fizyki UW), Komitetowi Programowemu przewodniczył zaś Maciej Sawicki (Instytut Fizyki PAN), a współprzewodniczyła Diana C. Leitão (Eindhoven University of Technology, Niderlandy); składy komitetów dostępne są na stronie <https://jems2022.pl/>. Sponsorami konferencji była US Army (Army Research Office) oraz Evico Magnetics, Qnami i Quantum Design – trzy firmy, które miały swoje stoiska na Konferencji.

JEMS 2022 miała formę hybrydową. Wzięło w niej udział 633 uczestników z 42 krajów; 447 przyjechało do Warszawy, 186 uczestniczyło zdalnie. W związku z agresją Rosji na Ukrainę, decyzją organizatorów oraz EMA w konferencji nie mogli brać udziału uczestnicy z afiliacją rosyjskich i białoruskich instytucji naukowych. Z opłat konferencyjnych zostało zwolnionych 11 uczestników z Ukrainy, część z nich przyjechała do Warszawy, część brała udział zdalnie. Na JEMS 2022 złożyło się 18 sympozjów tematycznych, ogłoszono 5 wykładów plenarnych, 10 półplenarnych, 83 wykłady zaproszone i 349 referatów; zaprezentowano też 150 plakatów w formule sesji zdalnych. Wykłady plenarne wygłosili: Geoffrey Beach (Massachusetts Institute of Technology, USA): *Domain Walls and Skyrmions: From Ferromagnets to Ferrimagnets*; Felix Casanova (CIC nanoGUNE, Hiszpania): *Spin-orbit proximity in van der Waals heterostructures for logic devices*; Nora Dempsey (University of Grenoble Alpes,

Institut Néel, Francja): *Hard magnetic films: from material studies to micro-system applications*; Mathias Kläui (University of Mainz, Niemcy): *From Spin-Orbitronics to Orbitronics – novel science and applications in memory & non-conventional computing*; Laurens Molenkamp (University of Würzburg, Germany): *Making Sense of the Quantum Anomalous Hall Effect*.

W ramach zdalnych sesji plakatowych każda osoba prezentująca plakat miała 2 minuty na krótkie przedstawienie najważniejszych wyników. Następnie prezentujący i uczestnicy sesji mogli połączyć się z indywidualnymi „pokojami”, gdzie omawiano szczegółowo wyniki. Cały program konferencji dostępny jest na stronie: <https://jems2022.pl/> Zorganizowano też sesję pamięci. Były to nagrane wcześniej wykłady o zmarłych w ostatnim okresie wybitnych zagranicznych fizykach w dziedziny magnetyzmu Igorze E. Dzialoshinskim, Johnie Slonczewskim oraz polskich Marku Cieplaku, Ludwiku Dobrzyńskim, Robercie Gałązce, Romanie Micnasie, Januszu Morkowskim, Wojciechu Suskim, Włodzimierzu Zawadzkiem. Wspomnienia te dostępne są na stronie <https://jems2022.pl/memorial-lectures>.

Konferencja odbyła się na głównym kampusie Uniwersytetu Warszawskiego przy Krakowskim Przedmieściu (sale w Audytorium Maximum i Starej Bibliotece UW). Trzy poprzednie konferencje JEMS (w Glasgow, Moguncji i Uppsali) odbywały się w komercyjnych centrach konferencyjnych. Kampus i jego najbliższe otoczenie były wspaniałą wizytówką UW oraz zapewniły atmosferę sprzyjającą obradom i dyskusjom naukowym. Władze EMA postanowiły wręcz zalecić, aby następne konferencje JEMS odbywały się na terenie uniwersytetów, jeśli tylko będzie to możliwe. Bankiet konferencyjny odbył się w Arkadach Kubickiego (część Zamku Królewskiego w Warszawie). Uczestnicy dotarli do Arkad przez dziedziniec Zamkowy, sien i górny ogród. W sposób naturalny miejsce bankietu skłaniało do wyjaśnień związanych z historią Zamku, a w szczególności z jego lo-



W drodze na bankiet (JEMS 2022) (fot. Marcin Wziontek; z archiwum konferencji)

sami w czasie II wojny światowej i późniejszą odbudową; wielu gości było tym zainteresowanych.

Następna konferencja JEMS 2023 odbędzie się w Madrycie, jej organizatorzy deklarowali, że skorzystają z wielu rozwiązań wprowadzonych podczas konferencji warszawskiej.

WRZESIEŃ 2022

Białystok. Teleskopy, obserwacje najbliższej nam gwiazdy, projekcje filmów edukacyjnych i podróż po Układzie Słonecznym z prof. Markiem Nikołajukiem – to tylko niektóre atrakcje, jakie czekały w sobotę 03.09.2022 na uczestników edukacyjnego spotkania Słońce – gwiazda życia. Było to pierwsze wydarzenie z cyklu Kosmiczny Kampus, zorganizowane dzięki współpracy Centrum Popularyzacji Nauki UwB z Polskim Towarzystwem Miłośników Astronomii oraz Wydziałem Fizyki UwB.

Jak przysłało na uczelnię, nie zapomniano również o wykładach. Multimedialną prezentację Słońce – nieujarzmiona, życiodajna siła poprowadził pasjonat astronomii Robert Nowakowski. Były również opowieści Łukasza Wołyńca o solarigrafii, czyli Słońcu w puszcze, oraz prezentacja niezwyklej animacji poklatkowych Szczepana Skibickiego. Kolejne spotkania pod hasłem Kosmiczny Kampus są już w przygotowaniu, zwłaszcza że inauguracyjne wydarzenie cieszyło się ogromną popularnością – na pokazy w Planetarium w ciągu kilku godzin zarejestrowało się ponad 800 osób.

Białystok. 09.09.2022, po blisko 9 miesięcznej rywalizacji, drużyna studentów z Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku zajęła drugie miejsce podczas ogólnopolskich Mistrzostw w Projektowaniu Gier Komputerowych (Cyberiada). Zawody zostały zorganizowane po raz pierwszy przez Fundację Twórczości, Edukacji i Animacji Młodzieży „Teatrikon”, w ramach Programu Rozwoju Talentów Informatycznych Ministra Cyfryzacji. Najważniejszym celem przedsięwzięcia było zachęcenie studentów do poszerzania umiejętności informatycznych, niezbędnych do efektywnego projektowania gier komputerowych. W nagrodę studenci odwiedzą studio gier Ten Square Games, gdzie spotkają się z najlepszymi na świecie projektantami gier oraz wezmą udział w prelekcji i warsztatach pokazujących proces produkcji i dystrybucji gier. Drużyna otrzymała również pozaregulaminowe wyróżnienia akademików. Przygotowaną w ramach Cyberiady grę Into the Void and Beyond można bezpłatnie pobrać ze strony internetowej organizatora: <https://cyberiada.itch.io/into-the-void-and-beyond>.

Kazimierz Dolny. Fizycy zajmujący się badaniem struktury i rozpadów jąder atomowych po raz kolejny spotkali

się w Kazimierzu Dolnym na dorocznych, 28 Warsztatach Fizyki Jądrowej (20-25.09.2022), zorganizowanych przez Katedrę Fizyki Teoretycznej UMCS wraz ze Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego oraz Sekcją Fizyki Jądrowej Polskiego Towarzystwa Fizycznego i Oddziałem Lubelskim PTF. Tematem przewodnim tegorocznego spotkania były *Kolektywne wzbudzenia jądrowe*. To wydarzenie naukowe przyciągnęło do Kazimierza Dolnego wybitnych specjalistów z ważnych jądrowych ośrodków badawczych zarówno polskich (Warszawa, Kraków, Lublin), jak i zagranicznych (Hiszpania, Finlandia, Francja, Dania, Stany Zjednoczone). Uczestnicy prezentowali wyniki swoich najnowszych badań będących odpowiedzią na aktualne wyzwania stawiane przed współczesną fizyką jądrową w aspektach teoretycznych i eksperymentalnych. Omawiano między innymi kwestie związane z modelowaniem procesu rozszczepienia czy perspektywy syntezy kolejnych superciężkich jąder. Łącznie wygłoszono 30 wykładów; dyskusje toczyły się nie tylko na sali wykładowej, ale także w kularach. Specyfika spotkania sprzyjała nawiązaniu międzynarodowej współpracy naukowej, a swobodna wymiana myśli pomiędzy uczestnikami pozwoliła spojrzeć na problemy badawcze w szerszym ujęciu. Cie-



(fot. Anna Zdeb; z archiwum konferencji)

szymy się, że pomimo krótkiej przerwy spowodowanej pandemią, udało nam się powrócić do wieloletniej tradycji Warsztatów Fizyki Jądrowej w Kazimierzu Dolnym i już wkrótce rozpoczniemy przygotowania do przyszłorocznej edycji.

Białystok. W sobotę 24.09.2022 na Wydziale Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku odbyła się VI Konferencja Nauczycieli Fizyki (VI KNF 2022). Był to kolejny cykl wystąpień organizowanych przez Wydział Fizyki we współpracy z Oddziałem Białostockim Polskiego Towarzystwa Fizycznego oraz Polską Akademią Nauk, Oddział w Olsztynie i w Białymstoku z siedzibą w Olsztynie. Tegorocznej konferencji tradycyjnie patronował J. M. Rektor Uniwersytetu w Białymstoku prof. dr hab. Robert Ciborowski. Przesłaniem VI KNF 2022 była inte-

gracja oraz poszerzenie kompetencji środowiska akademickiego i nauczycieli przedmiotów przyrodniczych. W konferencji uczestniczyło 42 nauczycieli i wykładowców, w tym 11 spoza województwa podlaskiego. Jeden z wykładów dotyczył problemów, z jakimi zderzają się nowi (choć doświadczeni) nauczyciele w szkole podstawowej i jak sobie z tymi problemami radzą. W kolejnych omówiono zagadnienie skalowania w odniesieniu do organizmów żywych oraz zastosowanie układów optoelektronicznych znanych z życia codziennego. Inne wystąpienie dotyczyło prawidłowej diety w rozwoju fizycznym i umysłowym młodzieży. Konferencję zwieńczył znakomity wykład o dokonaniach i różnorodnym podejściu do dydaktyki fizyki propagowanym przez Mieczysława Wolfkego, wszak rok 2022 jest właśnie jemu dedykowany. Mamy nadzieję, że VI Konferencja Nauczycieli Fizyki 2022 pozwoliła uczestnikom zdobyć nowe doświadczenia, wiadomości i umiejętności, które posłużą wzbogaceniu i uatrakcyjnieniu warsztatu nauczyciela fizyki. Następna, VII już edycja konferencji planowana jest na trzecią sobotę września 2023 roku. Szczegółowe informacje na temat konferencji znaleźć można na stronie <https://physics.uwb.edu.pl/wf/knf2022/>. Galeria zdjęć z konferencji dostępna jest na FB profilu Oddziału Białostockiego PTF: <https://www.facebook.com/PTFBialystok/>, natomiast nagrania wykładów można obejrzeć na naszym kanale YouTube: https://youtu.be/JEnj_IYOpno.

Z OSTATNIEJ CHWILI

Tegoroczna Nagroda Nobla w dziedzinie fizyki trafia do Alaina Aspecta, Johna F. Clausera i Antona Zeilingera za eksperymenty ze splątanymi fotonami potwierdzające naruszenie nierówności Bella i pionierski wkład w informatykę kwantową – ogłosiła 04.10.2022 Królewska Szwedzka Akademia Nauk.

Gdańsk. Moja współpraca z prof. Antonem Zeilingerm – jednym z tegorocznych laureatów nagrody Nobla w dziedzinie fizyki rozpoczęła się w lutym 1990 roku, po pewnej odbywającej się Gdańsku konferencji, w której uczestniczył. W kwietniu 1991 prof. Zeilinger zaprosił mnie do Innsbrucka, abym w roku akademickim 1991/1992 był tam profesorem wizytującym. To był początek formowania jego słynnej innsbruckiej grupy „fotonowej”, którą wówczas tworzyli: Anton Zeilinger, Harald Weinfurter i piszący te słowa Marek Żukowski. Profesor Zeilinger zdecydował się na współpracę ze mną chyba dlatego, że obaj interesowaliśmy się podstawami teorii kwantów od strony pozytywnej. Naszym celem nie było obalenie czy uzupełnienie mechaniki kwantowej, ale ukazanie

jej piękna poprzez zaskakujące eksperymenty. W semestrze letnim 1992/1993 znowu byłem profesorem w Innsbrucku i wtedy ukończyliśmy naszą najważniejszą pracę „Event-ready detectors” Bell experiment via entanglement swapping [1] (cytowaną 1301 razy, omawianą podczas laudacji noblowskiej AZ). Potem jeszcze wielokrotnie pojawiałem się w Innsbrucku jako profesor wizytujący i współpraca trwała nadal. Owocem tego był szereg prac ukazujących metody umożliwiające interferencję wyższego rzędu fotonów pochodzących z niezależnych źródeł. Teoria tych zjawisk pozwoliła grupie eksperymentalnej Zeilingera zademonstrować między innymi pierwszą prawdziwą kwantową teleportację (1997), wymianę splątania (1998) i korelacje trójcząstkowe (1999). W nowym milenium byłem kilka razy profesorem wizytującym oraz odbyłem wiele innych, krótszych wizyt naukowych na Uniwersytecie Wiedeńskim, ponieważ tam właśnie przeżył się Anton. Nasze prace teoretyczne zaczęły dotyczyć także kwantowej informacji, a kluczowe doświadczenia to: obalenie pewnej klasy nielokalnych teorii z ukrytymi zmiennymi *An experimental test of non-local realism* [2] oraz interferencja dwufotonowa typu Hong-Ou-Mandel fotonów pochodzących z całkowicie niezależnych dwóch osobnych źródeł *Experimental Interference of Independent Photons* [3]. Postdocami i stażystami w grupie Zeilingera byli moi doktoranci Marcin Wieśniak, Tomasz Paterek, Marcin Markiewicz, Marcin Pawłowski, a inni odbyli tam krótkie staże, ja natomiast nawiązałem współ-

pracę z uczniami Antona (Časlavem Bruknerem i innymi). Wspólnie z Zeilingerem napisaliśmy 27 publikacji cytowanych jak dotąd 4461 razy. Praca *Multiphoton Entanglement and Interferometry* [4] stanowi w dużym stopniu podsumowanie naszej współpracy. Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI), Vienna, którego głównym inicjatorem i pierwszym dyrektorem był prof. Zeilinger, jest strategicznym partnerem International Centre for Theory of Quantum Technologies (ICTQT) UG, którego jestem dyrektorem (finansowanie: program MAB FNP), a drugi spośród tegorocznych noblistów – Alain Aspect jest członkiem Międzynarodowego Komitetu Naukowego ICTQT.

W 2006 roku prof. Anton Zeilinger otrzymał tytuł doktora *honoris causa* Uniwersytetu Gdańskiego.

Literatura

- [1] M. Żukowski, A. Zeilinger, M. A. Horne, A. K. Ekert *Phys. Rev. Lett.* **71**, 4287 (1993).
- [2] S. Gröblacher, T. Paterek, R. Kaltenbaek, C. Brukner, M. Żukowski, Markus Aspelmeyer, Anton Zeilinger *Nature* **446**, 871-875 (2007).
- [3] Rainer Kaltenbaek, Bibiane Blauensteiner, Marek Żukowski, Markus Aspelmeyer, Anton Zeilinger *Phys. Rev. Lett.* **96**, 240502 (2006).
- [4] Jian-Wei Pan, Zeng-Bing Chen, Chao-Yang Lu, Harald Weinfurter, Anton Zeilinger, Marek Żukowski *Rev. Mod. Phys.* **84**, 777 (2012).

Marek Cieplak (1950-2021)

Fizyka i pasja*

Jayanth Banavar¹, Piotr Szymczak², Łukasz A. Turski³

¹ Wydział Fizyki Uniwersytetu w Oregonie banavar@uoregon.edu

² Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego piotr.szymczak@fuw.edu.pl

³ Centrum Fizyki Teoretycznej, Polska Akademia Nauk l.a.turski@cft.edu.pl



(fot. Maja Cieplak-Rotowska, archiwum rodzinne)

MAREK CIEPLAK, kierownik Środowiskowego Laboratorium Fizyki Biologicznej w Instytucie Fizyki PAN, odszedł 31 grudnia 2021 roku, po heroicznej walce z nowotworem szpiku kostnego. Urodził się w Warszawie 8 grudnia 1950 roku, ukończył studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w 1973, a następnie wyjechał na Uniwersytet w Pittsburgu, gdzie obronił doktorat w roku 1977 pod kierunkiem Frederica Keffera. Wyjazd zza żelaznej kurtyny do USA w celu uzyskania stopnia doktora nie był wówczas sprawą prostą, Markowi udało się jednak tego dokonać dzięki ogromnej determinacji oraz pomocy wykładowców obu uniwersytetów. Po powrocie ze Stanów pracował w Instytucie Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, a od 1989 roku w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk. W tym czasie dwukrotnie wyjeżdżał do USA na staże podoktorskie na Uniwersytecie Rutgersa i Uniwersytecie Johnsa Hopkinsa. Później wracał

do USA niemal co roku, by uczyć tam w semestrach letnich. Tytuł profesora uzyskał w roku 1995. Aktywnie działał w Polskim Towarzystwie Fizycznym, a w roku 1998 został wybrany na członka Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego.

Był człowiekiem o szerokich horyzontach i wielkiej pasji zarówno w nauce, jak i poza nią. Wniósł twórczy wkład w wiele dziedzin fizyki materii skondensowanej, fizyki statystycznej i fizyki biologicznej.

Wraz z Markiem Robbinsem z Uniwersytetu Johnsa Hopkinsa analizował kapilarne wnikanie płynu do ośrodka porowatego i przewidział, że w miarę wzrostu zwilżalności wnikającego płynu zachodzić będzie w tym układzie dynamiczne przejście fazowe. Istnienie tego przejścia fazowego zostało następnie potwierdzone eksperymentalnie i obecnie znane jest jako przejście Cieplaka-Robbinsa.

W innej pracy, opublikowanej w *Science* (1994), wraz z Markiem Robbinsem i Elisabeth Smith, badał mikroskopowe pochodzenie tarcia, pokazując, że – w przeciwieństwie do makroskali – w skali mikro nie istnieje tarcie statyczne pomiędzy monowarstwami atomowymi i że ich prędkość względna zależy liniowo od przyłożonej siły.

Razem z Joelem Koplikiem i Jayanthem Banavarem przeprowadził symulacje dynamiki molekularnej płynów w nanokanałach. Zachowanie płynów jest wtedy w znacznym stopniu determinowane oddziaływaniami ze ściankami, a małe skale nie pozwalają na opis tych układów w języku hydrodynamiki. Na pomoc przychodzi tu dynamika molekularna, wypełniając lukę pomiędzy skalami molekularnymi a opisem ciągłym. W serii symulacji numerycznych z różnymi rodzajami ścian oraz prostymi i złożonymi płynami Marek przedstawił fascynujący obraz tego, jak powierzchnia wpływa na przepływy w jej pobliżu. Rozwinięciem tych badań była analiza samo-

*Wspomnienie jest adaptacją oryginalnej wersji angielskojęzycznej przesłanej do *Physics Today*.

oczyszczających się powierzchni superhydrofobowych, wykazujących efekt liścia lotosu, ważna dla zrozumienia związku pomiędzy własnościami płynu w skali makro a nanoskopowymi własnościami powierzchni, po której płyn ów się porusza.

Jego zainteresowania nie ograniczały się do obiektów mikroskopowych. Wraz z Amosem Maritanem i Jayanthem Banavarem w serii prac analizował fraktalną geometrię sieci rzecznych, uzyskując analitycznie wykładniki w prawach skalowania opisujących zależności między długościami rzek a wielkością ich dorzeczy.

W ostatnim ćwierćwieczu Marek koncentrował się na zagadnieniach fizyki biologicznej, w tym na komputerowych modelach zwijania białek, interpretacji danych z mikromacierzy genetycznych oraz węzłach i zapętleń w biomolekułach. Był jednym z liderów gruboziarnistego modelowania białek i uogólnił to podejście dla dużej i ważnej klasy zwanej białkami wewnątrznie nieuporządkowanymi, które przy dużych koncentracjach podlegają przejściom fazowym ciecz-ciecz, tworząc krople białkowe. W znacznym stopniu przyczynił się również do zrozumienia zjawiska rozciągania białek i nanoindentacji otoczek wirusów, wykonywał pionierskie symulacje dynamiki biosensorów oraz badania białek neurotoksycznych, które są odpowiedzialne za choroby neurodegeneracyjne: Alzheimera, Huntingtona, Parkinsona czy chorobę prionową. W ramach dużego projektu europejskiego prowadził też badania teoretyczne własności celulosomów – kompleksów enzymów pośredniczących w procesie rozkładu celulozy, zrozumienie działania których może pozwolić na udoskonalenie metod przetwarzania biomasy na biopaliwa.

Marek Cieplak stworzył duże i dynamiczne laboratorium środowiskowe w Instytucie Fizyki PAN, z powo-

dzeniem łączące eksperymentalne, obliczeniowe i teoretyczne podejście do fizyki biologicznej. Był promotorem kilkunastu prac doktorskich i magisterskich, zawsze skupiając wokół siebie nietuzinkowych ludzi. Był inicjatorem i jednym z gospodarzy cyklu konferencji Biomolecules and Nanostructures, które odbyły się siedmiokrotnie w latach 2004-2019. Spotkania te były wspaniałą okazją dla biologów, fizyków i matematyków do wymiany myśli i tworzenia załączków nowych projektów naukowych.

Aktywnie uczestniczył w polskim życiu kulturalnym, był krytycznym czytelnikiem literatury współczesnej, kochał muzykę; wraz z rodziną wiele podróżował po świecie; był też zapalonym entuzjastą tenisa. Uosabiał radość, entuzjazm i optymizm. Bardzo go brakuje żonie Marcie, zajmującej się fizyką materii skondensowanej w Instytucie Fizyki PAN, córkom Magdzie i Mai, wnukom Mikołajowi i Milenie oraz nam i wielu innym ludziom, z którymi splotły się jego losy.



(fot. Marta Cieplak, archiwum rodzinne)

NAGRODY I WYRÓŻNIENIA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO 2022

Nagroda Naukowa PTF im. Wojciecha Rubinowicza: prof. dr hab. Andrzej Stupakiewicz

(Wydział Fizyki, Uniwersytet w Białymstoku)
za cykl wybitnych prac naukowych dotyczących bardzo aktualnego odkrycia i wyjaśnienia mechanizmów ultraszybkiego przełączania magnetyzacji w warstwach granatów

Nagroda PTF za rozprawę doktorską im. Zygmunta Florentego Wróblewskiego:

dr Piotr T. Grochowski (CFT PAN w Warszawie)
za rozprawę *Dynamics of binary quantum mixtures*, przygotowaną pod opieką prof. dr. hab. Kazimierza Rzążewskiego

Wyróżnienie:

dr Maciej Kozarzewski (Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski w Katowicach)
za rozprawę doktorską *Transport properties of disordered quantum chains with many-body interactions*, napisaną pod opieką prof. dr. hab. Marcina Mierzejewskiego

Nagroda PTF za pracę magisterską

im. Arkadiusza Piekary:
mgr Małgorzata Strzałka (Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska)
za pracę magisterską *Pomiar splątania pomiędzy układem i otoczeniem powstającego podczas czystej dekoherencji fazowej*, przygotowaną pod opieką dr hab. inż. Katarzyny Roszak

Nagroda PTF za popularyzację fizyki

i Medal im. Krzysztofa Ernsta:

dr hab. Katarzyna Grabowska (Wydział Fizyki UW, Oddział Warszawski PTF)
za aktualną działalność popularyzującą naukę, a zwłaszcza za organizację i koordynowanie grantów dla uczniów na projekty naukowe *Ochota na naukę (2017–2022)*

Nagroda PTF za popularyzację fizyki

i Medal im. Krzysztofa Ernsta:

prof. dr hab. Stanisław A. Różański (Akademia Nauk Stosowanych im. Stanisława Staszica w Pile)
za wieloletnią, wyróżniającą się działalność popularnonaukową, skalę prowadzonych działań,

a zwłaszcza za ich różnorodność: wykłady popularnonaukowe ilustrowane doświadczeniami dla dzieci i młodzieży, wykłady otwarte, wystawy interaktywne, konkursy, artykuły popularnonaukowe i skrypty, liczne projekty edukacyjne unijne, krajowe i międzynarodowe

Nagroda PTF za artykuł popularnonaukowy w roku 2021:

dr Szymon Charzyński (Wydział Fizyki UW)
za cykl artykułów popularnonaukowych w roku 2021, a w szczególności za artykuł *Jeszcze trochę o geometrii kolejowej*

Nagroda PTF I stopnia im. Grzegorza Białkowskiego dla wyróżniających się nauczycieli i Medal Grzegorza Białkowskiego:

mgr Joanna Sztuka-Janik (Szkoła Podstawowa nr 3 w Bielsku-Białej)

za rozbudzenie wśród uczniów zainteresowania fizyką oraz znaczące osiągnięcia w pracy z młodzieżą

Nagroda PTF II stopnia dla wyróżniających się nauczycieli:

mgr Mirosław Galikowski (XXI LO im. Hugona Kołłątaja)

za rozbudzenie wśród uczniów zainteresowania fizyką oraz znaczące osiągnięcia w pracy z młodzieżą

Nagroda PTF II stopnia dla wyróżniających się nauczycieli:

mgr Urszula Setlak (XXI LO im. Hugona Kołłątaja)

za rozbudzenie wśród uczniów zainteresowania fizyką oraz znaczące osiągnięcia w pracy z młodzieżą

■ Nagrody specjalne

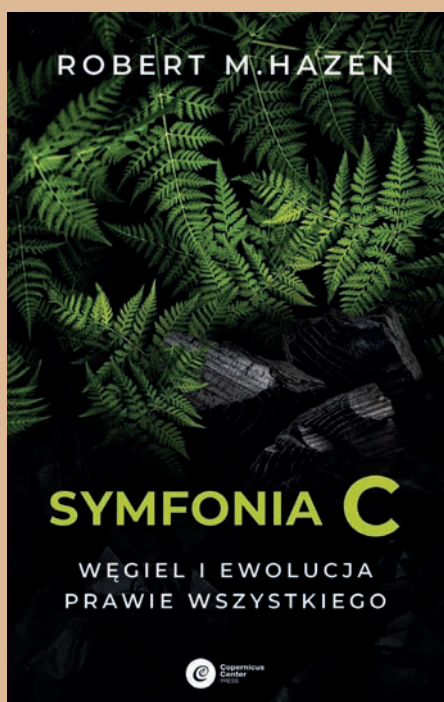
dr inż. Grzegorz Siudem (Zakład Układów Złożonych, Wydział Fizyki PW) i **dr inż. Maciej Mrowiński** (Zakład Układów Złożonych, Wydział Fizyki PW)

za organizację Sympozjów z Fizyki Interdyscyplinarnej w Naukach Społecznych w latach 2016–2022

dr Krzysztof Petelczyk (Wydział Fizyki PW)

za inicjatywę i zaangażowanie w realizację obchodów Roku Mieczysława Wolfkego, a także aktywny udział w innych przedsięwzięciach PTF

Serdecznie gratulujemy wszystkim nagrodzonym i wyróżnionym!

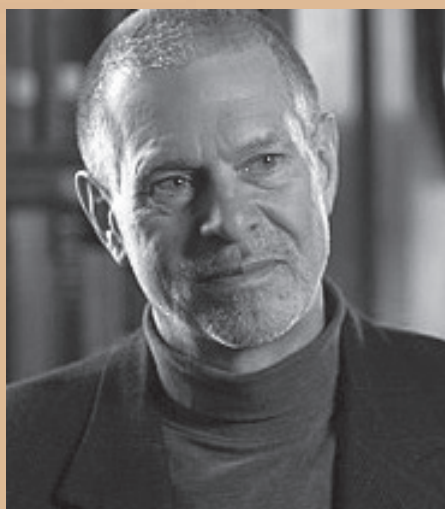


SYMFONIA C

Węgiel i ewolucja prawie wszystkiego

Naszym drugim imieniem jest węgiel. Dosłownie, ponieważ wszystkie istoty żyjące w 1/5 składają się z tego pierwiastka. Więcej jest w nas tylko tlenu. Bierzemy udział w wielkiej symfonii, której tonację wyznacza **C** jak carboneum, pierwiastek wyjątkowo łatwo wchodzący w owocne związki z innymi rezydentami tablicy Mendelejewa. Nie siedzimy na widowni. Występujemy na scenie obejmującej cały Wszechświat. Jesteśmy uwikłani w niekończące się, splecione ze sobą cykle węglowe. Ziemia, Powietrze, Ogień, Woda – symfonia Hazena jednoczy wszystkie żywioty.

C daje energię; **C** daje życie; jeśli jednak będziemy się z nim obchodzić lekkomyślnie, to **C** może je odebrać. Robert Miller Hazen opowiada o węglu z perspektywy znawcy, szefa wyjątkowego przedsięwzięcia o nazwie Deep Carbon Observatory, ale formę opowieści podporządkowuje prawom muzyki, która jest jedną z jego pasji – będąc profesjonalnym trębaczem grywał w najlepszych salach koncertowych świata.



Robert M. Hazen

Pracownik naukowy Carnegie Institution for Science i profesor w dziedzinie nauk o Ziemi na Uniwersytecie George'a Masona. Autor ponad 350 artykułów i 20 książek z takich dziedzin jak historia, muzyka, nauki o Ziemi, o materiałach i początkach życia.