

POSTĘPY FIZYKI



CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ

Kryształy czasowe

Krzysztof Sacha

Wielkie oko – nowe okno na Wszechświat

Jakub Janiec

**Kamienie milowe & wyzwania ekonofizyki
a także socjofizyki**

Ryszard Kutner

1 / 2022
TOM 73

nr indeksu 369721

ISSN 0032-5430



9 770032 543226

01





POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE (PTF)

www.ptf.net.pl

ZARZĄD GŁÓWNY

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

BIURO ZARZĄDU

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

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW

Krzysztof Szymański (Białystok)
Adam Gadomski (Bydgoszcz)
Ewa Mandowska (Częstochowa)
Jarosław Rybicki (Gdańsk)
Adam Michczyński (Gliwice)
Paweł Zajdel (Katowice)
Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce)
Józef Spątek (Kraków)
Marcin Turek (Lublin)
Karol Jakub Jędrzejczak (Łódź)
Katarzyna Książek (Opole)
Henryk Drozdowski (Poznań)
Gaweł Żyła (Rzeszów)
Miroslaw Brozis (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)
Sławomir Mamica (Poznań)
Jacek Fal (Rzeszów)
Agnieszka Włodarkiewicz (Słupsk)
Janusz Typek (Szczecin)
Michał Pawlak (Toruń)
Grzegorz Siudem (Warszawa)
Ewa Dębowska (p.o.) (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 *Postępów Fizyki*,

zapraszam do zapoznania się z pierwszym tegorocznym numerem PF, w którym: prof. dr hab. **Andrzej K. Wróblewski** opowiada o wynikach śledztwa, jakie przeprowadził w sprawie ustalenia dokładnej daty otwarcia uniwersyteckiego Zakładu Fizycznego w gmachu przy ul. Hożej 69 w Warszawie; prof. dr hab. **Krzysztof Sacha** zastanawia się, czy przyszła już kolej na czasotronikę; astrobiolog, biofizyk molekularny, cytometrysta, niedoszły astronauta **Jakub Janiec** zdradza szereg szczegółów dotyczących nowego teleskopu kosmicznego Jamesa Webba, który 25.12.2021 wyruszył w podróż do punktu L2, skąd będzie obserwował Wszechświat w podczerwieni; prof. dr hab. **Ryszard Kutner** zachwala ekonofizykę i socjofizykę –dziedziny nietuzinkowe i wielce interesujące; filozof i fizyk prof. dr hab. **Tomasz Bigaj** pyta: Is the Galilean law of free fall an *a priori* truth?; uczennica liceum **Nina Cielica** wraz z doktorantką **US Barbarą Szymańską-Markowską** opisują huragan w filiżance kawy z mlekiem.

W Kronice PTF publikujemy garść informacji, jednak wciąż za mało z uwagi na **brak doniesień z większości oddziałów PTF**, a także wspomnienia o fizykach, którzy już odeszli. Jedno z nich jest bardzo obszerne w porównaniu ze wspomnieniami zamieszczanymi zwykle w PF. Redakcja zdecydowała się udzielić gościny ponad dwudziestu autorom z listy My'64. Są to fizycy i fizyczki, którzy wraz ze zmarłym niedawno Krzysztofem Gawędzkim rozpoczęli studia na Hożej w 1964 roku. Rozsiani niemal po całym świecie stanowią niezwykłą społeczność zachowującą do dziś bliskie relacje przyjacielskie i koleżeńskie.

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/

redaktor naczelna PF



Zwierciadło kosmicznego teleskopu Jamesa Webba. Zdjęcie wykonał 14 października 2016 główny fotograf NASA Chris Gunn po udanych testach „środka krzywizny”. Jednym z etapów tych testów było sprawdzenie, czy lustro wytrzyma silne wibracje i przeciążenia, których dozna podczas startu rakiety. Technik z latarką to George Mooney (fot. NASA)

Kryształy czasowe

K. Sacha 2

Wielkie oko – nowe okno na Wszechświat

J. Janiec 7

Kamienie milowe & wyzwania ekonofizyki a także socjofizyki cz. 1

R. Kutner 11

Is the Galilean law of free fall an *a priori* truth?

T. Bigaj 21

Huragan w filiżance, czyli ruch trochoidalny i efekty niestabilności podczas dyfuzji kawy z mlekiem

N. Cielica, B. Szymańska-Markowska 24

Zaczynamy!

A. K. Wróblewski 30

Krzysztof Gawędzki (1947–2022) 36

Niezwykły, krakowski tandem naukowy

M. Massalska-Arodź, M. Pawłowska, A. Szytuła 44

Kronika Polskiego Towarzystwa Fizycznego 47

Kryształy czasowe

Krzysztof Sacha*

Instytut Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie**

Abstrakt. W artykule przedstawiono krótką historię kryształów czasowych – układów, które na wzór formowania się przestrzennych kryształów samoorganizują się spontanicznie w okresowe zachowanie w czasie. Opisano również badania dotyczące fizyki fazy skondensowanej w wymiarze czasowym. Okazuje się, że zjawiska takie jak lokalizacja Andersona, wielociałowa lokalizacja czy fazy topologiczne można realizować i badać w czasie. W perspektywie wyłania się czasotronika: budowa użytecznych urządzeń wykorzystujących struktury krystaliczne w czasie.

Słowa kluczowe: kryształy czasowe, faza skondensowana w domenie czasu, czasotronika

Abstract. The article presents a short history of time crystals – systems which, like the formation of spatial crystals, self-organize spontaneously into periodic behavior but over time. Research on condensed matter in the time dimension is also described. It turns out that phenomena such as Anderson's localization, multi-body localization or topological phases can be investigated in the time domain. In the future, one can expect time-tronics, that is, construction of useful devices that use crystalline structures in time.

Keywords: time crystals, condensed matter in the time domain, time-tronics

1. Krótka historia kryształów czasowych

Zwykle wykłady na temat kryształów czasowych zaczynam od kryształów przestrzennych, bo te wszyscy znamy znacznie lepiej. Kryształy przestrzenne powstają w wyniku oddziaływań między atomami, które w sprzyjających warunkach tworzą regularne, okresowe ułożenie w przestrzeni. Jeżeli wyidealizujemy realną sytuację i rozważymy stan podstawowy układu fizyki ciała stałego, to stan taki musi łamać symetrię ze względu na translację wszystkich atomów o dowolny wektor w przestrzeni, aby opisywał kryształ przestrzenny. Symetria jest łamana spontanicznie, ponieważ nigdy nie wiadomo, gdzie dokładnie będzie zlokalizowana wyłaniająca się struktura krystaliczna [1].

W 2012 roku laureat Nagrody Nobla, Frank Wilczek, opublikował artykuł, który otworzył nową dziedzinę fizyki. Przedstawił propozycję kwantowego układu wielu ciał, który miał spontanicznie łamać symetrię ze względu na translacje w czasie i tworzyć kryształ czasowy w stanie podstawowym. Innymi słowy, z powodu oddziaływań między ciałami, układ miał spontanicznie wpędzać się w ruch okresowy w stanie o najniższej energii. Niestety bardzo szybko okazało się, że prawa fizyki nie pozwalają na realizację idei przedstawionej przez Franka

Wilczka i wydawało się, że jak szybko kryształy czasowe się pojawiły, tak szybko odejdą w zapomnienie [1]. Jednak ziarno nowej dziedziny zostało zasiane. Kiedy w 2012 roku czytałem pracę Franka Wilczka, którą zainteresował mnie Jakub Zakrzewski, dotarło do mnie, że struktury krystaliczne w czasie mogą powstawać w inny sposób. Układ oddziałujących atomów, który napędzany jest okresowo, może spontanicznie zacząć poruszać się z okresem innym niż okres podyktowany przez okresowo zmieniającą się zewnętrzną siłę. Spontanicznie powstaje nowy ruch okresowy – spontanicznie tworzy się nowa struktura krystaliczna w czasie. Artykuł na ten temat opublikowałem na początku 2015 roku [2]. Rok później pojawiły się prace grup amerykańskiej i amerykańsko-niemieckiej opisujące to samo zjawisko w układach spinowych [3, 4], ruszyły pierwsze eksperymenty [5, 6] i powstała dziedzina dyskretnych kryształów czasowych – „dyskretnych”, ponieważ spontanicznie łamana jest dyskretna (nie ciągła) symetria translacyjna w czasie związana z okresowością zewnętrznego zaburzenia.

Dziedzina kryształów czasowych rozwija się znakomicie. Okazuje się, że w domenie czasu nie tylko mogą tworzyć się spontanicznie struktury krystaliczne, ale można również realizować zjawiska znane z fizyki ciała stałego [7, 1]. Prowadzone są badania teoretyczne i przeprowadzane są nowe eksperymenty. W bieżącym roku zrealizowano dyskretny kryształ czasowy w bardzo atrakcyjnym układzie, tj. w komputerze kwantowym

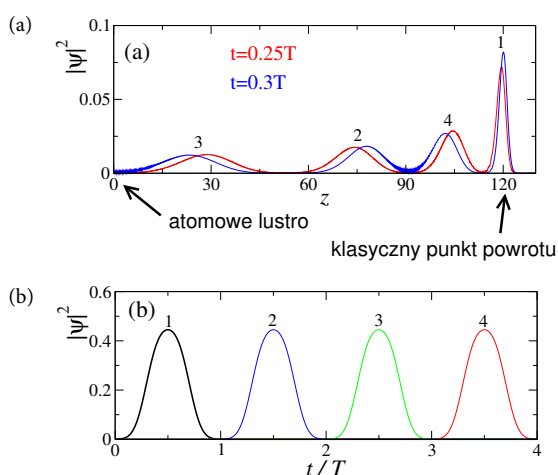
*ORCID 0000-0001-6463-0659

**Krzysztof Sacha, profesor na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego, jest pionierem nowej dziedziny fizyki – czasotroniki. Oprócz kryształów czasowych bada ultrazimne gazy atomowe, a wcześniej m.in. chaos kwantowy i jonizację w silnych polach (przyp. red.).

wym Google'a. Również w 2021 roku młodzi współautorzy wspomnianych artykułów grup amerykańskiej i amerykańsko-niemieckiej otrzymali nagrody Breakthrough Prizes (Oskary w nauce) w kategori New Horizons.

2. Fizyka ciała stałego w wymiarze czasowym

Jeżeli cząstkę, która może poruszać się okresowo, będziemy periodycznie zaburzać i spełniony będzie warunek rezonansu (tzn. częstość zaburzenia ω będzie całkowitą wielokrotnością częstości niezaburzonego ruchu cząstki), to w układzie odniesienia poruszającym się wzdłuż rezonansowej trajektorii, ruch cząstki staje się identyczny z ruchem elektronu w przestrzennie periodycznym potencjale utworzonym przez regularnie rozłożone jony w kryształce przestrzennym [7, 1]. Gdy powrócimy z układu poruszającego się do układu laboratoryjnego, to zaobserwujemy strukturę krystaliczną w domenie czasu.



Rys. 1. Atom rezonansowo odbijany przez oscylujące atomowe lustro – rysunek ilustruje rezonans 4:1. Rezonansowe stany atomu są superpozycją czterech zlokalizowanych pakietów poruszających się wzdłuż klasycznej rezonansowej trajektorii. Rysunek (a) przedstawia gęstość prawdopodobieństwa detekcji atomu w układzie laboratoryjnym w funkcji położenia z dla dwóch różnych chwil czasowych, gdzie $T = 2\pi/\omega$ jest okresem oscylacji lustra. Rysunek (b) prezentuje, jak zmienia się w funkcji czasu gęstość prawdopodobieństwa detekcji atomu w położeniu $z = 120$

Zilustrujmy całą ideę na konkretnym przykładzie atomu odbijanego przez oscylujące atomowe lustro. Załóżmy, że atom odbijany jest jak piłeczka pingpongowa przez raketkę i spełniony jest warunek rezonansu $s:1$ (tzn. między każdym odbiciem piłeczki raketka wykonuje s oscylacji). W układzie poruszającym się wzdłuż rezonansowej trajektorii, atom opisany jest przez stany, które mają strukturę fal Blocha. Zobaczmy, jak w układzie laboratoryjnym wygląda przykładowy stan Blocha. Rysunek 1(a) przedstawia odpowiednią gęstość prawdopodobieństwa w układzie laboratoryjnym, w przestrzeni konfiguracyjnej dla dwóch wybranych chwil czasu ($s = 4$ zostało wybrane tylko z powodu łatwiejszej ilustracji na rysunkach, ale pamiętajmy, że aby badać fizykę ciała

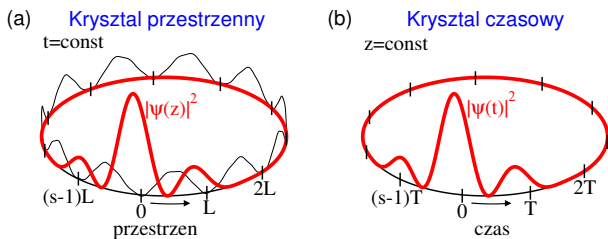
stałego w czasie interesuje nas $s \gg 1$). Widzimy 4 pakiety falowe, które poruszają się wzdłuż rezonansowej trajektorii i odbijane są przez oscylujące atomowe lustro. Przestrzeń konfiguracyjna nie jest jednak domeną, w której możemy obserwować strukturę krystaliczną, bo ta wyłania się w domenie czasu. Jeśli umieścimy detektor w okolicy rezonansowej trajektorii, to zmiany prawdopodobieństwa „kliknięcia” detektora w funkcji czasu odzwierciedlą strukturę krystaliczną (rys. 1(b)). Aby lepiej zilustrować związek z fizyką ciała stałego, ograniczmy się do podprzestrzeni Hilberta rozpiętej na s zlokalizowanych pakietach falowych $w_i(z, t)$ widocznych na rys. 1, które periodycznie poruszają się wzdłuż rezonansowej trajektorii. Zatem zakładamy, że funkcja falowa atomu $\psi(z, t) = \sum_{i=1}^s a_i w_i(z, t)$. Wówczas energię atomu możemy przedstawić w postaci tzw. hamiltonianu ciasnego wiązania, dobrze znanego z opisu układów fazy skondensowanej,

$$H \approx -\frac{J}{2} \sum_{i=1}^s (a_{i+1}^* a_i + a_i^* a_{i+1}), \quad (1)$$

gdzie J jest amplitudą tunelowania atomu między sąsiednimi pakietami falowymi. Pisząc „sąsiednie pakiety” mam na myśli pakiety, które sąsiadują ze sobą na osi czasu, patrz rys. 1(b). Istnieje również tunelowanie atomu między pakietami bardziej odległymi na osi czasu, ale jest ono wiele rzędów wielkości słabsze, podobnie jak to ma miejsce w opisie kryształu przestrzennego. W fizyce fazy skondensowanej, hamiltonian ciasnego wiązania (1) otrzymujemy wykorzystując bazy tzw. stanów Wanniera, które są stanami zlokalizowanymi w „oczkach” sieci krystalicznej. W przypadku kryształu czasowego rolę stanów Wanniera pełnią zlokalizowane pakiety falowe $w_i(z, t)$, które poruszają się periodycznie wzdłuż rezonansowej trajektorii.

Jakie zjawiska znane z fizyki fazy skondensowanej możemy realizować w domenie czasu? Naszą wyprawę rozpoczęliśmy w 2015 roku, kiedy pokazaliśmy, że lokalizację Andersona oraz tzw. fazę izolatora Motta można obserwować w wymiarze czasowym [8]. Zjawisko lokalizacji odkryte przez Philipa Andersona, za co w 1977 roku otrzymał Nagrodę Nobla, wiąże się z lokalizacją elektronu w kryształce przestrzennym z powodu występowania nieporządku w potencjale utworzonym przez jony. W przeciwieństwie do mechaniki klasycznej, mechanika kwantowa przewiduje zanik transportu elektronu w kryształce z powodu destruktywnej interferencji fal materii rozproszonych przez potencjał z nieporządkiem. Towarzyszy temu lokalizacja stanów własnych elektronu z eksponencjalnie zlokalizowanym profilem gęstości prawdopodobieństwa w przestrzeni. Lokalizacja Andersona może być również obserwowana w przestrzeni

pędów (tzw. lokalizacja dynamiczna) i odpowiada kwantowemu zatrzymaniu ruchu dyfuzyjnego w przestrzeni fazowej w układach, które klasycznie są chaotyczne [1] – źródłem nieporządku w takich układach jest dynamika chaotyczna. Okazuje się, że możliwa jest nowa odmiana lokalizacji Andersona: lokalizacja Andersona w domenie czasu spowodowana istnieniem nieporządku w czasie. Zilustrujmy to zjawisko przykładem atomu odbijanego przez oscylujące atomowe lustro, ale obecnie założymy, że lustro nie oscyluje w pełni regularnie. W ruchu lustro pojawia się słabe zaburzenie, które fluktuuje przypadkowo w czasie, ale spełnia periodyczne warunki brzegowe w domenie czasu na długiej skali czasowej sT , gdzie $T = 2\pi/\omega$ jest okresem regularnych oscylacji lustra. Fluktuujące zaburzenie wprowadza nieporządek do układu i można zaobserwować lokalizację Andersona. Oznacza to, że prawdopodobieństwo pomiaru atomu w ustalonym punkcie w przestrzeni zlokalizowane jest eksponencjalnie wokół pewnej chwili czasowej (rys. 2). Lokalizacja Andersona w czasie może być obserwowana w bardzo różnych układach: od ultrazimnych atomów umieszczonych w potencjale fluktuującym w czasie, po elektron w atomie wodoru, który jest zaburzany przez fluktuujące pole mikrofalowe.



Rys. 2. Porównanie jednowymiarowego kryształu przestrzennego z periodycznymi warunkami brzegowymi z kryształem czasowym. W przypadku kryształu przestrzennego interesuje nas jak zmienia się ułożenie atomów w przestrzeni w ustalonej chwili czasu, tj. w momencie detekcji. Jeśli w kryształach istnieje nieporządek, elektron poruszający się w kryształach może ulec lokalizacji Andersona. Wtedy w pewnym punkcie w kryształach przedstawionym na rysunku (a) zaobserwujemy zlokalizowany elektron. Przechodząc od kryształu przestrzennego do czasowego musimy zamienić rolę czasu i przestrzeni, tj. ustalamy położenie i pytamy, jak zmienia się w czasie prawdopodobieństwo pomiaru cząstki w tym położeniu. W przypadku lokalizacji Andersona w kryształach czasowych, prawdopodobieństwo to będzie eksponencjalnie zlokalizowane wokół pewnej chwili czasu i to zachowanie będzie powtarzało się z powodu periodycznych warunków brzegowych w czasie – rysunek (b)

Warto w tym momencie porównać kryształy czasowe i przestrzenne. W kryształach przestrzennych pytamy o periodyczne ułożenie atomów w przestrzeni w wybranej chwili czasu, tj. w chwili detekcji. Przechodząc od kryształów przestrzennych do czasowych zamieniamy rolę czasu i przestrzeni, tj. ustalamy położenie w przestrzeni i pytamy czy prawdopodobieństwo pomiaru atomu w ustalonym położeniu zmienia się periodycznie w czasie [1] (rys. 2).

Fizyka fazy skondensowanej w domenie czasu nie ogranicza się do lokalizacji Andersona. Mając pod ręką dodatkowy stopień swobody – czas, możemy kreować kryształy czasowe o własnościach topologicznych, możemy rezonansowo napędzać oddziałujące atomy i realizować fazę izolatora Motta lub lokalizację wielociałową [1]. Jeżeli zamienimy pojedyncze oscylujące lustro atomowe na dwa prostopadłe do siebie oscylujące lustra, to atomy odbijane rezonansowo przez lustra będą opisane dwuwymiarowym modelem fizyki ciała stałego i wówczas dwuwymiarowe zjawiska fazy skondensowanej można badać za pomocą rezonansowo napędzanych atomów [1]. Eksperymentalna demonstracja naszych idei fizyki ciała stałego w czasie jest obecnie realizowana w laboratorium Petera Hannaforda z Swinburne University of Technology w Melbourne [9].

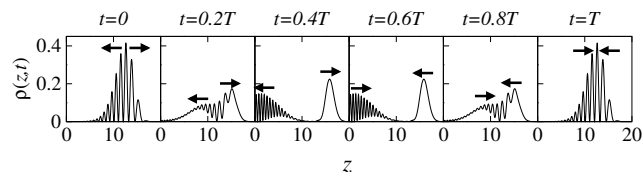
3. Dyskretne kryształy czasowe

Opisane w części 2 kryształy czasowe kreowane są zewnętrznie, podobnie jak wytwarzane są kryształy fotoniczne, gdzie ośrodek dielektryczny z periodycznie zmieniającym się w przestrzeni współczynnikiem załamania fabrykowany jest w laboratorium. Jednak wiemy, że przestrzenne kryształy powstają spontanicznie i wiążą się z łamaniem symetrii translacyjnej w przestrzeni. Wróćmy zatem do pytania, czy struktury krystaliczne w czasie mogą powstawać spontanicznie. Opiszę pierwszą propozycję dyskretnego kryształu czasowego [2], co będzie o tyle łatwe, że czytelnik został już wprowadzony w problem atomu rezonansowo odbijanego przez oscylujące atomowe lustro.

Jeżeli jeden atom lub cała chmura atomów napędzana jest przez siłę zmieniającą się periodycznie z okresem T , to w opisie kwantowym nie istnieją stany własne energii, gdyż energia nie jest zachowana. Możemy jednak znaleźć pewien rodzaj stanów stacjonarnych, ponieważ hamiltonian zmienia się okresowo w czasie, $H(t + T) = H(t)$ – dyskretna symetria translacyjna. Są to stany Floqueta $|u_n(t)\rangle$ będące stanami własnymi hamiltonianu Floqueta $H_F|u_n(t)\rangle = E_n|u_n(t)\rangle$, gdzie

$$H_F = H(t) - i\hbar \frac{\partial}{\partial t}. \quad (2)$$

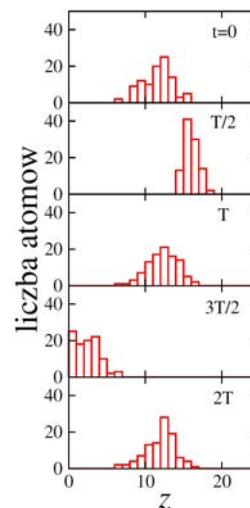
Wszystkie stany Floqueta zmieniają się periodycznie z okresem siły wymuszającej, $|u_n(t + T)\rangle = |u_n(t)\rangle$, co wynika z dyskretnej symetrii translacyjnej w czasie, którą posiada $H(t)$. Wartości własne E_n noszą nazwę kwazienergii. Mamy tu do czynienia z podobną sytuacją jak w przypadku cząstki w periodycznie przestrzennym potencjale – obecność potencjału powoduje, że pęd nie jest zachowany, ale jego periodyczność pozwala wprowadzić pojęcie kwazipędu.



Rys. 3. Atomy odbijane rezonansowo przez periodycznie oscylujące lustro z okresem T – na rysunku rozważamy rezonans 2:1. Jeżeli oddziaływania między atomami są słabe, rezonansowe stany Floqueta opisują kondensat Bosego–Einsteina, gdzie każdy atom jest w tym samym stanie będącym superpozycją dwóch pakietów falowych poruszających się wzdłuż rezonansowej periodycznej trajektorii. Każdy z pakietów porusza się z okresem $2T$, ale ponieważ po każdym okresie oscylacji lustro T zamieniają się rolami, gęstość prawdopodobieństwa pomiaru pojedynczego atomu ewoluuje z okresem T jak przedstawiono na rysunkach. Strzałki ilustrują kierunki ruchu dwóch pakietów falowych

Okazuje się, że dyskretna symetria translacyjna w czasie może ulec spontanicznemu złamaniu, jeśli weźmiemy pod uwagę układ wielu oddziałujących atomów, które odbijane są przez oscylujące atomowe lustro. Rozważmy przypadek, kiedy atomy są bozonami i poruszają się wzdłuż periodycznej trajektorii odpowiadającej rezonansowi 2:1. Jeśli oddziaływania między atomami są słabe, stany Floqueta układu atomów opisują kondensat Bosego–Einsteina, w którym każdy atom jest w tym samym stanie będącym superpozycją dwóch pakietów falowych poruszających się z okresem $2T$ wzdłuż rezonansowej trajektorii. Wprawdzie pakiety ewoluują z okresem $2T$, ale po każdym okresie oscylacji lustro zamieniają się rolami i stan będący ich superpozycją ewoluuje z okresem T (rys. 3). Sytuacja robi się ciekawsza, jeśli oddziaływania między atomami są przyciągające i ich siła rośnie. W pewnym momencie zachodzi kwantowe przejście fazowe i zmienia się natura rezonansowych stanów Floqueta. Z powodu oddziaływań przyciągających, energetycznie korzystniejsze staje się zgrupowanie wszystkich atomów w pojedynczym pakiecie falowym. Aby pogodzić wymóg energetyczny i nakaz wynikający z symetrii translacyjnej w czasie, tworzą się zdegenerowane pary stanów Floqueta $|\psi_{\pm}\rangle$ będących makroskopową superpozycją dwóch kondensatów, tzn. wszystkie atomy obsadzają pierwszy pakiet falowy i jednocześnie wszystkie obsadzają drugi pakiet falowy, $|\psi_{\pm}\rangle \propto |N, 0\rangle \pm |0, N\rangle$, gdzie N jest liczbą atomów. Innymi słowy stany Floqueta przyjmują postać kotów Schrödingera. Wprawdzie takie stany Floqueta wciąż ewoluują z okresem T , ale wiadomo, że kotów Schrödingera nie da się zaobserwować w rzeczywistości. W naszym przypadku wystarczy pomiar położenia jednego atomu (przeprowadzony intencjonalnie przez nas lub przez otoczenie, kiedy np. trójcałowe zderzenie atomów spowoduje powstanie molekule i ucieczkę atomu unoszącego energię wiązania molekule), aby nastąpił kolaps kota Schrödingera do stanu $|N-1, 0\rangle$ lub $|0, N-1\rangle$ w zależności od wyniku pomiaru. Od tego momentu ewolucja przebiega z okresem $2T$

(rys. 4), co oznacza, że nastąpiło złamanie dyskretniej symetrii translacyjnej w czasie. Wyłonił się nowy ruch periodyczny, wyłoniła się nowa struktura krystaliczna w czasie – wyłonił się dyskretny kryształ czasowy. Czas życia dyskretnych kryształów czasowych rośnie eksponencjalnie szybko ze wzrostem N , a więc dla dużych układów jest niemierzalnie długi.



Rys. 4. Układ podobny do układu rozważanego na rys. 3, przy czym atomy oddziałują odpowiednio silnie. Rezonansowe stany Floqueta ewoluują z okresem T , ale stają się kotami Schrödingera, kiedy wszystkie atomy obsadzają jeden pakiet falowy i jednocześnie drugi pakiet falowy. Pomiar położenia jednego atomu powoduje kolaps kota Schrödingera i od tego momentu ewolucja przebiega z okresem $2T$ – łamana jest dyskretna symetria translacyjna w czasie i wyłania się dyskretny kryształ czasowy. Każdy histogram to wynik pomiaru położenia 100 atomów, przeprowadzonego w innej chwili czasu w układzie $N = 10^4$ atomów

To wszystko dobrze przypomina sytuację znaną z fizyki fazy skondensowanej. W stanie podstawowym układ fizyki ciała stałego zachowuje przestrzenną symetrię translacyjną, ale najniższa energia oznacza, że środek masy układu jest zupełnie zdelokalizowany, bo lokalizacja podwyższałaby energię kinetyczną. Wystarczy zmierzyć położenie jednego atomu, aby zlokalizować kryształ przestrzenny i aby kolejne pomiary ukazywały zlokalizowaną strukturę krystaliczną. Ktoś może zadać pytanie jak długo należałoby czekać, aby zaobserwować kwantowe rozplywanie się pakietu opisującego zlokalizowany środek masy kryształ przestrzenny, a co za tym idzie „rozmywanie się” struktury krystalicznej? Rachunek jest prosty: jeśli środek masy kryształ o masie 1 kg zlokalizowany został na skali rzędu 10^{-11} m, to aby rozmył się on w zakresie rzędu stałej sieci kryształ (tj. 10^{-10} m), będziemy musieli poczekać 50000 lat i to pod warunkiem, że w tym czasie nie nastąpił kolejny pomiar, który mógłby ponownie zlokalizować środek masy. Opisany przykład ilustruje ważną cechę kryształów czasowych: muszą składać się one z dużej liczby atomów, bo tylko wówczas ich czas życia jest niemierzalnie długi.

Wróćmy do dyskretnych kryształów czasowych. Kryształy czasowe w układzie atomów odbijanych przez atomowe lustro są aktualnie realizowane w laboratorium Petera Hannaforda w Melbourne. Późniejsze pomysły grup amerykańskiej i amerykańsko-niemieckiej dotyczyły układów spinowych, w których kierunki spinów były periodycznie zmieniane na przeciwne [3, 4]. Kryształy czasowe w układach spinowych zostały zrealizowane eksperymentalnie w 2017 roku [5, 6], a niedawno w komputerze kwantowym Google'a.

Opisane dyskretne kryształy czasowe wiążą się z podwojeniem okresu ewolucji układu, gdy następuje spontaniczne złamanie dyskretnej symetrii translacyjnej w czasie. Podwojenie okresu ruchu w kwantowych układach dyssypatywnych było znane wcześniej. Różnica między dyssypatywnymi układami, a dyskretnymi kryształami polega na różnym mechanizmie transferu energii do układu. W układach dyssypatywnych, periodycznie napędzany układ wielu ciał absorbuje energię, a następnie pozbywa się jej oddając otoczeniu. W przypadku kryształów czasowych mamy do czynienia z zamkniętymi układami wielu ciał i spodziewalibyśmy się, że periodyczne napędzanie będzie pompować energię do układów, które rozgrzeją się do nieskończonej temperatury. Tak się jednak nie dzieje, łamana jest ergodyczność i dlatego dyskretne kryształy czasowe nazywane są czasami nowym stanem materii.

4. Perspektywy

Wspominałem na początku, że dziedzina kryształów czasowych rozwija się znakomicie. Bardzo ważne są badania eksperymentalne, bo one stymulują rozwój. Zrealizowane dotychczas dyskretne kryształy czasowe odpowiadały periodycznej ewolucji z okresem dwa razy lub trzy razy dłuższym niż okres zmian periodycznego zaburzenia. Są to tzw. małe kryształy czasowe. W układzie atomów odbijanych przez oscylujące atomowe lustro można realizować duże kryształy czasowe, których okres ruchu jest nawet sto razy dłuższy niż okres zaburzenia

i takie eksperymenty są obecnie przeprowadzane w laboratorium Petera Hannaforda w Swinburne University of Technology w Melbourne [9]. Układ doświadczalny pozwoli również na realizację różnych faz fizyki ciała stałego w domenie czasu. Bardzo czekamy na wyniki tych eksperymentów, ponieważ potwierdzą one, że nasze idee to nie tylko byt teoretyczny, ale również rzeczywistość laboratoryjna.

Kryształy czasowe mogą powstawać spontanicznie, można badać fizykę fazy skondensowanej w wymiarze czasowym, ale co dalej? Myślę, że przyszła już kolej na czasotronikę. Wiemy czym jest elektronika, wiemy także, że spintronika bada wykorzystanie spinu elektronów do budowy praktycznie przydatnych urządzeń. Istnieje też atomtronika, w ramach której fizycy starają się budować elementy znane z elektroniki za pomocą ultrazimnych gazów atomowych. Rozpoczęliśmy już badania nad czasotroniką, czyli wykorzystaniem struktur krystalicznych w czasie do budowy urządzeń, które będzie można wykorzystać w praktyce. Duże dyskretne kryształy czasowe oraz możliwość realizacji w czasie faz znanych w fizyce ciała stałego daje nadzieję na ciekawe rezultaty.

Literatura

- [1] K. Sacha, *Time Crystals*, Springer International Publishing, Switzerland, Cham, 2020.
- [2] K. Sacha, *Phys. Rev. A* **91**, 033617 (2015).
- [3] V. Khemani, A. Lazarides, R. Moessner, S. L. Sondhi, *Phys. Rev. Lett.* **116**, 250401 (2016).
- [4] D. V. Else, B. Bauer, C. Nayak, *Phys. Rev. Lett.* **117**, 090402 (2016).
- [5] J. Zhang et al., *Nature* **543**, 217 (2017).
- [6] S. Choi et al., *Nature* **543**, 221 (2017).
- [7] L. Guo and P. Liang, *New Journal of Physics* **22**, 075003 (2020).
- [8] K. Sacha, *Sci. Rep.* **5**, 10787 (2015).
- [9] K. Giergiel, A. Kosior, P. Hannaford, K. Sacha, *Phys. Rev. A* **98**, 013613 (2018).

Z twierdzy Barad-Dûr, Pan Mordoru widzi wszystko. Jego wzrok przenika chmury, cienie, lądy i ciała. Wiesz o kim mówię Gandalfie. Wielkie oko bez powieki, okolone ogniem [...]

J.R.R. Tolkien

Wielkie oko – nowe okno na Wszechświat

Jakub Janiec*

Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego, PAN**

Abstrakt. W momencie pisania tego tekstu świat z niecierpliwością spoglądał na niebo zastanawiając się, czy aby na pewno się uda? Lata opóźnień, problemy techniczne, nawet rozłożenie i ponowne złożenie całego urządzenia, aby upewnić się, że wszystko jest na miejscu i działa tak jak powinno. Kosmiczny teleskop im. Jamesa Webba przysporzył nam wiele problemów, nerwów oraz odpowiedzialny jest za niejedną siwy włos. W końcu nadszedł ten wielki dzień 25.12.2021!...

Słowa kluczowe: teleskop Jamesa Webba, astrobiologia, nowe technologie, astronomia, Wszechświat, pierwsze galaktyki, pierwsze gwiazdy, podczerwień

Abstract. At the moment of writing this article, the world was looking up nervously asking itself *Will it'll be all right?*. Years of delay, technical issues. Even disassembly and assembly again and all this to make sure that everything will work as it should. James Webb Space Telescope is responsible for many sleepless nights and gray hairs. Yet, here we are, the big day 25 December 2021!...

Keywords: James Webb Telescope, astrobiology, new technologies, astronomy, Universe, first galaxies, first stars, infrared

Teleskop im. Jamesa Webba¹ (ang. James Webb Space Telescope, w skrócie JWST) w liczbach:

- koszt: 10 mld USD
- masa: 6500 kg
- lustro: 6,5 m (średnicy)
- rozmiar taraczy słonecznej: 21 m × 14 m
- “zasięg”: 13,5 mld lat świetlnych
- czas poświęcony na konstrukcję: 40 mln roboczogodz.
- planowany czas eksploatacji: 5 lat (z możliwym wydłużeniem do 10)
- zasilanie: panele słoneczne (2 kW)
- w budowie JWST brało udział 14 krajów

*ORCID: 0000-0001-7046-7165

**Biofizyk molekularny, astrobiolog, cytometrysta, niedoszły astronauta. Współzałożyciel i jeden z pomysłodawców powstawania Polskiego Towarzystwa Astrobiologicznego. W ramach popularyzacji nauki tworzył i wykladał na “Spotkaniach z Nauką” organizowanych przez Uniwersyteckie Towarzystwo Naukowe (Uniwersytet Śląski, Katowice), uczestniczył w wydarzeniach takich jak Piknik Naukowy Polskiego Radia czy Noc Biologów. W wolnych chwilach projektuje i prowadzi zajęcia w BioCentrum Edukacji Naukowej. Jego zainteresowania naukowe są związane z biofizyką komórki i błony komórkowej, krystalografią i oczywiście astrobiologią. Obecnie pracuje w Instytucie im. M. Nenckiego PAN w Warszawie.

1. James Edwin Webb (1906-1992) administrator NASA odpowiedzialny m.in. za program Apollo w latach 1961-1969.

Dlaczego cały świat okołoastronomiczny z taką cierpliwością czekał na wysłanie kolejnego *Wielkiego oka* w przestrzeń kosmiczną?

Chcąc na to pytanie odpowiedzieć, trzeba się trochę cofnąć w czasie. Wszystkim nam jest znany kosmiczny teleskop Hubble’a. Legendarny wręcz instrument optyczny, który pomógł nam poznać Wszechświat i ukazał cuda, o których nie śnili najwybitniejsi malarze czy poeci. Feeria barw i różnorodność kształtów to tylko ułamek tego, co dostarczył nam teleskop Hubble’a. Od 1990 roku (nie bez problemów) wytrwale pracuje w bardzo wąskim zakresie promieniowania widzialnego, aby dostarczać nam danych o Wszechświecie.

Obok teleskopu Hubble’a mamy jeszcze teleskop Spitzera, który rozpoczął obserwacje w 2003. Jego lustro jest prawie 2,5 x mniejsze oraz pracuje w zakresie podczerwieni i mikrofal. Tak samo jak teleskop Hubble’a, dostarczył nam wielu bezcennych obserwacji. Najgłośniejszym odkryciem ostatniego czasu, dokonany za pomocą Spitzera, było odkrycie systemu Trappist-1, w którym znajdują się egzoplanety (wiele z nich podobnych do Ziemi). Zaletą obserwacji w paśmie podczerwieni jest to, że promieniowanie przebija się przez chmury gazu i pyłu kosmicznego. Pozwala to na zaglądnienie w obszary, które nie

są dostępne dla teleskopu oglądającego świat w zakresie światła widzialnego.

Niestety, żadne urządzenie nie jest wieczne. W tym momencie teleskop Hubble'a liczy sobie już prawie 32 lata. (Staruszek nawet nosi okulary! Soczewki w kształcie chip-sów korygujące błąd w geometrii optyki powstały podczas składania urządzenia.) Jego misja ma się zakończyć między rokiem 2030 a 2040. Teleskop Spitzera będzie pracował jeszcze długie lata, jednak z powodu małego rozmiaru lustra (średnica 0,86 m) jego możliwości są ograniczone. Ilość światła zbieranego przez tak „niewielką” powierzchnię nie pozwala na obserwacje ciemniejszych, dalszych i tym samym starszych obiektów. Jak temu zaradzić?

To pytanie zadali sobie inżynierowie wraz z astronomami już w 1989 podczas warsztatów dotyczących teleskopów kosmicznych. Wtedy to ustalono, że jest potrzebny teleskop orbitalny, pracujący w zakresie podczerwieni. Dodatkowo uzgodniono, że średnica lustra powinna być większa niż 4 m (czyli 2× większa niż lustra teleskopu Hubble'a). Składano propozycje, tworzone projekty. Aż w końcu, w 2002 roku NASA ogłosiła rozpoczęcie prac nad nowym urządzeniem. Sama konstrukcja rozpoczęła się w 2004. Kosmiczny teleskop im. Jamesa Webba powoli zaczął stawać się faktem. Projekt tego obserwatorium pozwalał na spełnienie czterech głównych założeń misji:

- obserwacja promieniowania pochodzącego od pierwszych galaktyk formujących się we Wszechświecie (obiekty prawie 2 razy starsze i bardziej odległe niż dostrzegalne przez teleskop Hubble'a),
- obserwacja ewolucji galaktyk,
- obserwacje procesu formowania się gwiazd oraz układów planetarnych,
- obserwacje egzoplanet, ich atmosfer oraz poszukiwanie biosygnatur.

Cele ambitne i bardzo trudne do spełnienia. Jak zaprojektowano urządzenie, które pozwoli na tak wiele?

Teleskop Webba, podobnie jak teleskop Spitzera, będzie obserwował Wszechświat w podczerwieni. Ten zakres fal elektromagnetycznych pozwala na znacznie więcej niż światło widzialne. Dodatkową zaletą jest to, że każdy obiekt emitujący ciepło, emituje również promieniowanie podczerwone. No właśnie, każdy! W tym również Ziemia i Księżyc, nie wspominając o Słońcu. Biorąc pod uwagę zakładane rozmiary lustra w nowym teleskopie oraz czułość detektorów, obserwacje z niskiej orbity (do ok. 1500 km) mijałyby się z celem. Można by to porównać do obserwowania gwiazd przez teleskop rozstawiony pod bardzo jasną latarnią uliczną. Nic nie zobaczymy, a jeśli chcielibyśmy wykonać zdjęcie, to zostanie ono natychmiast prześwietlone. Jak temu zaradzić? Cóż,

trzeba poprosić o pomoc zespół inżynierów, chemików, fizyków oraz materiałoznawców. Oto kilka z głównych rozwiązań, które zastosowano:

Obserwatorium nie będzie orbitowało wokół Ziemi. Aby zminimalizować zanieczyszczenie promieniowaniem podczerwonym, jakie generuje nasza planeta, należy umieścić teleskop „nieco dalej”, a dokładniej o ok. 1,5 mln kilometrów dalej, w drugim punkcie Lagrange'a (pkt L2). Jednocześnie jest to z pięciu miejsc w Układzie Słonecznym w którym równoważą się siły oddziaływania pola grawitacyjnego Ziemi i Słońca. W pewnym sensie pełnią one rolę miejsc parkingowych w naszym Układzie Słonecznym. Pozwala to na utrzymanie teleskopu w częściowo osłabionym przez Ziemię świetle Słońca oraz w zasadzie rozwiązuje problem promieniowania samej Ziemi. Jednocześnie jest to na tyle blisko, że nie będzie problemu z zasięgiem i komunikacją z teleskopem. JWST z niewielką pomocą żyroskopów i silników pozycjonujących będzie tam orbitował po trajektorii *halo*.

Jednak samo usytuowanie teleskopu nie wystarczy, aby ograniczyć niechciane promieniowanie. Potrzebna jest tarcza.

Jest to chyba jeden z najbardziej rozpoznawalnych elementów teleskopu. Tarcza rozmiarów kortu do tenisa ma jedno i pozornie proste zadanie: zablokować promieniowanie słoneczne. Jednak jest to znacznie trudniejsze niż się wydaje. Pierwsze co może przyjść na myśl, to postawienie zwykłej, jednolitej i nieprzepuszczalnej dla światła bariery. Takie rozwiązanie ma trzy wady:

1. Byłaby ona niesłychanie ciężka, co bardzo utrudniłoby wysłanie teleskopu w przestrzeń kosmiczną.
2. Nawet jeżeli byłaby odpowiednio lekka to musiałaby być odpowiednio cienka. Gruba piankowa tarcza mogłaby się okazać zbyt krucha lub zbyt duża, aby poskładać ją do żądanych rozmiarów. Dodatkowo, jednolity materiał nagrzałby się i zacząłby emitować własne promieniowanie podczerwone, oslepiając teleskop. Można by zastosować aktywne chłodzenie tarczy, ale to byłoby związane z bardzo dużym poborem energii, znacznym zwiększeniem masy teleskopu oraz najpewniej wibracjami.
3. Taką tarczę trudno by było złożyć, a przecież musi być składana, aby zmieściła się do rakiety.

Mając na względzie wspomniane wyżej ograniczenia, zaproponowano inne rozwiązanie. Pięć warstw specjalnej folii pokrytej aluminium i krzemem. Odstęp oraz kąt między warstwami pozwalają na rozproszenie promieniowania, co prowadzi do tego, że każda kolejna warstwa nagrzewa się mniej niż poprzednia. Z 200 000 W, które docierają do pierwszej warstwy, niecały 1 W przedostaje się na drugą stronę całego systemu. Wszystko jednak ma swoją cenę. Składanie sztywnych powierzchni jest

proste. Jednak składanie folii tak, żeby zachowała się w sposób jakiego oczekujemy, to bardzo duże wyzwanie. Aby sobie zwizualizować ten problem, rozłóżcie kawałek nitki na stole. Następnie zacznijcie popychać jeden koniec w stronę drugiego. Jeśli powtórzycie ten eksperyment kilka razy to zauważycie szybko, że nitka złożyła się za każdym razem w inny sposób. Folia zachowa się podobnie.

Dodatkowo istnieje spora szansa na to, że w powierzchni rozmiarów kortu do tenisa uderzy mikrometeor. Spowoduje to pęknięcie, które w wypadku napiętej folii może się przerodzić w rozdarcie. Aby zapobiec zniszczeniu całej warstwy na raz, na powierzchni folii przyklejono siatkę wykonaną ze specjalnej taśmy, która ma zapobiec propagacji ewentualnego rozdarcia. Samo rozkładanie tarczy przeciwsłonecznej miało się rozpocząć siódmego dnia podróży i potrwać trzy dni. W tym czasie 107 spinek trzeba uwolnić w bardzo ściśle określonej sekwencji. Zespół, który konstruował tarczę i projektował jej rozkładanie, określił 344 etapy, w których coś może pójść nie tak. Jeżeli podczas któregoś z tych etapów stanie się coś niepożądanego, teleskop będzie nie do odatowania.

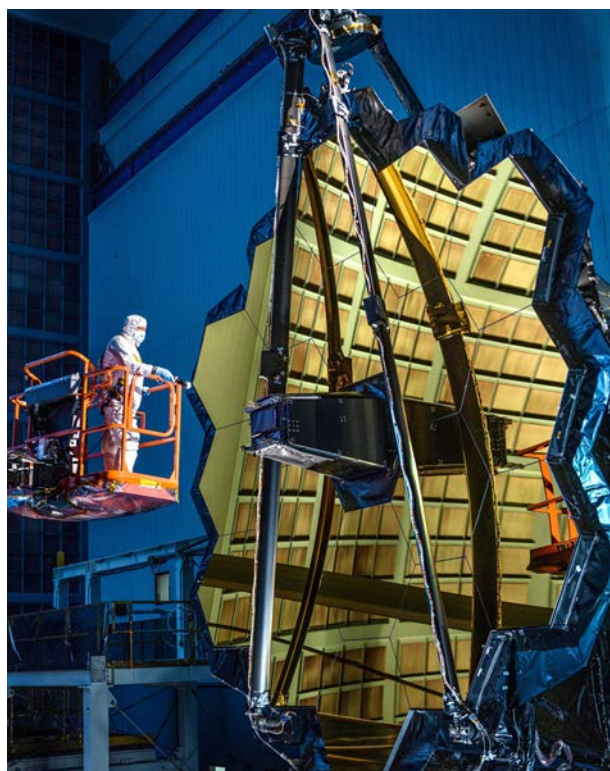
Obserwatorium będzie w dużej mierze odizolowane od ciepła generowanego przez naszą gwiazdę. Jednak dla niektórych instrumentów zainstalowanych na pokładzie teleskopu, 60 K zapewnione przez tarczę przeciwsłoneczną to nadal za dużo. Zawansowany system kriogeniczny pozwoli na schłodzenie niektórych części teleskopu aż do 7 K! Problemem jest pobór energii. Teleskop ma dostępne tylko 2000 W generowane przez panel słoneczny. Aby sprostać tym wymaganiom zaproponowano rozwiązanie graniczące niemal z opisywanymi w powieściach *science fiction*.

Teleskop Webba będzie wyposażony w absolutnie kosmiczną lodówkę. Jest ona zbudowana z zestawu dwóch, dokładnie wyważonych tłoków przesuwających hel. Wyważenie ma tu znaczenie kluczowe. Jakikolwiek wibracje teleskopu mogłyby spowodować rozmazane zdjęcia. System tłoków jest połączony z komorą pulsacyjną (*ang. pulse tube*) i termoakustycznym regeneratorem. Brzmi strasznie, ale w dużym uproszczeniu działanie tego urządzenia można opisać następująco:

Fala dźwiękowa to nic innego jak zmiany ciśnienia przemieszczające się w jakimś medium, np. w gazie. Zjawiska sprężania i rozprężania gazu są podstawą działania każdej lodówki. Sprężany gaz się rozgrzewa, rozprężany zaś ochładza. Możemy dostroić parametry komory tak, aby fala dźwiękowa rozchodząca się w zamkniętym w niej gazie była falą stojącą. Spowoduje to, że jedna strona komory będzie zawsze chłodniejsza od drugiej. Jeżeli umieścimy w połowie drogi (w połowie cylindra) wymiennik

ciepła, to możemy przekierować tę energię, dokąd tylko chcemy (w tym wypadku do radiatora oddającego ciepło do przestrzeni kosmicznej).

Lustro (a w zasadzie lustra) JWST to drugi najbardziej rozpoznawalny element teleskopu. Składa się ono z 18 heksagonalnych segmentów wykonanych z berylu, pokrytych cienką (o grubości 700 atomów) warstwą złota. Co prawda złoto niezbyt dobrze odbija światło widzialne, ale doskonale nadaje się do podczerwieni.



Zwierciadło kosmicznego teleskopu Jamesa Webba. Zdjęcie wykonał 14 października 2016 główny fotograf NASA Chris Gunn po udanych testach „środka krzywizny”. Jednym z etapów tych testów było sprawdzenie, czy lustro wytrzyma silne wibracje i przeciążenia, których dozna podczas startu. Technik z latarką to George Mooney (fot. NASA)

Każdy z tych osiemnastu sześciokątów ma wbudowany zestaw siłowników i silniczków, które pozwalają na zmianę geometrii każdego z nich indywidualnie, co pozwoli na lepsze dostrojenie optyki. Innym powodem, dla którego zdecydowano się na takie rozwiązanie jest fakt, że lustro musi być składane. 6,5 m średnicy to za dużo dla rakiety Ariane V, więc boczne panele (po 3 sześciokąty z lewej i z prawej) są odchylane do tyłu. Dodatkowo każdy uczy się na błędach. Na przykład teleskopowi Hubble’a nałożono „okulary”, aby skorygować wadę konstrukcyjną rzędu 200 μm . Tam założenie soczewek korekcyjnych było zadaniem wykonalnym, ale w przypadku teleskopu Webba nie dałoby się przeprowadzić takiego serwisu, ponieważ JWST znajduje się za daleko i nie można do niego wysłać misji załogowej, która mogłaby dokonać niezbędnych napraw (przynajmniej na razie).

Lustro teleskopu musi być tak duże z jednego prostego powodu: musi zbierać dużo promieniowania. Można to porównać do zbierania deszczu do wiadra. Im mniejsze wiadro tym mniej wody deszczowej zbierzemy. Jeśli chcemy zebrać jej dużo, potrzebujemy ogromnego lejka. Kiedy patrzymy na jasną gwiazdę na nocnym, rozgwieżdżonym niebie, do naszego oka trafia około milion fotonów na sekundę. Cele obserwacyjne JWST są tak ciemne i odległe, że będzie do niego trafiać 1 foton na sekundę. Ale już ten 1 foton będzie w stanie przekazać nam absolutnie bezcenne informacje o ewolucji Wszechświata

To tylko kilka ze wszystkich elementów, które czynią teleskop Webba tak potężnym obserwatorium. Na całe szczęście systemy pokładowe rakiety Ariane V były na tyle precyzyjne, że umieściły obserwatorium na prawie idealnej trajektorii. Dzięki temu kurs wymagał minimalnych korekt i, co za tym idzie, udało się oszczędzić znaczne ilości paliwa. Jak już wcześniej wspomniano, teleskop Webba będzie orbitował po trajektorii halo z niewielką pomocą własnych silników. Ustalono dokładny limit czasu pracy teleskopu, jednak nic poza brakiem pa-

liwa nie stoi na przeszkodzie, aby ten czas wydłużyć. Minimalna korekta kursu pozwoliła na zaoszczędzenie sporych ilości paliwa, co z kolei wydłuży żywotność obserwatorium do prawie 10 lat! Obecne inżynierowie pracują nad koncepcją misji „reanimacji” teleskopu, tj. dodatkowego wydłużenia czasu jego pracy. Miałaby ona polegać na wysłaniu zrobotyzowanej, kosmicznej cysterny, która zatankowałaby obserwatorium. Czy się uda? Czy może do tego czasu uda się skonstruować lepszy teleskop? Czas pokaże. Teraz pozostaje nam czekać na pierwsze obrazy, które JWST wykona za pomocą swojego *Wielkiego złotego oka*.

Osobiście najbardziej czekam na dane dotyczące składu atmosfer egzoplanet i ewentualnego odkrycia obecności biosygnatur. Można sobie wyobrazić, że dostrzeżemy gazy związane z obecnością życia, spektralny „odcisk palca” roślinności lub może nawet gazy związane z obecnością przemysłu.

Pozostaje cierpliwie czekać!

Źródła

Webb Media Kit – ESA/NASA/CSA; NASA.

Kamienie milowe & wyzwania ekonofizyki a także socjofizyki cz. 1

Ryszard Kutner*

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego; przewodniczący sekcji FENS PTF (Fizyka w Ekonomii i Naukach Społecznych)

Abstrakt. Omówiono kamienie milowe ekonofizyki a także socjofizyki wybrane w kontekście wyzwań, jakie stawia współczesna społeczno-ekonomiczna rzeczywistość. Wskazano na ich rolę w budowaniu obszarów badawczych ekonofizyki i socjofizyki [1, 2, 3, 4].

Słowa kluczowe: ekonofizyka i socjofizyka; zdarzenia ekstremalne („czarne łabędzie”) i superekstremalne („smoczy królówie”); fraktalność i wielofraktalność; prawa skalowania i zjawiska krytyczne; rynki finansowe, walutowe oraz rynki firm

Abstract. We 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 [1, 2, 3, 4].

Keywords: econophysics and sociophysics; extreme („black swans”) and super-extreme („dragon kings”) events; fractality and multifractality; scaling laws and critical phenomena; financial, currency & cryptocurrency, and company markets

1. Motywacja

Znajdujemy się w okresie kumulacji negatywnych globalnych napięć w wielu obszarach społeczno-ekonomicznej rzeczywistości. Rok 2022 wydaje się jednym z najbardziej groźnych i nieprzewidywalnych od zakończenia II wojny światowej – prawdziwy *thriller* sanitarno-humanitarny, społeczno-ekonomiczny i klimatyczny. Wśród tych globalnych wyzwań należy wymienić dwa dalekie od stacjonarności – niestabilne zjawiska i procesy działające w różnych skalach czasoprzestrzennych: (i) szok pandemiczny i jego skutki ekonomiczne, a także ogromne frustracje społeczne, jakie generuje [1, 2] oraz (ii) postępujące w alarmującym tempie zmiany klimatyczne, skutkujące gwałtownie narastającymi falami migracyjnymi w skali globalnej (oczywiście, nie są to jedyne przyczyny masowej migracji). Na czynniki te nakładają się napięcia międzykulturowe, pomiędzy systemami politycznymi (np. demokracja vs. autorytaryzm) oraz rywalizacja supermocarstw (o strefy wpływów). Wreszcie trzeba mieć na uwadze wpływ lokalnych zjawisk i procesów (takich jak np. Brexit czy atak na Kapitol – oba wywołane m.in. silną polaryzacją społeczną). Wszystko to jest obciążone (w różnym stopniu) deformacją medialną wykorzystującą osiągnięcia trwającej właśnie rewolucji informatycznej, która poprzez swój gwałtownie rosnący wpływ społeczny odgrywa coraz większą rolę. W tej sytuacji, charakteryzującej się ekstremalnymi/rzadkimi („czarne łabędzie”) i superekstremalnymi („smoczy królówie”) zda-

zeniami połączonymi z ogromną zmiennością i gigantycznymi fluktuacjami oraz niezwykle łatwością rozprzestrzeniania się informacji i epidemii, nasza codzienność staje się coraz bardziej niepewna i burzliwa. Te globalne i lokalne czynniki wywierają przemożny wpływ na rzeczywistość społeczno-ekonomiczną. Wszystko to, w połączeniu z nieporadnością banków centralnych i międzynarodowych instytucji finansowych, skutkuje spadkiem poziomu inwestycji, gwałtownym wzrostem bezrobocia, nadzwyczajnym ale nieporadnym zaangażowaniem państw w gospodarkę, inflacją i stagnacją, a w konsekwencji recesją.

Biorąc pod uwagę korelacje długookresowe, wieloskalowość/multifraktalność, krytyczność i złożoność wspomnianych powyżej wyzwań, podejście interdyscyplinarne jest niezbędne do sklasyfikowania, zrozumienia i probabilistycznego/stochastycznego przewidywania kierunku, w jakim społeczeństwa mogą ewoluować. Wykorzystując fizykę (a zwłaszcza fizykę statystyczną) do badania społeczno-ekonomicznej rzeczywistości, ekonofizyka i socjofizyka oferują odpowiednie, pogłębione podejście. Socjofizyka jest tutaj traktowana jak „starsza siostra” ekonofizyki – jedynie jako obszar odniesienia dla ekonofizyki, gdyż socjofizyka jest gotowa na osobne, systematyczne potraktowanie.

Rosnąca niepewność epidemiczna, klimatyczna i społeczno-ekonomiczna może przybierać różne formy i wpływać na rynki poprzez różne bańki rynkowe i zapaści rynków (zwiększając wszelkie formy ryzyka). W tym

*ORCID: 0000-0002-4949-8781

trudnym okresie, w powodzi informacji i danych, interdyscyplinarne podejście, takie jakie oferują ekonofizyka i socjofizyka, może być szczególnie przydatne np. w racjonalizowaniu i ograniczaniu wspomnianych zagrożeń. W artykule pokazano, w jaki sposób połączenie różnych dziedzin naukowych może zapewnić ramy pojęciowe i dostarczyć narzędzi pozwalających opisać i zrozumieć obecną bezprecedensową transformację społeczeństw zachodzącą w nadzwyczajnych okolicznościach.

Niniejszy artykuł, w połączeniu z poprzednio opublikowanymi [1, 2, 3, 4], ukazuje różnorodną naturę ekonofizyki, odzwierciedlającą bogactwo zjawisk zachodzących w otaczającym nas świecie. Ekonofizyka dostarcza nie tylko jakościowego, ale przede wszystkim ilościowego opisu rzeczywistości z bardzo różnych, uzupełniających się punktów widzenia. Jako społeczność jesteśmy gotowi do pozyskiwania, gromadzenia, opracowywania i publikowania danych empirycznych, analizowania przyczyn i skutków oraz mechanizmów, a także do prognozowania statystycznego i proponowania adekwatnych działań. Warunkiem jest przejrzystość i powszechna dostępność niezafałszowanych danych empirycznych gromadzonych przez różne niezależne instytucje i portale.

2. Wstęp

Jak same nazwy wskazują, ekonofizyka i socjofizyka to dziedziny hybrydowe, które można z grubsza zdefiniować jako podejścia ilościowe wykorzystujące pojęcia, idee i metodologie oraz modele obliczeniowe fizyki statystycznej (a w tym symulacje komputerowe) stosowane do zjawisk społeczno-ekonomicznych.

Trzeba zastrzec, że metodologia nauk ekonomicznych jest szersza od metodologii nauk fizycznych, gdyż jej stosowanie wymaga często informacji z przyszłości, np. potrzebna jest znajomość wielkości przyszłej inflacji. Aby sprostać temu wyzwaniu stosuje się różne triki np. podejście typu *implied volatility*. Sprawa jest jednak głębsza, gdyż ma tutaj miejsce *de facto* sprzężenie zwrotne pomiędzy teraźniejszością, tzn. decyzjami ekonomicznymi podejmowanymi teraz, a przyszłością, na którą te decyzje mają wpływ. Widać tutaj wpływ modelowania na rzeczywistość (nie mający miejsca w fizyce klasycznej). Trzeba też zauważyć, że zastosowanie fizyki statystycznej do świata ekonomii wymaga na ogół użycia większej liczby założeń (np. dotyczących ergodyczności czy samosredniowania).

Idea *fizyki społecznej* sięga pierwszej połowy XIX w. – termin ten pojawił się po raz pierwszy w książce Saint-Simona (1803) [5], w której autor opisuje społeczeństwo poprzez prawa fizyki i biologii. Podejście to spopularyzowali później Adolphe Quetelet (1835) [6] i August Comte (1856) [7].

Z dzisiejszego punktu widzenia idea fizyki społecznej doprowadziła do powstania socjofizyki i częściowo ekonofizyki. Podczas gdy pierwsza pochodzi z lat 70. (prace Weidlicha z roku 1971 [8] i Callena z Shapiro z roku 1974 [9]), to ta druga ruszyła „pełną parą” ponad trzydzieści lat temu z inspiracji fizyków Rosario N. Mantegna i H. Eugene Stanleya [10].

Chociaż korzenie współczesnej socjofizyki można wywieść od Majorany (1942) [11], z jego artykułu na temat wykorzystania fizyki statystycznej do opisu zjawisk społecznych, zasadnicze prace z tego obszaru ukazały się głównie w latach 70. i 80. XX w., a spora ich część dotyczyła zastosowania fizyki statystycznej do modelowania zjawisk społecznych w dużej skali [12]. Popularnymi tematami modelowanymi przez socjofizyków były i są między innymi rozpowszechnianie zachowań/postaw społecznych, kształtowanie opinii, rozpowszechnianie kultur i ewolucja języków, dynamika tłumy, a w tym zagadnienia ewakuacyjne, problemy rozprzestrzenia się epidemii i plotek/newsów oraz fake newsów (informacji nieprawdziwych), konflikty społeczne.

Warto wspomnieć, że rosnące zainteresowanie fizyków naukami społeczno-ekonomicznymi wynika głównie z dwóch czynników: (i) *Golden Age* fizyki materii skondensowanej dzięki sukcesowi nowoczesnej teorii przemian fazowych opartej na grupie renormalizacji czyli ϵ -rozwińnięcia Wilsona i Koguta (laureatów nagrody Nobla) [13] (zastosowanie *real renormalization group* w socjologii na przełomie wieków jest dziełem Serge’a Galama [14, 15, 16]) oraz (ii) rosnącej komputeryzacji (cyfryzacji) społeczeństw, która uutorowała drogę nowym perspektywom, oferując ogromną liczbę danych empirycznych (obserwacji) – *data mining*. Ten proces komputeryzacji zaczął się od rynków finansowych rejestrujących każdą pojedynczą transakcję lub zmiany cen walorów, oferując w ten sposób ogromną bazę danych (rejestrowanych z milisekundową zdolnością rozdzielczą) umożliwiającą badania naukowe na skalę globalną i modelowanie niemal *online*.

Wpływ fizyki na ekonomię to, wbrew pozorom, „historia stara jak świat” [17, 18, 19]. Jednak w przeciwieństwie do wcześniejszych prac importujących modele z fizyki do obszaru socjologii i ekonomii, socjofizyka i ekonofizyka odwołują się do nowego trendu. Mianowicie, badacze zajmujący się tymi obszarami nie są ekonomistami czy socjologami czerpiącymi inspiracje z prac fizyków, ale są po prostu fizykami przekraczającymi granice tradycyjnie rozumianej fizyki.

Rynki finansowe lub ogólniej rzeczywistość społeczno-ekonomiczną należy rozpatrywać w szerszym kontekście – systemów złożonych przejawiających zachowania emergentne, tworzących nowe właściwości, zjawiska i procesy, np. samoorganizującą się krytycz-

ność (SOK) [20, 21] lub spontaniczną, logarytmiczną periodyczność. Pierwsza jest godnym uwagi przykładem wieloskalowej kaskady, podczas gdy druga wynika z istnienia w układzie dyskretnej niezmienniczości translacyjnej (niekoniecznie bazującej na strukturze hierarchicznej) [22, 23, 24], zatem poszukiwanie relacji między skalami mikro i makro jest nieustającym wyzwaniem i dobrze umotywowanym kierunkiem ekonofizyki. Można powiedzieć, że wraz z narodzinami socjofizyki i ekonofizyki pojawiły się komplementarne możliwości pogłębionego, interdyscyplinarnego podejścia do ewolucji współczesnych społeczeństw.

Trzeba przyznać, że SOK jest atrakcyjną możliwością wglądu w dynamikę układów złożonych. Analizuje się tutaj dynamikę poprzez rozdzielanie skal czasowych, czyli zakładając, że narastająca niestabilność jest powolna (mod wolny), natomiast relaksacja jest szybka (mod szybki). Ten szybki mod prowadzi do powstania lawiny. Dynamika lawiny jest zasadniczo wieloskalowa, zachodzi poprzez sprzężenie w wielu skalach czasoprzestrzennych systemu. Podobnie jak w przypadku typowych zjawisk krytycznych, dynamika SOK jest niewrażliwa na szczegóły niestabilności, a więc na mikroskopię/mikroekonomię rzeczywistości społeczno-ekonomicznej (a w tym szeroko rozumianych finansów) [25, 26, 27]. Mamy tutaj do czynienia z uniwersalnością oraz robustnym zachowaniem emergentnym [20].

3. Trochę prehistorii

Ekonofizyka nie narodziła się „na kamieniu” – jest powiązana z pracami Louisa Bacheliera (LB), a zwłaszcza Jana Tinbergena (JT). Podczas gdy ten pierwszy posiadał certyfikat/licencjat z fizyki matematycznej ten drugi był doktorem fizyki.

Louis Bachelier obronił swoją rozprawę doktorską, przygotowaną pod kierunkiem Henri Poincarégo, w roku 1900 [28]. W tej pionierskiej rozprawie postawił kluczową hipotezę, aktualną po dzień dzisiejszy, o probabilistycznym charakterze rynków finansowych.

Minęło właśnie 100 lat od chwili, gdy Jan Tinbergen rozpoczął studiowanie matematyki i fizyki na Uniwersytecie w Leiden (Holandia) pod opieką Paula Ehrenfesta (obaj znajdują się na ryc. 1). W roku 1926 Jan Tinbergen ukończył studia magisterskie, a w trzy lata później obronił swoją rozprawę doktorską *Minimumproblemen in de natuurrkunde en de economie*. Jej promotorem był Paul Ehrenfest. Rozprawa ta jest pierwszą w historii, pionierską próbą połączenia nauk przyrodniczych i ekonomicznych poprzez podejście ilościowe z wykorzystaniem metod fizyki. Bezpośredni wpływ na pracę Jana Tinbergena miały zainteresowania badawcze Paula Ehrenfesta, który sugerował istnienie analogii między formalizmem termodynamicznym a procesami ekonomicznymi. Współczesna

ekonofizyka rozszerzyła tę analogię na formalizmy fizyki statystycznej. Ogólnie rzecz biorąc, Tinbergen zainicjował ideę wykorzystania fizyki w ekonomii (dzisiaj zwaną ekonomią ilościową). Jan Tinbergen był pierwszym laureatem Nagrody Nobla (którą otrzymał razem z Radgarem Frischem) w dziedzinie ekonomii w 1969 roku – dzisiaj uważany jest za twórcę ekonometrii.



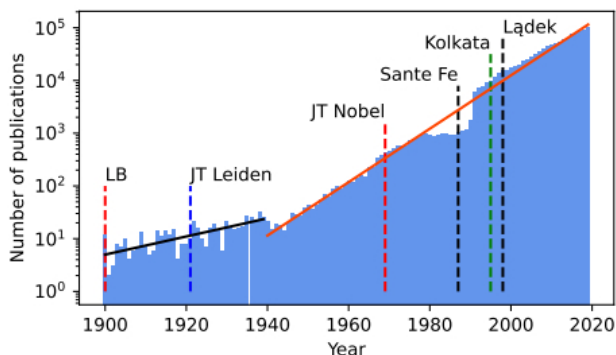
Ryc. 1. Grupa wychowanków i przyjaciół Paula Ehrenfesta (Leiden 1924 rok). Od lewej do prawej: Gerhard Dieke, Samuel Goudsmit, Jan Tinbergen, Paul Ehrenfest, Ralf Kronig oraz Enrico Fermi

Prekursorzy Louis Bachelier i Jan Tinbergen położyli epistemologiczne podwaliny pod ilościowe podejście do rzeczywistości społeczno-ekonomicznej. Było to podejście inspirujące i dalekowzroczne, skutkujące powstaniem współczesnej ekonofizyki.

Rycina 2 przedstawia histogram liczby publikacji z obszaru nauki, który dziś nazywamy ekonofizyką. Histogram został zbudowany na bazie publikacji wyodrębnionych przy użyciu ponad 70 charakterystycznych słów kluczowych i całych fraz z ponad 45 czołowych czasopism (zarejestrowanych w *Web of Science*, WofS).

Histogram rozpoczyna się w roku 1900, w którym ukazała się wspomniana wyżej rozprawa doktorska Louisa Bacheliera [28]. Jego wykładniczy wzrost dzieli się na dwa okresy. Pierwszy trwał od roku 1900 do 1938, a drugi od wybuchu II wojny światowej w roku 1939 do 2019. Tempo wzrostu $1/\tau$ dla pierwszego okresu jest około trzykrotnie mniejsze niż dla drugiego. Co więcej, wyraźnie widoczna jest około dziesięcioletnia stagnacja liczby publikacji w dekadzie lat 1980-1990.

W 1987 roku w samym centrum wspomnianego powyżej okresu stagnacji odbyła się konferencja Instytutu Santa Fe, której przewodniczyło dwóch laureatów Nagrody Nobla: ekonomista Kenneth Joseph Arrow – Nagroda Nobla w dziedzinie nauk ekonomicznych (1972) wraz z Johnem Hicksem za ich pionierski wkład do ogólnej teorii równowagi ekonomicznej i teorii dobrobytu oraz fizyk Philip Warren Anderson – Nagroda Nobla



Ryc. 2. Skumulowany wykres liczby publikacji/histogram (NP) w zależności od czasu (liczonego w latach) związanych z wykorzystaniem metod fizyki w ekonomii i finansach. Widoczne są dwa różne zakresy charakteryzujące się różnymi wartościami współczynnika wzrostu $1/\tau$. Mianowicie, $NP \sim \exp(t/\tau)$, gdzie $\tau = 25,23$ [rok] dla zakresu 1900-1938 oraz $\tau = 8,58$ [rok] dla lat 1939-2019. Na wykresie zaznaczono następujące wydarzenia: LB (1900) oznacza pojawienie się rozprawy doktorskiej (wspomnianej w tekście) Louisa Bacheliera, JT Leiden (1921) datuje wstąpienie Jana Tinbergera na Uniwersytet w Leiden, JT Nobel (1969) oznacza otrzymanie Nagrody Nobla przez Jana Tinbergera, Santa Fe to wspomniana w tekście przełomowa konferencja Instytutu Santa Fe (1987), Kolkata oznacza historyczną konferencję w Kalkucie (Indie, 1995) oraz Łądek historyczną dla środowisk ekonofizyków i socjofizyków w Polsce konferencja w Łądku Zdroju (1998) – wszystkie konferencje związane w dużym stopniu z ekonofizyką a także socjofizyką. Ostatnie dwie zainicjowały odbywające się do dziś cykliczne konferencje ekonofizyczne: Sympozjum Fizyki w Ekonomii i Naukach Społecznych (FENS, w różnych ośrodkach akademickich i badawczych naszego kraju poczynając od roku 2004), Kolokwium z Ekonofizyki (organizowane przez Tizianę Di Matteo w różnych krajach poczynając od roku 2005) oraz konferencje organizowane w XXI w. przez Wei-Xing Zhou (Uniwersytet Nauki i Technologii Wschodnich Chin), Hideki Takayasu (Instytut Nikkei oraz Sony) (autor wykresu Jarosław Klamut)

w dziedzinie fizyki (1977) wraz z Nevillem Francisem Mottem i Johnem Hasbrouckiem Van Vleckiem za fundamentalne badania teoretyczne struktury elektronowej układów magnetycznych i nieuporządkowanych. Dodajmy, że Philip Anderson był współzałożycielem tego Instytutu, który powstał trzy lata wcześniej. Misję Instytutu zdefiniowano jako *Searching for Order in the Complexity of Evolving Worlds*. Celem tej pionierskiej konferencji była odpowiedź na pytanie: w jaki sposób ekonomia może skorzystać z dorobku fizyki, informatyki i biologii. Konferencja ta zapoczątkowała lawinę publikacji trwającą po dziś dzień.

4. Narodziny współczesnej ekonofizyki

Minęła właśnie trzecia dekada istnienia społeczności stosującej metodologię badania zjawisk i procesów ekonomicznych wykorzystując narzędzia fizyki. W tym czasie pojawiło się wiele publikacji poświęconych temu, co od czasu konferencji w Kalkucie (ryc. 2) nazywamy ekonofizyką. Przyczyny tego podejścia są złożone i wielorakie. Jego katalizatorem była wspomniana konferencja Instytutu Santa Fe oraz możliwość publikowania w czasopiśmie fizycznych prac odnoszących się do ekonomii i socjologii [29, 30], rozsadzających ramy tradycyjnie rozumianej fizyki.

Początek współczesnej ekonofizyki datuje się przełomową pracą *Lévy walks and enhanced diffusion in Milan stock exchange* opublikowaną przez fizyka Rosario N. Mantegnę (doktoranta H. Eugene Stanleya) w czasopiśmie *Physica A* (1991) [31]. Autor udowodnił w niej „czarno na białym”, że to rozkład Lévy’ego a nie rozkład Gaussa rządzi giełdą w dostępnych skalach czasowych.

Praca ta pokazała, że wkroczyliśmy w erę ekstremalnych i rzadkich zdarzeń, których dotkliwie doświadczamy. Centralne Twierdzenie Graniczne (CTG), a z nim Prawo Wielkich Liczb Bernoulliego (PWLb) przestały obowiązywać na rynkach finansowych. W tym kontekście CTG zostało zastąpione przez Uogólnione Centralne Twierdzenie Graniczne (UCTG) Lévy’ego-Khintchina. Tym samym rozpoczęła się era stochastycznych procesów niebrownowskich i niegaussowskich. Zostało to także potwierdzone w pracy R.N. Mantegny i H.E. Stanleya *Scaling behaviour in the dynamics of an economic index* opublikowanej w *Nature* (1995) [32].

Praca Mantegny pokazała, że żyjemy w dobie zwiększonego ryzyka inwestycji na rynkach finansowych, gdzie możliwe są nie tylko kolosalne zyski, ale także ogromne straty. Otworzyło to drogę dla *moral hazard* prowadzącego do ogromnej niepewności na rynku, a co za tym idzie zwiększonego ryzyka inwestycyjnego.

Zachowanie współczesnych rynków finansowych zostało podsumowane około dekadę później w pracy przeglądowej [42], a zwłaszcza przez Mantegnę i Stanleya w pierwszej książce dotyczącej ekonofizyki *Introduction to Econophysics. Correlations and Complexity in Finance*¹ [33].

W kolejnych dwóch latach ukazały się ważne, wychodzące poza społeczność ekonofizyków książki: *Theory of Financial Risks. From Statistical Physics to Risk Management*, J.-P. Bouchaud & M. Potters (2001) oraz książka B. Roehnera [29] pod wymownym tytułem *Patterns of Speculation. A Study of Observational Econophysics* (2002).

Do rozwoju ekonofizyki przyczyniły się jeszcze inne ważne publikacje: *Statistical properties of deterministic threshold elements—the case of market price*, H. Takayasu, H. Miura, T. Hirabayashi, K. Hamada w *Physica A* (1992) oraz *The Black-Scholes option pricing problem in mathematical finance: Generalization and extensions for a large class of stochastic processes*, J.-P. Bouchaud, D. Sornette w *J. Phys. I France* (1994).

Zwłaszcza praca *Criticality and Phase Transitions in Stock-Price Fluctuations* opublikowana ponad de-

1. Minęło 20 lat od pojawienia się polskiego tłumaczenia tej książki (Rosario N. Mantegna, H. Eugene Stanley *Ekonofizyka. Wprowadzenie* tłum. Ryszard Kutner, WN PWN, Warszawa 2001, dodruk 2018), 15 lat zaś od powołania na Wydziale Fizyki UW specjalności ekonofizyka (metody fizyki w ekonomii).

kadę później w *Physical Review Letters* (2006) autorstwa K. Kiyono, Z.R. Struzika, Y. Yamamoto [34] postawiła „kropkę nad i”, wynika z niej bowiem, że CTG jest spełnione na rynkach finansowych z dala od krachów, podczas gdy w obszarze krachów obowiązuje UCTG.

Można powiedzieć, że jednym z ważniejszych osiągnięć ekonofizyki jest jej wkład w wieloskalową analizę danych empirycznych. Dzięki temu odkrytych zostało wiele faktów stylizowanych, dotyczących rynków finansowych [35, 36, 37, 38]. Otworzyło to możliwość prowadzenia badań np. o charakterze wielofrakalnym [39].

Na początku XXI w. Hideki Takayasu podjął się przeglądu stanu ekonofizyki oraz jej rzeczywistych i potencjalnych zastosowań, publikując materiały z międzynarodowych konferencji organizowanych przez siebie w Nikkei Institute (Tokio) [40, 41]. Dzięki temu uświadomił ogółowi, czym jest ekonofizyka i jakie są jej możliwości oraz stojące przed nią wyzwania.

5. Niezmienniczość ze względu na skalowanie

Druga połowa lat 90. XX w. zdominowana została przez tematykę kryzysów i krachów na rynkach finansowych, z czym wiązały się ryzyka i niepewności oraz próby prognozowania ekstremalnych zdarzeń. Za najważniejsze można uznać odkrycie oscylacji logarytmiczno-periodycznych na giełdach, przedstawione w pracach [23, 43, 44]. Samo odkrycie, jego pochodzenie i konsekwencje zostały podsumowane w 2003 roku w książce Didiera Sornette'a *Why Stock Market Crash* [45]. Odkrycie oscylacji log-periodycznych było inspiracją dla wielu autorów przez prawie dekadę – patrz artykuł przeglądowy *Physical approach to complex systems* autorstwa Jarosława Kwapienia i Stanisława Drożdża [46].

Logarytmiczna periodyczność jest cechą charakterystyczną dyskretnej niezmienności skali (określonej tylko dla wybranych charakterystycznych czynników skalujących). Jako rozwiązanie odpowiadające dyskretnej relacji skalowania, jest ona reprezentowana przez funkcję potęgową modulowaną przez oscylacje, które są okresowe pod logarytmem zmiennej objaśniającej. Innymi słowy, niezmienniczość skali dyskretnej prowadzi do wykładników i wymiarów krytycznych oraz do logarytmicznej poprawki do skalowania, która może pojawiać się nawet spontanicznie – patrz *Discrete-Scale Invariance and Complex Dimensions* autorstwa Didiera Sornette'a [22]. Ta spontaniczność jest immanentną, endogeniczną cechą rynków finansowych, dlatego jej rola dla ekonofizyki jest wprost trudna do przecenienia.

Mówiąc ogólnie, przejście od niezmienniczości ciągłej do dyskretnej można porównać z przejściem od fazy płynnej do stałej. W tym kontekście, szczególnie interesujący jest model krytycznej kaskady fal na kopcu piasku

wskazujący na źródło oscylacji log-periodycznych [47]. Można powiedzieć, że w ramach ekonofizyki badane są zarówno zjawiska krytyczne, w tym np. samoorganizująca się krytyczność, opisane za pomocą czystych praw potęgowych, jak i struktury, których przejawem jest niezmienniczość dyskretna. Istnienie tych struktur wynika z istnienia charakterystycznych skal długości generowanych przez mechanizmy leżące u ich podłoża i skutkujących oscylacjami logarytmiczno-periodycznymi zsuperponowanymi z prawami potęgowymi.

Powyższe podejście jest przykładem analizy globalnej. Jej celem jest wydobycie powtarzalnej struktury w finansowych szeregach czasowych w obszarze skalowania, czyli w pobliżu progu krytyczności.

Opracowano również inne globalne podejścia do okresowości w empirycznych danych finansowych. Na szczególną uwagę zasługują np. te oparte na analogii z właściwościami materiałów lepkosprężystych [48]. Okresowa ewolucja indeksu giełdowego tuż przed i bezpośrednio po krachu jest opisana tutaj za pomocą uogólnionej funkcji wykładniczej Mittagga-Lefflera nałożonej na różnego rodzaju oscylacje.

Chociaż podejście globalne wydaje się interesujące i zachęcające, to główna trudność w jego stosowaniu tkwi w wielofrakalnej naturze finansowych szeregów czasowych. W rzeczywistości nie jesteśmy pewni, czy obserwowane oscylacje cen, a w tym te długofalowe, są związane z główną „banką” cenową (tj. specyficzną strukturą szeregów czasowych kształtującą się od początku trendu wzrostowego do chwili krachu), czy też z mniejszymi bankami lub ich superpozycjami pojawiającymi się jako poprawki drugiego lub wyższych rzędów do rozwiązań równań ewolucji cen. Trudno jest rozdzielić wkłady pochodzące od różnych rzędów *ante factum*.

Celem zbadania właściwości skalowania finansowych szeregów czasowych i rozstrzygnięcia czy generowany proces stochastyczny jest skorelowany oraz czy posiada długą pamięć, opracowane zostało alternatywne podejście. Zaproponowano kilka technik. Ich wspólnym mianownikiem jest konieczność wyznaczenia wykładnika Hursta H [49] procesu.

Zwykle tuż po krachu, opadające z boczne banki giełdowej (bessa) jest scharakteryzowane wykładnikiem Hursta $H > 1/2$ reprezentującym tzw. *persistent random walk*. Odpowiada to pozytywnej autokorelacji szeregu czasowego notowań giełdowych. Sytuacja ma się inaczej w fazie hossy. W pobliżu krachu ma miejsce duża niepewność inwestorów giełdowych przejawiająca się w postaci rosnącej częstotliwości i amplitudzie wahań szeregu czasowego. Mamy do czynienia z *antypersistent random walk*, czyli błędzeniem losowym z negatywną autokorelacją, która charakteryzuje się wykładnikiem Hursta $H < 1/2$. Możemy stwierdzić, że istnieje wyraźny

związek pomiędzy trendami lokalnych wartości wykładnika Hursta a dynamicznymi przemianami fazowymi na rynku (np. zmianami trendu, załamaniem lub pęknięciami notowań) spowodowanymi wewnętrzną organizacją i reorganizacją rynku finansowego jako układu złożonego.

Wśród różnych technik służących wyznaczeniu wykładnika Hursta popularność zyskała analiza zdetrendowanych fluktuacji (Detrended Fluctuation Analysis, DFA) [50, 51, 52]. DFA może być wykorzystywana jako podstawa lokalnego DFA zastosowanego po raz pierwszy do analizy krachów finansowych [53], a następnie rozszerzona [54, 55]. Lokalny DFA to nic innego jak DFA stosowane do małych podserii danego szeregu czasowego. W ten sposób charakteryzuje się lokalnie fraktalną naturę szeregów czasowych zamiast jego globalnych właściwości (czyli rozpatrywanych w długim horyzoncie czasowym), lokalny DFA jest zatem (jak sama nawa wskazuje) przykładem analizy lokalnej w przeciwieństwie do wcześniejszych metod typu globalnego, takich jak np. oscylacje logarytmiczno-periodyczne.

Techniki wyznaczania wykładnika Hursta zaproponowane w pracach [53, 54, 55] były z powodzeniem stosowane do rynków kapitałowych/finansowych [56, 57, 58, 59, 60, 61, 62]. Oprócz wydobycia zasadniczych własności rynków finansowych, lokalny DFA może sugerować krótkoterminowe strategie inwestycyjne dla rynków (chwilowo) nieefektywnych (czyli z dala od wartości $H = 1/2$) [63]. Metoda DFA nadaje się do analizy skorelowanych kursów walut na rynkach walutowych [64, 65]. Technicznym wyzwaniem dla DFA jest konieczność przetworzenia dużej ilości danych empirycznych, których dostarcza szybkozmieniająca się rzeczywistość. Ta szybka zmienność ma nie tylko rosnącą amplitudę, ale obfituje w zdarzenia ekstremalne i superekstremalne [66].

6. Wieloskalowość i wielofraktalność

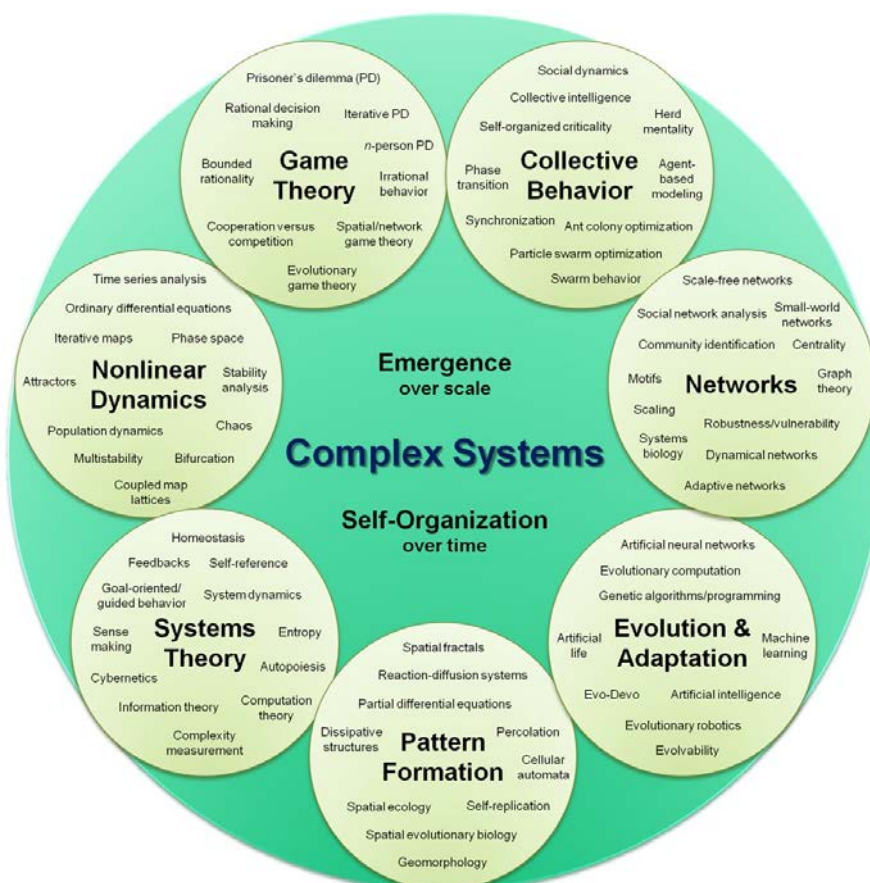
Wywodzące się z fizyki statystycznej metody wykorzystujące pojęcia rozszerzonej niezmienniczości, czyli multifraktalności oraz sprzężenie skal są dzisiaj używane powszechnie [39] do badania zarówno układów złożonych [67, 46, 68, 69], jak też dynamiki nieliniowej układów o niewielkiej liczbie stopni swobody [70]. Innymi słowy, jest to szybko rozwijający się kierunek badań szeroko stosowany w wielu różnych dziedzinach, nawet poza tradycyjnie rozumianą fizyką [71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78]. Przypomnijmy, multifraktale to obiekty fraktalne i/lub sygnały o niejednorodnie rozłożonej mierze. Dlatego opis multifraktali wymaga (w ogólności) nieskończonej rodziny wymiarów fraktalnych, czyli spektrum wymiarów fraktalnych. Własności skalowania multifraktali są zdefiniowane tylko lokalnie.

Istnieje kilka sprawdzonych, dobrze funkcjonujących technik multifraktalnych [68, 69], niektóre z nich zostały zainspirowane szczególnie popularną wielofraktalną analizą zdetrendowanych fluktuacji (Multifractal Detrended Fluctuation Analysis, MF DFA [67]). Pozwalają one konstruować widma wymiarów fraktalnych dla stacjonarnych i niestacjonarnych szeregów czasowych. Nawiasem mówiąc, techniki te pozwalają uzyskać inne ważne cechy multifraktalności. Trwają intensywne badania nad klasyfikacją stanów rynkowych za pomocą widma wymiarów. Ogólnie rzecz biorąc, im szersze jest to widmo w funkcji wykładnika Höldera (lokalnego wymiaru fraktalnego), tym bardziej skolektywizowany i bardziej nerwowy (zmienny) jest rynek. Ponadto z wielkości asymetrii tego spektrum można wywnioskować, jakie rodzaje fluktuacji dominują na rynku. Trzeba jednak dodać, że identyfikacja multifraktalnych własności szeregów czasowych (sygnałów) jest technicznie trudna ze względu na istnienie źródeł pozornej multifraktalności [79, 80]. Lista znanych źródeł (prawdziwej) multifraktalności jest przypuszczalnie niekompletna. Możliwe źródła wielofraktalności w finansach, np. na skutek korelacji długookresowych/długozasięgowych lub istnienia rozkładów posiadających pogrubione „ogony”, były dyskutowane w pracach [81, 82, 83, 84].

7. Błądzenie losowe w czasie ciągłym na rynkach finansowych

Na początku obecnego stulecia formalizm błądzenia losowego w czasie ciągłym (Continuous Time Random Walk, CTRW) został zaadaptowany przez Masolivera, Montero i Weissa do opisu ewolucji rynku finansowego [85, 86, 87, 88]. Zaproponowali oni taki wariant CTRW, w którym duże zwroty są zdarzeniami rzadkimi a sam CTRW jest procesem dyfuzji anomalnej. Możliwość wykorzystania formalizmu CTRW, z udziałem spacerów Lévy o zmiennej prędkości, do opisu empirycznych danych tickowych pochodzących z rynków finansowych, została zauważona w pracach [89, 90]. Wyniki uzyskane w ramach obu podejść są komplementarne. Empiryczne dane tickowe wykorzystywane były intensywnie przez ekonofizykę w ostatniej dekadzie [91, 92, 93, 94, 95, 96, 97].

Formalizm CTRW zakłada, że *interevent-times* są ciągle i fluktuujące (termin *interevent-time* występuje w literaturze pod różnymi nazwami: *pausing time*, *waiting time*, *inter-transaction time*, *intraday time*, and *interoccurrence time*). Należy zauważyć, że termin *walk/spacer* w nazwie *continuous-time random walk* jest używany w sensie ogólnym, obejmującym dwa pojęcia: zarówno spacer (związany ze skończoną prędkością procesu), jak i *flight/przelot* (związany z natychmiastowym przemiesz-



Ryc. 3. Schematyczna prezentacja bogactwa obszarów składających się na naukę o złożoności, z którymi powiązana jest ekonofizyka i socjofizyka

zeniem się procesu), zatem, zmiennymi losowymi w formalizmie CTRW mogą być nie tylko przyrosty procesu, ale także czasy między zdarzeniami (punktami zwrotnymi). Zmienne te charakteryzują się często rozkładami niegaussowskimi, np. dopuszczającymi wartości ekstremalne, superekstremalne oraz wieloskalowe. Własności te są immanentną cechą współczesnych rynków finansowych prowadząc do złamania zasady ergodyczności formalizmu CTRW. Badanie konsekwencji takiej sytuacji, w tym zwłaszcza relacji dyssypacyjno-fluktuacyjnych, jest jednym z najważniejszych kierunków badawczych ekonofizyki.

Wyniki uzyskane w pracy [95] sugerują także coś więcej. Otóż do opisu i zrozumienia procesów zachodzących na rynkach finansowych konieczne jest wzięcie pod uwagę nie tylko nieliniowych autokorelacji procesu i szumu, ale także długookresowych korelacji czasów międzytransakcyjnych. Formalizm CTRW świetnie się do tego nadaje. Otwiera to obiecujący kierunek badań ekonofizyki.

Warto też wspomnieć o zjawiskach progowych, które mają miejsce zarówno w naukach fizyczno-chemicznych, jak i społeczno-ekonomicznych. Kanonicznymi przykładami mogą być reakcje chemiczne rozpoczynające się dopiero po przekroczeniu progowych stężeń reagentów,

zjawiska rozpadów promieniotwórczych, efekty fotoelektryczne (wewnętrzny i zewnętrzny) itp. Wracając do rynków finansowych, istnieje wiele danych empirycznych i publikacji na ten temat. Zjawiska progowe analizowano za pomocą formalizmu CTRW [97] uwzględniającego technikę *first-passage time*. Badano na tej drodze statystyki czasów wystąpienia po raz pierwszy nadmiernych strat (tych poniżej pewnego ustalonego ujemnego progu) i nadmiernych zysków (tych powyżej pewnego dodatniego progu) wskazując na ich uniwersalny charakter. Badania zysków i strat to kluczowy kierunek badawczy ekonofizyki.

8. Złożoność ekonofizyki i socjofizyki

Związek między ekonofizyką/socjofizyką a obszarami związanymi ze złożonością charakteryzujemy za pomocą diagramu pokazanego na ryc. 3. Obszary te wskazują razem na bogactwo tematów ekonofizyki i socjofizyki. Tylko niektóre spośród nich przedstawiliśmy w pierwszej części artykułu. Kolejna część będzie poświęcona omówieniu złożoności ekonofizyki i socjofizyki w kontekście sieci złożonych, modelowania agentowego oraz przemian fazowych i zjawisk krytycznych stanowiących szeroko uprawiane kierunki badawcze ekonofizyki, a także (pod komplementarnym kątem) socjofizyki.

Literatura

- [1] Marcel Ausloos, Dariusz Grech, Tiziana Di Matteo, Ryszard Kutner, Christophe Schinckus, H. Eugene Stanley: *Manifesto for a post-pandemic modeling*, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 559, 125086 (2020)
- [2] Entropy, SI open access: *Three Risky Decades: A Time for Econophysics?*, Ryszard Kutner, Christophe Schinckus, and H. Eugene Stanley (Eds.)
- [3] 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.)
- [4] 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)
- [5] C.-H. Saint-Simon, *Lettres d'un habitant de Genève à ses contemporains*, (University of Lausanne Publications, Lausanne, 1803).
- [6] A. Quetelet, *Sur l'homme et le développement de ses facultés, ou Essai de physique sociale*, (Paris: Guillaumin et Cie, Paris, 1835).
- [7] A. Comte, *A general view of positivism* (*Discours sur l'Esprit positif*, 1844), (London Routledge, London, 1856).
- [8] W. Weidlich, *The statistical description of polarization phenomena in society*, Br. J. Math. Stat. Psychol. 24(2), 251 (1971).
- [9] E. Callen and D. Shapiro, *A theory of social imitation*, Physics Today 12(2), 23 (1974).
- [10] M.H.R. Stanley, L.A.N. Amaral, S.V. Buldyrev, S. Havlin, H. Leschhorn, P. Maass, M.A. Salinger, and H.E. Stanley, *Scaling Behavior in the Growth of Companies*, Nature 379, 804 (1996).
- [11] E. Majorana, *Il valore delle leggi statistiche nella fisica e nelle scienze sociali*, Scientia, Quarta serie, Febbraio-Marzo 1942, 58. English translation: E. Majorana, *The value of statistical laws in physics and social sciences*, Quant. Finance 5, 133 (2005).
- [12] S. Galam, *Sociophysics: a personal testimony*, Physica A 336(2), 49 (2004).
- [13] K. Wilson and J. Kogut, *The renormalization group and the ϵ -expansion*, Phys. Rep. 112, 75 (1974).
- [14] S. Galam, *Social paradoxes of majority rule voting and renormalization group*, J. Stat. Phys. 61, 943 (1990).
- [15] S. Galam, *Real space renormalization group and totalitarian paradox of majority rule voting*, Physica A 285, 66 (2000).
- [16] S. Galam, *A review of Galam models*, arXiv: 0803.1800v1 [physics.soc-ph] 12 Mar 2008.
- [17] M. Ausloos, *Econophysics: Comments on a Few Applications, Successes, Methods and Models*,
- [18] Ph. Mirowski, *More heat than light: economics as social physics, physics as nature's economics, Historical perspectives on modern economics*, (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1989).
- [19] M. Shabas, *A world ruled by number: William Stanley Jevons and the rise of mathematical economics*, (Princeton Univ. Press, Princeton, 1990).
- [20] N.W. Watkins, G. Pruessner, S.C. Chapman, N.B. Crosby, H.J. Jensen, *25 Years of Self-organized Criticality: Concepts and Controversies*, Space Sci. Rev. 198, 3 (2016).
- [21] E. Bonabeau, G. Theraulaz G, and J.L. Deneubourg, *Phase diagram of a model of self-organizing hierarchies*, Physica A 217, 373 (1995).
- [22] D. Sornette, *Discrete-scale Invariance and Complex Dimensions*, Phys. Rep. 297, 239 (1998).
- [23] N. Vandewalle, M. Ausloos, Ph. Boveroux, and A. Minguet, *How the financial crash of October 1987 could have been predicted*, Eur. Phys. J. B 4, 139 (1998).
- [24] N. Vandewalle, M. Ausloos, Ph. Boveroux, and A. Minguet, *Visualizing the log-periodic pattern before crashes*, Eur. Phys. J. B 9, 355 (1999).
- [25] A. Aleksiejuk and J. Hołyst, *Self-organized Criticality in Model of Collective Bank Bankrutcies*, Int. J. Modern Phys. C 13, 333 (2002).
- [26] Th. Kron and Th. Grund, *Society as a Self-Organized Critical System*, Cybernetics and Human Knowings 16, 65 (2009).
- [27] A. Steyer and J.-B. Zimmermann, *Self Organised Criticality in Economic and Social Networks. The Case of Innovation Diffusion in Economics with Heterogeneous Interacting Agents*, A. Kirma and J.-B. Zimmermann (Eds.) Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems Vol. 503 (Springer-Verlag, Berlin 2001) p. 27.
- [28] Louis Bachelier: *Théorie de la spéculation*, Annales scientifiques de l'É.N.S. 3e série, tome 17 (1900), p. 21-86.
- [29] B.M. Roehner, *Patterns of Speculation. A Study in Observational Econophysics*, (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2000).
- [30] G. Tusset, *From Galileo to Modern Economics – 2018. The Italian Origins of Econophysics*, eBook collection 2018, eBook
- [31] R.N. Mantegna, *Lévy walks and enhanced diffusion in Milan Stock-Exchange*, Physica A 179, 232 (1991).
- [32] R.N. Mantegna and H.E. Stanley, *Scaling behaviour in the dynamics of economic index*, Nature 376, 46 (1995).
- [33] R.N. Mantegna and H.E. Stanley, *An Introduction to Econophysics. Correlations and Complexity in Finance*, (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2002).

- [34] K. Kiyono, Z.R. Struzik, and Y. Yamamoto, *Criticality and Phase Transitions in Stock-Price Fluctuations*, Phys. Rev. Lett. 96, 068701 (2006).
- [35] M.M. Dacorogna, R. Gencay, U.A. Müller, R.B. Olsen, O.V. Pictet, *An Introduction to High Frequency Finance* (Academic Press, 2001).
- [36] R. Cont, *Empirical Properties of Asset Returns: Stylized Facts and Statistical Issues*, Quant. Finance 1, 223 (2001).
- [37] S. Sinha, A.S. Chakrabarti, and M. Mitra, *Discussion & Debate: Can Economics be a Physical Science?*, European Physical Journal Special Topics 225:3087 (2016).
- [38] W. Barfuss, G. P. Massara, T. Di Matteo, T. Aste, *Parsimonious Modeling with Information Filtering Networks*, Phys. Rev. E 94, 062306 (2016).
- [39] Zhi-Qiang Jiang, Wen-Jie Xie, Wei-Xing Zhou, and Didier Sornette, *Multifractal analysis of financial markets: a review*, Reports on Progress in Physics 82(12), 125901 (2019), DOI: 10.1088/1361-6633/AB42FB
- [40] *The application of econophysics*, Proceedings of the Second Nikkei Econophysics Symposium, H. Takayasu (Ed.) (Springer-Verlag, Tokyo, 2004).
- [41] *Practical Fruits of Econophysics*, Proceedings of the Third Nikkei Econophysics Symposium, H. Takayasu (Ed.) (Springer-Verlag, Tokyo, 2006).
- [42] Y. Liu, L.A.N. Amaral, P. Cizeau, P. Gopikrishnan, M. Meyer, C.-K. Peng, and H.E. Stanley, *Fluctuations and Their Correlations in Econophysics in Anomalous Diffusion. From Basics to Applications*, R. Kutner, A. Pękalski, and K. Sznajd-Weron (Eds.), LNP 519, 197 (1999).
- [43] D. Sornette, A. Johansen, and J.-P. Bouchaud, *Stock market crashes, precursors and replicas*, J. Physique I, France 6, 167 (1996).
- [44] D. Sornette and A. Johansen, *Large financial crashes*, Physica A 245, 411 (1997).
- [45] D. Sornette, *Why Stock Market Crash: Critical Events in Complex Financial Systems*, (Princeton Univ. Press, Princeton 2003).
- [46] J. Kwapien and St. Drożdż, *Physical approach to complex systems*, Physics Reports 515, 115 (2012).
- [47] M. Ausloos, K. Ivanova, and N. Vandewalle, *Crashes: symptoms, diagnoses and remedies*, in *Empirical sciences of financial fluctuations. The advent of econophysics*, Tokyo, Japan, Nov. 15-17, 2000, Conference Proceedings, H. Takayasu, (Ed.) (Springer Verlag, Berlin, 2002) pp. 62-76.
- [48] M. Kozłowska, A. Kasprzak, R. Kutner, *Fractional Market Model and its verification on the Warsaw Stock Exchange*, Int. J. Mod. Phys. C 19 (2008) 453.
- [49] H. E. Hurst, *Long-Term Storage Capacity of Reservoirs*, Trans. Am. Soc. Civ. Eng. 116, 770 (1951).
- [50] C.-K. Peng, S. V. Buldyrev, S. Havlin, M. Simons, H. E. Stanley, A. L. Goldberger, *Mosaic organization of DNA nucleotides*, Phys. Rev. E 49 (1994) 1685.
- [51] G. Rotundo, M. Ausloos, C. Herteliu, B.V. Ileanu, *Hurst exponent of very long birth time series in XX century Romania. Social and religious aspects*, Physica A 429, 109 (2015).
- [52] C. Herteliu, B.V. Ileanu, M. Ausloos, and G. Rotundo, *Effect of religious rules on time of conception in Romania from 1905 to 2001*, Human Reproduction 30 (9), 2202 (2015).
- [53] D. Grech and Z. Mazur, *Can One Make any Crash Prediction in Finance using the Local Hurst Exponent Idea?* Physica A 336 (2004) 133-145.
- [54] D. Grech and G. Pamuła, *The local Hurst exponent of the financial time series in the vicinity of crashes on the Polish stock exchange market*, Physica A 387 (2008) 4299.
- [55] Ł. Czarnecki, D. Grech and G. Pamuła, *Comparison study of global and local approaches describing critical phenomena on the Polish stock exchange market*, Physica A (2008) 6801.
- [56] L. Kristoufek, *Local Scaling Properties and Market Turning Points at Prague Stock Exchange*, Acta Phys. Pol. B 41 (2010) 1223.
- [57] A. K. Mansurov, *Forecasting currency crisis by fractal analysis technique*, Studies on Russia Economic Development (SRED), Vol.19, No 1 (2008) 96.
- [58] J. Alvarez-Ramirez, J. Alvarez, E. Rodriguez, G. Fernandez-Anaya, *Time-Varying Hurst Exponent for US Stock Markets*, Physica A 387 (2008) 6159.
- [59] K. Karpio, A. J. Orłowski, and P. Łukasiewicz, *Stock Indices for Emerging Markets*, Acta Phys. Pol. A 117, 619 (2010).
- [60] X. Shao-jun, J. Xue-jun, *Predicting drastic drop in Chinese stock market with local Hurst exponent*, Proceedings of ICMSE Conference (2009) p.1309-1315.
- [61] J. A. O. Matosa, S. M. A. Gama, H. J. Ruskin, A. A. Sharkasi, M. Crane, *Time and scale Hurst exponent analysis for financial markets*, Physica A 387 (2008) 3910.
- [62] S. Stavroyiannis, V. Nikolaidis and I. A. Makris, *On the multifractal properties and the local multifractality sensitivity index of euro to Japanese yen foreign currency exchange rates*, Glob. Business and Econ. Rev. 13 (2011) 93.
- [63] N. Vandewalle and M. Ausloos, *Coherent and random sequences in financial fluctuations*, Physica A 246, 454 (1997).
- [64] M. Ausloos and K. Ivanova, *Correlations Between Reconstructed EUR Exchange Rates versus CHF, DKK, GBP, JPY and USD*, Int. J. Mod. Phys. C 12, 169 (2001).
- [65] K. Ivanova and M. Ausloos, *False euro (FEUR)*

- exchange rate correlated behaviors and investment strategy, *Eur. Phys. J. B* 20, 537 (2001).
- [66] D. Sornette, G. Quillon (Eds.) *Dragon-kings: mechanism, evidence and empirical evidence*, *Eur. Phys. J. ST* 205(1) 2012.
- [67] J.W. Kantelhardt, S.A. Zschiegner, E. Kościelny-Bunde, S. Havlin, A. Bunde, and H.E. Stanley, *Multifractal Detrended Fluctuation Analysis of Nonstationary Time Series*, *Physica A* 316, 87 (2002).
- [68] R.J. Buonocore, T. Di Matteo, and T. Aste, *Asymptotic scaling properties and estimation of the Generalized Hurst Exponents in financial data*, *Phys.Rev.E* 95, 042311 (2017).
- [69] R.J. Buonocore, T. Aste, and T. Di Matteo, *Measuring multiscaling in financial time-series*, *Chaos, Solitons and Fractals* 88, 38 (2016).
- [70] C. Beck and F. Schlögl, *Thermodynamics of chaotic systems. An introduction*, (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1995).
- [71] T. Lux and M. Marchesi, *Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of financial markets*, *Nature* 397, 498 (1999).
- [72] L. Calvet and A. Fisher, *Multifractality in Asset Returns: Theory and Evidence*, *Rev. Econ. Stat.* 84, 381 (2002).
- [73] B.B. Mandelbrot, *The variation of certain speculative prices*, *J. Business* 36, 394 (1963).
- [74] T. Di Matteo, T. Aste, and M.M. Dacorogna, *Scaling Behaviors in Differently Developed Markets*, *Physica A* 324, 183 (2003).
- [75] T. Di Matteo, T. Aste, and M.M. Dacorogna, *Long-term Memories of Developed and Emerging Markets: Using the Scaling Analysis to Characterize their Stage of Development*, *J. Banking & Finance* 29, 827 (2005).
- [76] T. Di Matteo, *Multi-scaling in Finance*, *Quant. Finance* 7, 21 (2007).
- [77] J. Barunik and L. Kristoufek, *On Hurst exponent estimation under heavy-tailed distributions*, *Physica A* 39, 3844 (2010).
- [78] G.P. Massara, T. Di Matteo, and T. Aste, *Network Filtering for Big Data: Triangulated Maximally Filtered Graph*, *J. Complex Networks* 5(2), 161 (2016).
- [79] J. Ludescher, M.I. Bogachev, J.W. Kantelhardt, A.Y. Schumann, and A. Bunde, *Multifractal Detrended Fluctuation Analysis of Nonstationary Time Series*, *Physica A* 390, 2480 (2011).
- [80] Ł. Czarnecki and D. Grech, *Multifractal dynamics of stock market*, *Acta Phys. Pol. A* 117, 623 (2010).
- [81] N. Vandewalle and M. Ausloos, *Fractals in Finance*, in *Fractals and Beyond. Complexity in the Sciences*, M. M. Novak (Ed.) (World Scient., Singapore, 1998) p. 355.
- [82] K. Ivanova and M. Ausloos, *Low q-moment multifractal analysis of Gold price, Dow Jones Industrial Average and BGL-USD exchange rate*, *Eur. Phys. J. B* 8, 665 (1999); Err. 12, 613 (1999).
- [83] M. Ausloos and K. Ivanova, *Multi-fractal nature of stock exchange prices*, *Comp. Phys. Commun.* 147 (2002) 582-585
- [84] Th. Lux and M. Ausloos, *Market Fluctuations I: Scaling, Multi-scaling and their Possible Origins*, in *The Science of Disasters: Scaling Laws Governing Weather, Body, Stock-Market Dynamics*, A. Bunde, J. Kropp and H.-J. Schellnhuber, Eds. (Springer Verlag, Berlin, 2001) pp.377.
- [85] J. Masoliver, M. Montero, and G.H. Weiss, *Continuous-time random-walk model for financial distributions*, *Phys. Rev. E* 67, 021112 (2003).
- [86] J. Masoliver, M. Montero, J. Perelló, and G.H. Weiss, *The continuous time random walk formalism in financial markets*, *J. Econ. Behav. & Org.* 61, 577 (2006).
- [87] E. Scalas, *The application of continuous-time random walks in finance and economics*, *Physica A* 362, 225 (2006).
- [88] R. Kutner and J. Masoliver, *The continuous time random walk, still trendy: fifty-year history, state of art and outlook* *Eur. Phys. J. B* 90, 50 (2017).
- [89] R. Kutner, *Stock market context of the Lévy walks with varying velocity*, *Physica A* 314, 786 (2002).
- [90] R. Kutner and F. Świtłała, *Stochastic simulations of time series within Weierstrass-Mandelbrot walks*, *Quant. Fin.* 3, 201 (2003).
- [91] P. Oświęcimka, J. Kwapien, and St. Drożdż, *Multifractality in the stock market: price increments versus waiting times*, *Physica A* 347, 626 (2005).
- [92] Z. Eisler and J. Kertész, *Size matters: some stylized facts of the stock market revisited*, *Eur. Phys. J. B* 51, 145 (2006).
- [93] Z. Eisler and J. Kertész, *Scaling theory of temporal correlations and size-dependent fluctuations in the traded value of stocks*, *Phys. Rev. E* 73, 046109 (2006).
- [94] J. Perelló, J. Masoliver, A. Kasprzak, and R. Kutner, *Model for interevent times with long tails and multifractality in human communications: An application to financial trading*, *Phys. Rev. E* 78, 036108 (2008).
- [95] T. Gubiec and R. Kutner, *Backward jump continuous-time random walk: An application to market trading*, *Phys.Rev. E* 82, 046119 (2010).
- [96] J. Kwapien and St. Drożdż, *Physical approach to complex systems*, *Physics Reports* 515, 115 (2012).
- [97] M. Denys, T. Gubiec, R. Kutner, M. Jagielski, and H.E. Stanley, *Universality of market superstatistics*, *Phys. Rev. E* 94, 042305 (2016).

Is the Galilean law of free fall an *a priori* truth?

Tomasz Bigaj*

Wydział Filozofii Uniwersytetu Warszawskiego

Abstrakt. W niniejszym artykule omawiam znany argument *a priori* Galileusza przeciwko Arystotelesowskiemu prawu spadku swobodnego, przedstawiając go w uwspółcześnionej matematycznej postaci. Pokazuję, że argument ten nie dowodzi, iż tempo spadku swobodnego jest stałe dla wszystkich ciał, chyba że założymy, że jest ono funkcją jednego addytywnego parametru. Jednakże jest całkowicie możliwe, że tempo spadku będzie dane w postaci stosunku dwóch addytywnych parametrów. W takim wypadku argument upada.

Słowa kluczowe: spadek swobodny, Arystoteles, Galileusz, suma wypukła, addytywność

Abstract. In this short note I discuss Galileo's well-known *a priori* argument against Aristotle's law of free fall, presented in a modern mathematical version. I show that the argument does not prove that the rate of fall should be constant for all bodies, unless we presuppose that the rate of fall is a function of one additive parameter. However, it is perfectly possible that the rate of fall will be given in the form of the ratio of two additive parameters, in which case the argument does not go through.

Keywords: free fall, Aristotle, Galileo, convex sum, additivity

Modern science owes a huge debt of gratitude to Galileo Galilei, the famous Italian polymath. His role in overturning the old, Aristotelian and Ptolemaic world view, while paving the way to the scientific revolution that later gave us Newton and Einstein, cannot be overestimated. Galileo was a keen observer and skillful experimentalist, but he also had an uncanny ability to invent simple and ingenious theoretical arguments in his numerous polemics with his scientific adversaries. For instance, in response to the Aristotelian explanation of the motion of projectiles in terms of the pressure from the displaced amount of air he astutely observed that if this explanation was correct, then an arrow shot perpendicularly to the direction of motion should fly faster than an arrow pointing in the direction of its motion. One of the most famous arguments that Galileo produced dealt with the phenomenon of free fall. As it turns out, even after four centuries the argument presents us with interesting challenges, particularly regarding the role of *a priori*, mathematical reasoning in discovering rules and principles governing the physical world.

The argument Galileo used against the then dominant Aristotelian theory of free fall is beautiful in its simplicity. Aristotle assumed, as seems natural, that the rate of fall for heavy objects (measured, for instance, by the amount of time required to reach the ground when dropped from a fixed height) is proportional to their weight. Here is a quote from *Physics* confirming this stance:

We see that bodies which have a greater impulse either of weight or of lightness, if they are alike in other respects, move faster over an equal space, and in the ratio which their magnitudes bear to each other.

While the Aristotelian law of free fall in its above-given version does not withstand closer scrutiny, since it is easy to observe that a ten-kilogram body does not fall down ten times faster than a one-kilogram one, the final blow to the Peripatetic conception was dealt by argumentation *a priori*. Salviati, a character in the *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems* who presents Galileo's own views, announces that: *even without further experiment, it is possible to prove clearly, by means of a short and conclusive argument, that a heavier body does not move more rapidly than a lighter one.*

The argument considers two bodies differing in weight only. Given Aristotle's law of free fall, the heavier body should reach the ground faster than the lighter one. But what will happen when we connect these bodies rigidly, so that they will have to move as one? On the one hand, the resulting body will be heavier than each of its components taken separately, therefore it should fall even faster. On the other hand, as Salviati observes: *it is clear that on uniting the two, the more rapid one will be partly retarded by the slower, and the slower will be somewhat hastened by the swifter.*

Thus the rate of descent of the combined body should fall somewhere between the rates for individual components, which contradicts the earlier conclusion. Aristotle's law (as a matter of fact *any* law which implies that

*ORCID: 0000-0002-8121-9789

the rate of fall is an increasing function of weight) turns out to be inconsistent.

It may be remarked that Galileo's argument does not look entirely *a priori*, since the premise spelled out in the quotation above, no matter how intuitive, does not seem to be logically or conceptually necessary. The status of the assumption regarding the "hastening" and "retarding" phenomena is somewhat murky. It does not appear to be a straightforward generalization from experience, since it is based on the condition which does not occur in reality (in fact there are no "hasteners" or "delayers" in the Galilean sense – all objects fall at the same rate, no matter their weight).¹ Yet there is something very compelling about the counterfactual statement that if the considered objects had different "natural speeds" associated with their weights, then joining them together would result in an object whose natural speed would fall between the two values. We will simply assume this to be true without further justification, regardless of whether it is a conceptual truth or a basic fact about the world that is very unlikely to be refuted.

Galileo's elegant thought experiment is sufficient to refute the theory of Aristotle, but can it establish the alternative law of free fall as proposed by the great Italian scientist? Galileo famously maintained that, ignoring air resistance, all bodies fall at the same rate regardless of their weight. This looks like a genuine empirical claim which must be experimentally corroborated to be accepted. And yet it is possible to give a straightforward mathematical argument apparently showing that the Galilean law of free fall must be true! Let us present this argument in some details. Let us first write the rate of fall of any heavy body (which nowadays we represent by its acceleration) as a function of its mass $f(m)$. Mass, in turn, is supposed to be additive with respect to the operation of physical summing. That is, for any non-overlapping bodies a_1, \dots, a_n , the mass of the physical sum of these bodies equals the sum of the individual masses: $m(a_1 \cup a_2 \cup \dots \cup a_n) = m(a_1) + m(a_2) + \dots + m(a_n)$.

The most important premise of the argument is the condition that the function f representing the rate of fall must be such that the value of f for the sum of masses m_1, \dots, m_n is a *convex sum* of the values of f for the individual masses, that is the value of $f(m_1 + \dots + m_n)$ must fall somewhere between the minimal and the maximal values of $f(m_i)$. This is a straightforward generalization of Galileo's "hasteners" and "delayers" claim given above,

and can be expressed mathematically as follows:

$$f\left(\sum_i m_i\right) = \sum_i p_i f(m_i), \quad (1)$$

where $\sum_i p_i = 1$ and $p_i \geq 0$ for all i . Now, it is easy to prove that any function f satisfying (1) must be identical on all rational numbers. Take any two rational numbers presented in the form of two fractions with common denominators: $\frac{m}{l}$ and $\frac{k}{l}$. From (1) it follows that

$$f\left(\frac{m}{l}\right) = f\left(\underbrace{\frac{1}{l} + \dots + \frac{1}{l}}_m\right) = f\left(\frac{1}{l}\right) \quad (2)$$

and likewise for $\frac{k}{l}$

$$f\left(\frac{k}{l}\right) = f\left(\underbrace{\frac{1}{l} + \dots + \frac{1}{l}}_k\right) = f\left(\frac{1}{l}\right) \quad (3)$$

from which we conclude that $f\left(\frac{m}{l}\right) = f\left(\frac{k}{l}\right)$. Assuming that f is continuous, we have proven that f is constant on all numbers.

This result is baffling. Galileo's law of free fall seems to be an important empirical claim about our world – a claim that could easily turn out to be incorrect. Its importance is highlighted by the well-known fact that the constancy of the rate of fall in a uniform gravitational field is directly connected with the identity between inertial mass and gravitational mass – the surprising and contingent fact that gave rise to Einstein's general theory of relativity. Surely, the fact that gravitational mass and inertial mass are equivalent should not be derivable *a priori* from some elementary mathematical considerations. But how can we explain the existence of a mathematical proof for the fact that the rate of fall for all bodies must be the same?

It is not difficult to observe that the culprit is the premise that the rate of fall is a function of mass *only*. To be accurate, the above argument will go through under the assumption that the function f depends on any additive parameter at all, not necessarily mass, as long as there is no functional dependence on some other parameters. But this assumption may very well be questioned. As an example let us consider a possible scenario in which the function f can be presented as a ratio of two functions g and h , each of which is an additive quantity characterizing a particular physical object a : $f(a) = \frac{g(a)}{h(a)}$.² Somewhat surprisingly, it can be shown that given this

1. James R. Brown insists that Galileo's reasoning regarding retarding and hastening is genuinely *a priori* (a thought experiment) and does not require any experimental verification. See J.R. Brown, "Why thought experiments transcend empiricism", in: C. Hitchcock (ed.), *Contemporary Debates in Philosophy of Science*, Blackwell 2004, pp. 23-43.

2. Perhaps I should add here one clarificatory comment: the function f is not defined on the set of real numbers but on the set of physical objects, in contrast to the previous case, in which f could be defined as a function of mass, represented by real numbers. If we wanted to represent f purely mathematically, we would have to treat it as a function of two arguments: $f(g, h) = \frac{g}{h}$.

assumption, a condition which is a generalization of (1) is guaranteed to be satisfied:

$$f\left(\bigcup_{i=1}^n a_i\right) = \sum_{i=1}^n p_i f(a_i), \quad (4)$$

where p_i are defined as in formula (1), and a_1, \dots, a_n are some non-overlapping physical objects. Let a symbolize the physical union $\bigcup_{i=1}^n a_i$. Given that g and h are additive, we can derive the following:

$$\begin{aligned} f(a) &= \frac{g(a)}{h(a)} = \frac{\sum_{i=1}^n g(a_i)}{\sum_{i=1}^n h(a_i)} \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{h(a_i)}{\sum_{j=1}^n h(a_j)} \frac{g(a_i)}{h(a_i)} \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{h(a_i)}{\sum_{j=1}^n h(a_j)} f(a_i). \end{aligned} \quad (5)$$

We can clearly see that the numbers $\frac{h(a_i)}{\sum_{j=1}^n h(a_j)}$ sum up to 1, and thus (given the assumption of the positivity of the function $h(x)$) we conclude that $f(a)$ is a convex sum of the values $f(a_i)$, as stated in (4). Thus the condition imposed by Galileo on the function representing the rate of fall is automatically satisfied. But this is the case regardless of the fact that the value of the function f may vary from body to body. Hence it is theoretically possible that the rate of fall will be different for different bodies.

As a matter of fact, this is not a mere theoretical possibility. Let us consider an electrically charged particle in a uniform electrostatic field (such as produced by a capacitor consisting of two infinite charged plates) as an example. In that case the value of the acceleration of such a particle is given as $\frac{q}{m}E$, where q is the charge of the particle, m – its mass and E (the constant) value of the electric field. Since both the charge and mass are additive quantities, the Galilean condition (4) is satisfied, as proven above. Combining two particles whose rates of fall are given respectively by $\frac{q_1}{m_1}E$ and $\frac{q_2}{m_2}E$, where $\frac{q_1}{m_1} < \frac{q_2}{m_2}$, we obtain a particle with a rate of fall equal to $\frac{q_1+q_2}{m_1+m_2}E$,

and thus greater than that of particle 1 but smaller than the rate of particle 2. Consequently, the faster particle will hasten the slower one, while the slower will retard the faster, exactly as demanded by Galileo. And all this is perfectly compatible with the fact that different particles can have different rates of descent, depending on their charge-to-mass ratio.

An analogous situation would occur if gravitational mass were different from inertial mass. In that hypothetical scenario the acceleration of a free-falling body would be proportional to the ratio of its gravitational mass m_g to its inertial mass m_i like so: $a = \frac{m_g}{m_i}g$. This by itself would be sufficient to make the condition (4) true, but if this ratio varied among different bodies, the Galilean law of free fall would be violated. Thus it is conceptually possible that Galileo's condition of "hastenings" and "delayers" may be satisfied, and yet objects fall at different rates in the gravitational field of the Earth.

In his generalization of the *a priori* argument against Aristotle's law of free fall, Galileo made a logical error, which nevertheless turned out to be a happy one. He assumed, following Aristotle, that the rate of fall is represented by a function of one additive parameter (i.e. mass), and from this assumption he derived that this function must be constant. However, he overlooked the fact that the crucial premise of his derivation – the assumption that the rate of fall of a composition of two bodies must be somewhere between the rates of fall for these individual bodies taken separately – can be made true by representing the rate of fall of an object as a ratio of two independent additive parameters. But Galileo was proved right – whether by pure luck or thanks to the intuition of a genius. As a matter of fact, the ratio of the gravitational mass to the inertial mass for any object is constant, and therefore the Galilean law of free fall is correct. However, this fact had to be verified by experiment, quite independently from any *a priori* reasoning no matter how compelling.

Huragan w filiżance, czyli ruch trochoidalny i efekty niestabilności podczas dyfuzji kawy z mlekiem

Nina Cielica

III Liceum Ogólnokształcące im. A. Mickiewicza w Katowicach, Pałac Młodzieży im. A. Kamińskiego w Katowicach

Barbara Szymańska-Markowska

Uniwersytet Śląski w Katowicach, Instytut Fizyki im. Augusta Chełkowskiego

Streszczenie: W artykule przedstawiono zjawisko dyfuzji kawy z mlekiem rozpatrzone z perspektywy dynamiki formujących się w trakcie procesu wirów. Zilustrowano je przy wykorzystaniu danych uzyskanych za pomocą kamery termowizyjnej. Pomiar pokazał zależność właściwości utworzonych wirów od czynników takich jak temperatura płynów, stosunek objętości płynów, kierunek i prędkość obrotu tarczy, na której umieszczona jest filiżanka. Na podstawie rozpoznanych efektów niestabilności stworzono symulację pokazującą w przybliżony sposób przebieg zjawiska. Analiza wskazała także podobieństwa do zjawisk w większej skali np. mechanizmu formowania huraganów.

Słowa kluczowe: kawa, wiry, ruch trochoidalny, niestabilność Kelvina–Helmholtza, niestabilność Rayleigha–Taylora, przepływ turbulentny

Abstract: The article presents the phenomenon of milk diffusion in coffee, considered from the perspective of the dynamic of vortices forming during the process. They are illustrated using data obtained with a thermal imaging camera. The measurements showed the dependence of vortices' properties on the factors such as the temperature of the fluids, the volume ratio or the direction and speed of rotation of the disc on which the cup is placed. On the basis of the identified instability effects, simulation, that shows the approximate course of the phenomenon, was created. The analysis also showed similarities to larger-scale phenomena, such as the mechanism of hurricane formation.

Keywords: coffee, vortices, trochoidal motion, Kelvin–Helmholtz instability, Rayleigh–Taylor instability, turbulent flow

Dynamika płynów jest skomplikowanym zagadnieniem dotyczącym wielu zjawisk, które można obserwować na co dzień. Trudności w matematycznym opisie ruchu płynów powodują, że poszukiwane są analogie przybliżające rozwiązanie problemu, poznanie charakteru i właściwości danego procesu.

Dążenie do dokładniejszego przewidywania torów ruchu huraganów spowodowało, że rozpoczęto badania wykorzystujące bańki mydlane jako model ziemskiej atmosfery [1]. Opis powstających tam wirów ukazał ich podobieństwa do huraganów w niektórych aspektach.



Ryc. 1. Dyfuzja kawy z mlekiem

Przywołana praca badawcza stanowiła inspirację do wykonania niniejszego projektu. Dodatkowym impulsem była też fotografia, na której widać ciekawe figury, przypominające chmury burzowe na Jowiszu, formujące się podczas mieszania się kawy z mlekiem (ryc. 1).

Do rejestracji zjawiska wykorzystano aparat oraz kamerę termowizyjną, która umożliwiła dokładniejszą analizę właściwości wirów. Na kontrolę niezbędnych parametrów pozwalał modelowy układ doświadczalny, który składał się z filiżanki stojącej na obrotowej tarczy o regulowanej prędkości obrotowej oraz znajdującej się nad naczyniem strzykawki umieszczonej w łapie statywu (ryc. 2).

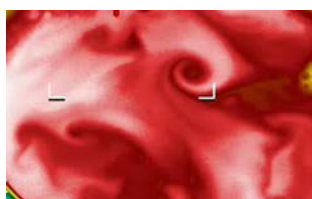


Ryc. 2. Układ doświadczalny wykorzystany do przeprowadzenia pomiarów

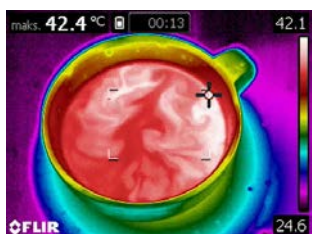
Wprowadzenie ruchu obrotowego imituje obrót Ziemi, który z perspektywy zjawisk atmosferycznych oraz oceanicznych jest stały. Ma on za to wpływ na prądy tworzące się w oceanach, czy też na tworzenie się cyklonów.[2] W trakcie przeprowadzania eksperymentu zmieniano temperaturę stosowanych płynów, stosunek ich objętości, kierunek i prędkość obrotu tarczy, jak też same substancje. Pozwoliło to na uzyskanie zależności parametrów ruchu od wymienionych czynników, jak też porównanie ich do zjawisk zachodzących w większej skali.

Rezultaty

Po wlewniu mleka do kawy można obserwować pierwszą z charakterystycznych form, składającą się z dwóch obracających się w przeciwnych kierunkach wirów, znaną jako *mushroom vortex rings* (pierścienie grzybobopodobne). Pojawia się ona dlatego, że wlewany płyn napotyka na opór i stopniowo zakręca formując spirale. Proces ten powoli zanika wraz z rozpraszaniem energii w płynie [3].



Ryc. 3. Pierścienie wirowe (zdjęcie z kamery termowizyjnej)



Ryc. 4. Różnica temperatur w płynie w trakcie formowania pierścieni wirowych (zdjęcie z kamery termowizyjnej)

Struktura ta jest przejawem niestabilności Rayleigha–Taylora [4]. Zjawisko to obserwuje się w momencie, gdy występują płyny o różnych gęstościach. Wtedy ten o większej gęstości opada, przy jednoczesnym ruchu do góry płynu mniej gęstego. W przypadku dyfuzji kawy z mlekiem, można obserwować nierównomierny rozkład temperatury, który wskazuje też na różne gęstości mieszaniny. Z tego względu pojawiają się pierścienie wirowe.

Niestabilność Rayleigha–Taylora jest związana z kolei z niestabilnością Kelvina–Helmholtza [5]. Pierścienie wirowe wraz z upływem czasu przekształcają się w szereg połączonych ze sobą wirów. Struktura ta występuje, gdy pojawia się ścinanie, czyli względny ruch płynów. Jest on w tym przypadku wywołany występowaniem zewnętrznie narzuconego ruchu obrotowego.

Na proces zachodzący w filiżance wpływ mają więc siły lepkości i siła Coriolisa, które bezpośrednio decydują o pojawieniu się efektów niestabilności (ryc. 3, ryc. 4). Decydującym czynnikiem jest jednak w tym przypadku różnica gęstości. Potwierdzają to także pomiary wykonane dla herbaty z mlekiem oraz wody o różnym stopniu zasolenia. Dla wymienionych substancji także pojawiają się charakterystyczne struktury związane z niestabilnościami.

Dla uzyskanych danych doświadczalnych przeprowadzono oszacowanie liczby Reynoldsa. Liczba ta określa stosunek sił bezwładności do sił lepkości, jak też charakter przepływu [6]. Obliczenia wykonano stosując następujący wzór

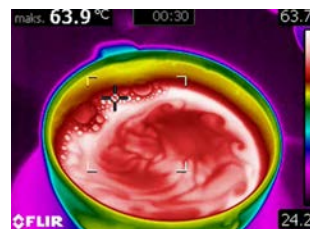
$$\mathfrak{R} = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu}$$

gdzie: ρ – gęstość wlewanego płynu $[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}]$, v – prędkość wlewanego płynu $[\frac{\text{m}}{\text{s}}]$, l – wysokość płynu znajdującego się w filiżance [m], μ – lepkość dynamiczna wlewanego płynu $[\frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}]$.

Wartości wymienionych parametrów były dobierane w zależności od analizowanej konfiguracji, przy wykorzystaniu dostępnych danych [7, 8]. Uwzględniano więc zależność współczynnika lepkości mleka od temperatury czy gęstości i współczynnika lepkości od stopnia zasolenia wody. Oszacowane wartości liczby Reynoldsa wynoszą:

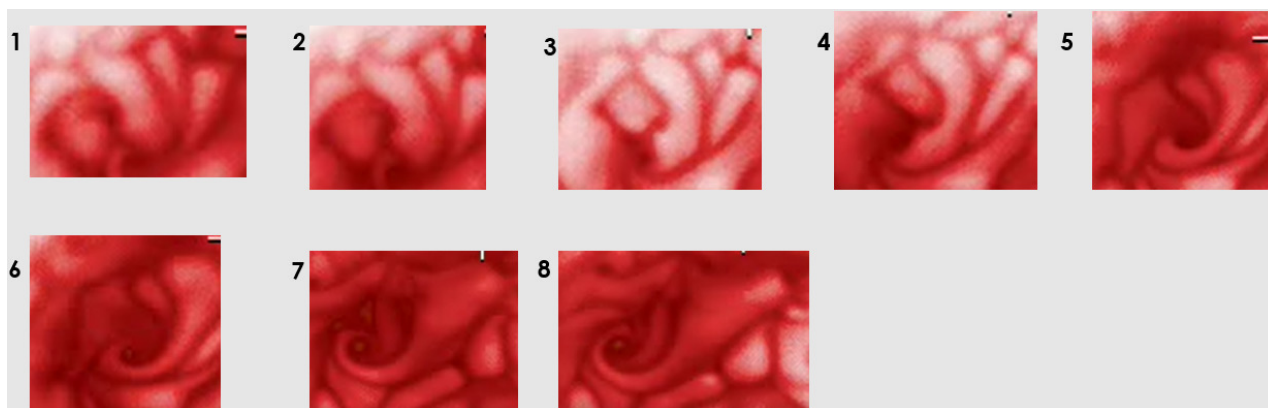
- dla kawy z mlekiem: $\mathfrak{R} \approx 1004$,
- dla wody z solą (woda słona była wlewana do wody pozbawionej soli): $\mathfrak{R} \approx 2916$,

a więc w przypadku kawy mamy do czynienia z większą siłą lepkości niż dla wody. Jednocześnie w obu przypadkach na zdjęciach uzyskanych z kamery termowizyjnej widać, że przepływ jest turbulentny. Póki co nie pojawiły się badania wyznaczające krytyczną wartość liczby Reynoldsa, przy której przepływ przechodzi z laminarnego w turbulentny, a żadne znane przypadki nie stanowią dobrego przybliżenia analizowanej sytuacji.



Ryc. 5. Figury związane z niestabilnością Kelvina–Helmholtza (zdjęcie z kamery termowizyjnej)

Poza wirami tworzącymi kształty przedstawione na ryc. 3 i ryc. 4, proces formowania spiral jest powtarzalny, choć początkowy kształt jest różny ze względu na ich nieregularność. Za każdym razem następuje wydłużenie w kierunku środka filiżanki i stopniowe zakręcanie.

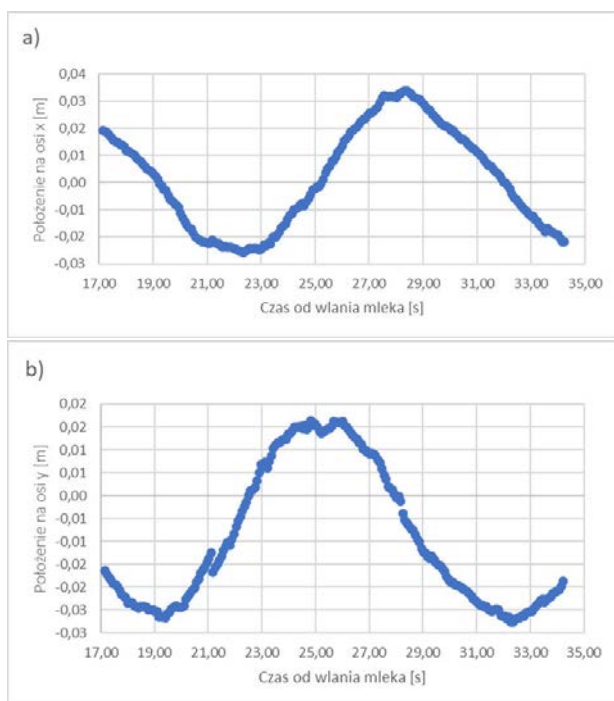


Ryc. 6. Przykładowy proces formowania wiru (seria zdjęć z kamery termowizyjnej)

Pomiary pokazały, że kierunek skrętu jest zdeterminowany kierunkiem obrotu tarczy, na której umieszczona jest filiżanka, wir będzie obracał się w tę samą stronę co tarcza.

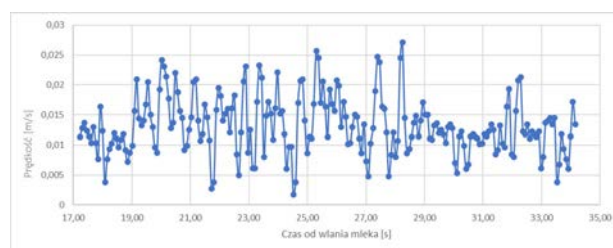
Na podstawie uzyskanych nagrań z kamery termowizyjnej, z pomocą programu Tracker scharakteryzowano ruch środka wybranych wirów. Zauważalne jest, że wiry formujące się zaraz po wlewniu drugiej substancji, znikają zbyt szybko, aby dokładnie poznać ich właściwości. Z tego powodu analizę przeprowadzono dla spiral, które uformowały się po upływie pewnego czasu od rozpoczęcia dyfuzji.

Zmiany w czasie położenia, prędkości liniowej i prędkości obrotowej wskazały, że wiry poruszają się ruchem trochoidalnym. Taki ruch występuje również w przy-

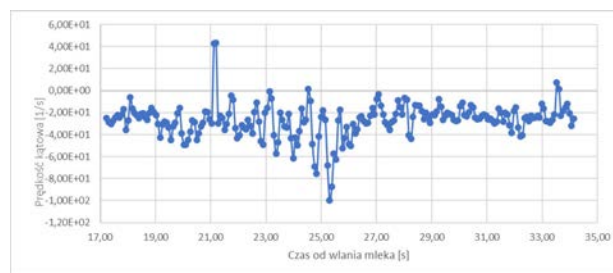


Ryc. 7. Zmiany w czasie współrzędnej położenia a) x, b) y środka wiru, dla jednego z wirów

padku huraganów [9, 10]. Tor tego ruchu jest wyznaczony przez punkt na wewnętrznym z dwóch współśrodkowych okręgów, podczas gdy drugi obraca się mając cały czas jeden punkt styczny do linii prostej. Przyjmuje on więc kształt fali (ryc. 7) Charakterystyczne są także okresowe, oscylacyjne zmiany prędkości liniowej i obrotowej. Zauważalne są też momenty intensyfikacji, występują minimalne i maksymalne wartości tych prędkości (ryc. 8, ryc. 9).



Ryc. 8. Zmiana prędkości liniowej w czasie dla jednego z wirów

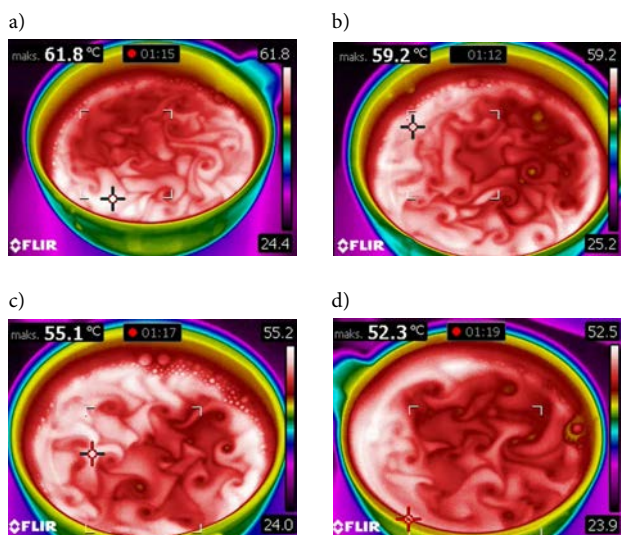


Ryc. 9. Zmiana prędkości kątowej w czasie dla jednego z wirów

Dodatkowo zmiana temperatury mleka wpływała na siłę lepkości, która jest wprost proporcjonalna do współczynnika lepkości, współczynnik lepkości mleka zmienia się bowiem dynamicznie wraz z temperaturą – dla 291 K: $\eta_1 = 2 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, natomiast dla 325 K: $\eta_2 = 1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$. Powoduje to, że wraz ze wzrostem temperatury wiry się formują coraz rzadziej i jest ich dużo mniej.

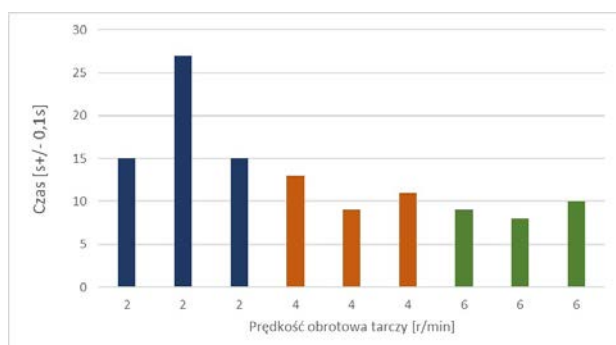
Zwiększanie objętości mleka, przy stałej objętości kawy, wpływało na obszar zajmowany przez pojedyncze

wiry, ponieważ z większą ilością mleka wiąże się większa powierzchnia wirów. Wynika to z faktu, iż siły spójności mleka powodują, że interakcje między cząsteczkami mleka są silniejsze niż między cząsteczkami mleka i kawy. Z tego powodu cząsteczkom mleka jest się trudniej rozdzielić, są połączone w większe grupy i przez to wiry zajmują większą powierzchnię (ryc. 10).

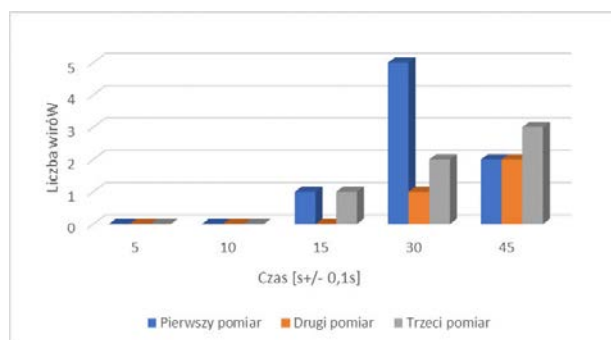


Ryc. 10. Zdjęcia z kamery termowizyjnej dla: a) 13 ml, b) 26 ml, c) 39ml i d) 52ml mleka

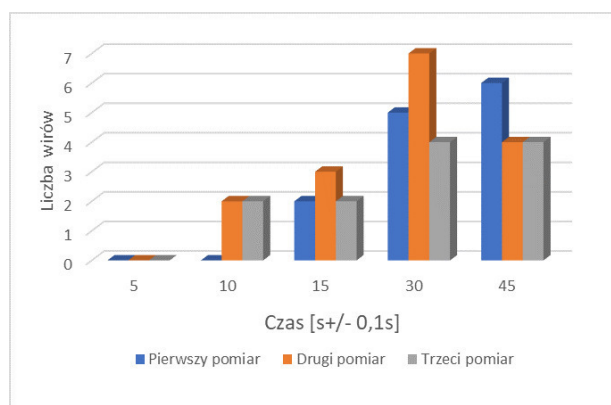
Zmiany prędkości obrotowej tarczy wpływały na szybkość formowania się wirów. Wraz ze wzrostem szybkości obrotu, pierwsze wiry pojawiały się po upływie krótszego czasu. Liczba struktur była też większa, co staje się coraz lepiej zauważalne z upływem czasu od wiania jednego płynu do drugiego. (ryc. 11, 12, 13, 14). Pomimo możliwie zbliżonych warunków dla serii trzech pomiarów przy zachowaniu stałej prędkości kątowej, widoczne są różnice. Czas potrzebny do pojawienia się pierwszego wiru dla prędkości 2 r/min (obr/min), w jednym z pomiarów był blisko dwukrotnie większy. Dla prędkości 4 r/min oraz 6 r/min zmiany były znacznie mniejsze. Różnice te, zauważalne także w przypadku liczby wirów po upływie danego czasu, wynikają ze złożoności procesu i wielu innych czynników mających na niego wpływ.



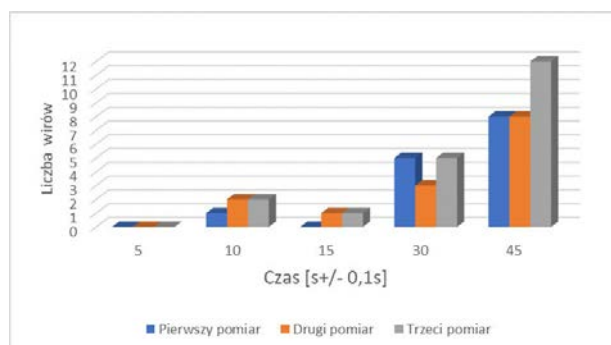
Ryc. 11. Czas potrzebny do uformowania pierwszego wiru dla serii trzech pomiarów, dla każdej z trzech prędkości obrotowych



Ryc. 12. Zmiany liczby wirów w badanych przedziałach czasu dla prędkości obrotowej równej 2 r/min



Ryc. 13. Zmiany liczby wirów w badanych przedziałach czasu dla prędkości obrotowej równej 4 r/min

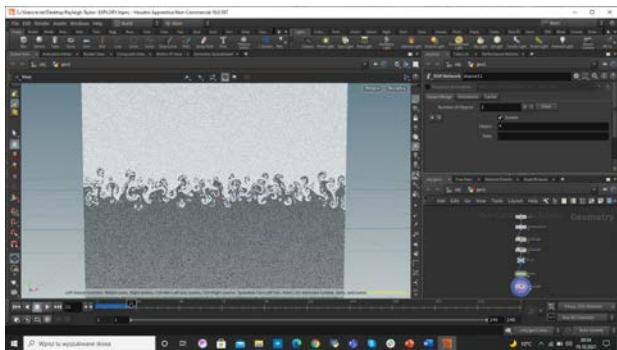


Ryc. 14. Zmiany liczby wirów w badanych przedziałach czasu dla prędkości obrotowej równej 6 r/min

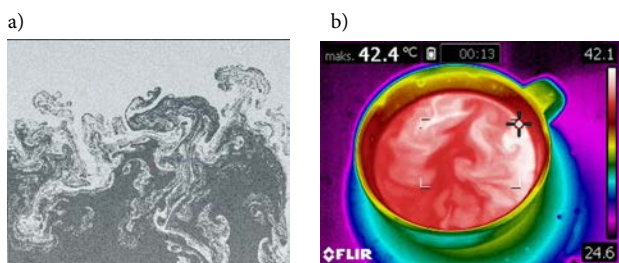
Symulacja komputerowa

Rozpoznanie charakterystycznych struktur, związanych z niestabilnościami Rayleigha–Taylor oraz Kelvina–Helmholtza pozwoliło na stworzenie symulacji. Przedstawia ona przybliżony proces mieszania się dwóch płynów. Wykonano ją z pomocą programu Houdini [11]. Stworzona symulacja pozwala na zmianę gęstości cieczy oraz ich lepkości, dzięki czemu może zobrazować zarówno proces dla kawy z mlekiem, wody o różnym stopniu zasolenia, czy innych substancji. Symulacja nie obejmuje jednak interakcji ze ściankami naczynia, prędkości, którą

posiadają cząsteczki wlewanej cieczy czy prędkości obrotowej tarczy.



Ryc. 15. Symulacja mieszania dwóch cieczy oraz program Houdini użyty do jej stworzenia



Ryc. 16. Podobieństwo a) fragmentu symulacji oraz b) zdjęcia z kamery termowizyjnej dla kawy z mlekiem

Dyskusja

Zbadane i omówione wyżej własności charakteryzują zachowanie i właściwości wirów formujących się w trakcie mieszania dwóch cieczy. Scharakteryzowano wpływ na dany proces następujących czynników: prędkości i kierunku obrotu tarczy, na której umieszczone jest naczynie, temperatury płynów, ich objętości, rodzaju zastosowanych substancji. Scharakteryzowano cechy ruchów wirów, oszacowano liczbę Reynoldsa dla dwóch konfiguracji: kawy z mlekiem oraz wody o różnym stopniu zasolenia. Zidentyfikowano także efekty niestabilności Rayleigha–Taylora oraz Kelvina–Helmholtza i na ich podstawie stworzono symulację komputerową przybliżającą rozważane zjawisko.

Analiza zebranych danych ukazała właściwości wirów w filiżance, które wskazują na ich podobieństwo do tych w większej skali tj. huraganów, chmur burzowych na Jowiszu. Rozkład temperatury huraganu pokazuje, że oko cyklonu jest chłodniejsze niż jego otoczenie, czyli temperatura tam jest najniższa [12]. Podobnie środek wiru uformowanego w filiżance jest najzimniejszy.

Wiadomo, że huragan nie może się pojawić, jeżeli temperatura oceanu nie przekroczy temperatury progowej [13]. Eksperyment pokazał, że spirale w kawie z mlekiem nie utworzą się, gdy temperatura kawy jest zbyt

niska. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku wody o różnym stopniu zasolenia.

Kolejnym podobieństwem do huraganów, a zarazem ważnym aspektem właściwości wirów w filiżance jest ruch trochoidalny [9, 10]. Objawia się on w oscylacyjnych zmianach prędkości liniowej i obrotowej wiru oraz wzrostem tych wielkości.

Wspomniane rodzaje niestabilności charakteryzują też zjawiska w większej skali. Niestabilność Kelvina–Helmholtza pojawia się w pobliżu Wielkiej Czerwonej Plamy na Jowiszu czy w chmurach. Kolejnymi przykładami są fale formujące się na wodzie przy silnym wietrze [5]. Z kolei niestabilność Rayleigha–Taylora cechuje chociażby zewnętrzną atmosferę Słońca – koronę słoneczną [14].

Z tego względu, przy dalszym doskonaleniu badań i uwzględnianiu kolejnych parametrów, można doprowadzić do poznania właściwości wirów w większej skali. Należy oczywiście pamiętać, że mechanizmy odgrywające rolę w wirach w filiżance oraz np. cyklonach tropikalnych są bardzo różne. Badane wiry są analizowane jako dwuwymiarowe i podatne głównie na interakcje z przepływem w tle, podczas gdy cyklony tropikalne mają złożoną trójwymiarową strukturę, na którą wpływa znacznie więcej czynników. Jednak pewne cechy wspólne, jak np. ruch trochoidalny mogą pogłębić wiedzę na temat bardziej skomplikowanych zjawisk.

Opisany projekt zdobył I nagrodę w konkursie E(x)plory w 2021 roku, jak też akredytację na udział w jednym z najbardziej prestiżowych konkursów dla młodych naukowców na świecie czyli Regeneron International Science and Engineering Fair w USA. E(x)plory jest to największa w Polsce inicjatywa wspierająca utalentowaną młodzież w realizacji innowacyjnych projektów naukowych oraz promująca ich osiągnięcia na arenie międzynarodowej [15].

Literatura

- [1] Meuel T., Xiong Y. L., Fischer P., Bruneau C. H., Bes-safi M., Kellay H. “Intensity of vortices: from soap bubbles to hurricanes” *Nature/Scientific Reports* December 2013, [3:3455], DOI: 10.1038/srep03455.
- [2] Wettlaufer J. “The universe in a cup of coffee” *Physics Today*, May 2011, 66-67, DOI: 10.1063/1.3592018.
- [3] <https://www.cosmic-core.org/free/article-55-number-the-pentad-part-4-spirals-helices/>
- [4] Shimokawa M. “Surface pattern determined by vertical convection on Rayleigh-Taylor instability” November 2011, arxiv.org/abs/1110.6018
- [5] Hoshoudy G. „Kelvin–Helmholtz and Rayleigh–Taylor instabilities” 2019 <https://www.researchgate>.

- net/publication/335383007...
- [6] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/reynolds-number>
- [7] <http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=4164>
- [8] Lide D. R. (ed.) *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (86th ed.), Boca Raton (FL): CRC Press, 2005, ss. 8–71, 8–116.
- [9] Lawrence M. B., Mayfield B. M. "Satellite observations of trochoidal motion during hurricane Belle 1976" *Monthly Weather Review* 105, 1458 (1977).
- [10] Nolan D., Montgomery M. T., Grasso, T. *The wavenumber-one instability and trochoidal motion of hurricane like vortices J. Atmos. Sci.* 58, 3233 (2001).
- [11] <https://entagma.com/quicktip-rayleigh-taylor-instability-season-3-is-here/>
- [12] Lu X., Yu H., Yang X., Li X. "Estimating Tropical Cyclone Size in the Northwestern Pacific from Geostationary Satellite Infrared Images" *Remote Sens.*, 9, 728 (2017) <https://doi.org/10.3390/rs9070728>
- [13] Tory K. J., Dare R. A. "Sea surface temperature thresholds for tropical cyclone formation" *J. Clim.* 28, 8171-8183 (2015).
- [14] Berger, T. E., Slater G., Hurlburt N. Shine R. et al. "Quiescent Prominence Dynamics Observed with the Hinode Solar Optical Telescope. I. Turbulent Upflow Plumes" *The Astrophys. J.* 716 (2), 1288–1307 (2010).
- [15] <https://www.explory.pl/laureaci>

Zaczynamy!¹

Andrzej Kajetan Wróblewski

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Pandemia spowodowała liczne perturbacje w naszym życiu. Byliśmy zmuszeni do przekładania obchodów setnej rocznicy otwarcia uniwersyteckiego Zakładu Fizycznego w gmachu przy ul. Hożej 69 w Warszawie. W końcu zdecydowaliśmy, że obchody odbędą się we wrześniu 2021 roku, kiedy przewidywano mniejsze ograniczenia zgromadzeń publicznych związane z pandemią.

Mówiąc żartobliwie, ta sytuacja przypomina nieco sprawę urodzin królowej brytyjskiej, które są obchodzone w dniu ustalonym corocznie zależnie od innych okoliczności. Jednak faktyczna data urodzin monarchini jest dobrze znana, podczas gdy do niedawna były poważne wątpliwości co do daty inauguracji ośrodka fizyki przy Hożej 69.

Przez wiele lat przyjmowano, że ta inauguracja odbyła się 30 stycznia 1921 roku. Tak sądzili nasi seniorzy, którzy przedwojenne dzieje Hożej mogli znać z autopsji. Tak więc w referacie otwierającym obchody 50-lecia Hożej profesor Leonard Sosnowski mówił:

Gdy Uniwersytet Warszawski rozpoczynał swą działalność w odrodzonej Ojczyźnie, organizatorów życia naukowego musiano szukać często wśród Polaków pracujących poza granicami kraju. W 1919 roku powołano na Katedrę Fizyki Doświadczalnej Stefana Pieńkowskiego, 36-letniego uczonego, który rozpoczął świetną działalność badawczą na uniwersytetach w Liège i Heidelbergu. Wybór okazał się niezwykle szczęśliwy i decydujący o dalszym rozwoju fizyki polskiej. Dzięki energii i staraniom młodego profesora już w rok później, to jest 30 stycznia 1921 roku, zostaje zainaugurowana praca Zakładu Fizyki Doświadczalnej w obecnym gmachu na Hożej. Gmach ten, którego budowę zaczęto w 1914 roku, przetrwał okres pierwszej wojny światowej w stanie surowym.[1]

Pięćdziesiąt lat temu nikt nie zaglądał do dokumentów z 1921 roku, zresztą dostęp do nich nie był wtedy łatwy. Obecnie można korzystać z ogromnych zbiorów zdigitalizowanej dawnej prasy, więc łatwiej było znaleźć relacje prasowe z okresu inauguracji fizyki na Hożej.

I wtedy zaczęły się kłopoty, ponieważ relacje okazały się sprzeczne. *Gazeta Warszawska* w wydaniu z 29 stycznia 1921 donosiła:

Doniosłym faktem w rozwoju wszechnicy warszawskiej jest wykończenie i urządzenie zakładu fizycznego w nowym gmachu przy ul. Hożej (...) Na uroczystym otwarciu, które odbyło się wczoraj popołudniu, zebrało się liczne grono osób ze świata uniwersyteckiego; przybył J. M. rektor Kochanowski, gen. Niessel, reprezentanci towarzystw naukowych, oraz mnogi zastęp młodzieży akademickiej (...)[2]

Natomiast w *Rzeczpospolitej* z wtorku 1 lutego można było przeczytać:

Wczoraj po południu odbyło się otwarcie Zakładu Fizycznego uniwersytetu Warszawskiego w nowym gmachu przy ul. Hożej 69 (...) Na otwarciu obecny był prócz szeregu profesorów wyższych uczeni warszawskich z J. M. rektorem Kochanowskim na czele, także gen. Niessel, który stale z wielką życzliwością i zainteresowaniem zajmuje się naszą wszechnicą: byli także przedstawiciele towarzystw naukowych oraz liczne grono młodzieży [3]

Tak więc, według *Gazety Warszawskiej* inauguracja fizyki na Hożej nastąpiła w piątek 28 stycznia 1921, a według *Rzeczpospolitej* – w poniedziałek 31 stycznia. Niestety żadna inna gazeta nie zamieściła najmniejszej wzmianki o tym wydarzeniu. Przypomnijmy, że według cytowanego wyżej tekstu profesora Leonarda Sosnowskiego inauguracja nastąpiła 30 stycznia, a więc w niedzielę!

W tej sytuacji zacząłem systematycznie przeglądać prasę z okresu 27 stycznia – 5 lutego 1921 roku, poszukując jakiejś wzmianki, która pozwoliłaby na rozstrzygnięcie sprzecznych doniesień. Udało się! Otóż w tamtym okresie ważną osobistością w Polsce był generał Henri Niessel, szef francuskiej misji wojskowej. Prasa skrupulatnie śledziła jego działania. I oto *Kurjer Polski* w sobotę 29 stycznia donosił:

Szef misji wojskowej francuskiej gen. Niessel w towarzystwie pułk. Dosse dyrektora szkół wojsk. w min. spraw

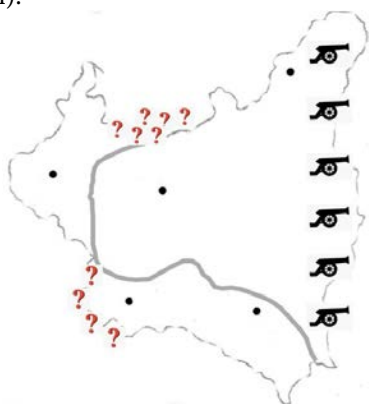
1. Referat otwierający obchody 100 lat fizyki – od Hożej do Pasteura 10 września 2021 roku.

wojsk. w Paryżu wyjechał d. 28 b.m. z Warszawy do Torunia i Poznania. Gen. Niessel dokona inspekcji ośrodków instruktorskich w tych dwu miastach i odwiedzi stacjonujące tam wojska. W Poznaniu gen. Niessel powtórzy swój odczyt o Marokku. Gen. Niessel powróci do Warszawy 8 lutego.[4]

Dalsze odnalezione relacje prasowe donosiły o poczynaniach gen. Niessela w kolejnych dniach w Toruniu i Poznaniu. Nie ulega zatem wątpliwości, że był on obecny na inauguracji fizyki na Hożej w piątek 28 stycznia rano, a już po południu tego samego dnia wyjechał na ponad tydzień z Warszawy; nie mógł być więc obecny na Hożej w poniedziałek 31 stycznia.

Zatem inauguracja Zakładu Fizycznego UW w gmachu przy Hożej 69 nastąpiła w piątek 28 stycznia 1921 roku.

Trudno dziś sobie wyobrazić ogrom zadań stojących przed odrodzonym państwem. Przede wszystkim trzeba pamiętać, że w 1920 roku Polska nie miała jeszcze ustalonych granic państwowych, stanowiła zaś wtedy zlepek trzech byłych zaborów o bardzo różnych systemach administracyjnych, prawnych, pocztowych, kolejowych (np. do 1925 roku w Galicji obowiązywał ruch lewostronny, a w byłym zaborze rosyjskim pociągi jeździły po szerokich torach).



Ryc. 1. W początkach 1921 roku Polska była zlepkim trzech zaborów, miała jeszcze niustalone granice, gorące były sprawy plebiscytów na Śląsku i Mazurach, a na wschodzie trwała wojna z bolszewicką Rosją. Czarne kropki oznaczają miasta uniwersyteckie: Poznań, Kraków, Lwów, Warszawę i Wilno

System połączeń kolejowych był chaotyczny, ponieważ zaborcy dbali o układ kolei w swoich państwach, a nie o połączenia międzynarodowe. Wyjątkiem była Kolej Warszawsko-Wiedeńska. W 1920 roku nie było bezpośrednich połączeń kolejowych między Warszawą i Krakowem, Lwowem i Poznaniem. Do Poznania jechało się przez Toruń. Do Krakowa można było dojechać Koleją Warszawsko-Wiedeńską do stacji Granica (dziś dzielnica Sosnowca), gdzie trzeba było przesiąść się na pociąg lokalny do Krakowa. Do Lwowa trzeba było podróżować przez Kraków. Do Wilna było dobre połączenie z Warszawy koleją Petersburską.

Trwała wtedy wojna z bolszewikami, ale na początku 1920 roku działania wojenne toczyły się daleko od stolicy, gdzie panował względny spokój. Trwały przygotowania do przeprowadzenia plebiscytów na Mazurach i na Śląsku.

W tym ciężkim dla Polski okresie Pieńkowski z niezwykłym uporem i energią zajął się wykończeniem gmachu przy ulicy Hożej 69 oraz urządzeniem w nim laboratoriów i sal wykładowych. Prace zostały zakończone po 15 miesiącach od jego przyjazdu do Warszawy. Wykłady i zajęcia dla studentów, odbywane wcześniej w salach Politechniki Warszawskiej przy ul. Koszykowej, znalazły się w nowej siedzibie. Pieńkowski od początku postawił sobie zadanie stworzenia dużego, nowoczesnego instytutu naukowego, który mógłby liczyć się w świecie pod względem wyników badań i kształcenia kadr. Skoncentrował prace w Zakładzie Fizycznym na aktualnych wtedy zagadnieniach optyki atomowej i molekularnej oraz badaniach strukturalnych przy użyciu promieni X. Śledził postępy fizyki na świecie i starał się, aby badania na Hożej nie pozostawały w tyle za czołówką światową. Dzięki jego wytrwałym zabiegom, a także umiejętności wyławiania talentów, już pod koniec lat 20. Zakład Fizyczny, przemianowany potem na Zakład Fizyki Doświadczalnej UW, stał się ośrodkiem o dobrym poziomie, dostrzeganym w świecie. Pieńkowski uzyskał wtedy od Fundacji Rockefellera grant w wysokości 50 tysięcy dolarów. Dzięki tym środkom, które wielokrotnie przekraczały bardzo skromne budżety uczelnianych zakładów fizycznych, mógł zakupić unikatową aparaturę wysokiej klasy. Jednocześnie uzyskał z Ministerstwa Oświaty i Wyznań Religijnych środki na powiększenie gmachu, do którego dobudowano skrzydło wschodnie. Badania na Hożej 69 nabrały rozmachu i wkrótce Zakład Fizyki Doświadczalnej UW stał się jednym z najlepszych ośrodków badań optycznych na świecie. W maju 1936 roku odbył się tam Pierwszy Międzynarodowy Kongres Luminescencji, zorganizowany właśnie w Warszawie na życzenie światowej społeczności badaczy w tej dziedzinie.

Mówiąc **Hoża** mamy na myśli zazwyczaj ośrodek fizyki w gmachu pod nr 69. Nie należy jednak zapominać o tym, że nieopodal, przy ul. Oczki 3, mieściła się Hoża bis, tj. Zakład Fizyki Teoretycznej UW, kierowany przez profesora Czesława Białobrzeskiego. Zakład powstał dopiero jesienią 1921 roku po przyjeździe Białobrzeskiego do Warszawy. Białobrzęski interesował się eksperymentami i chciał uzyskać miejsce na swą pracownię w budynku przy Hożej 69. Nie było tam jednak wolnego miejsca. Dopiero w 1932 roku, przy rozbudowie budynku przy ul. Oczki 3, Białobrzęski uzyskał w nim kilkaset metrów kwadratowych i zorganizował bardzo dobre laboratorium, w którym pracowali między innymi Stanisław Mrozowski i Ignacy Adamczewski. W 1938 roku Białobrzęski



Ryc. 2. Dzieło profesora Stefana Pieńkowskiego: trzy fotografie budynku przy ul. Hożej 69: u góry stan z 1929 roku., w środku stan z 1932 po dobudowaniu wschodniego skrzydła, u dołu stan z 1934 po wykończeniu frontu budynku

zorganizował bardzo ważną konferencję *New Theories in Physics* z udziałem kilkunastu wiodących teoretyków świata. [5]

Niestety wybuch wojny z Niemcami we wrześniu 1939 roku przyniósł zniszczenie dzieła Pieńkowskiego. Już w październiku wywieziono z Hożej do Niemiec prawie całą aparaturę oraz zbiory biblioteczne. Kierujący wywózką niemiecki profesor Kurt Diebner zgodził się łaskawie na pozostawienie tylko przyrządów w osobistej pracowni Pieńkowskiego. Potem stopniowo budynek był zajmowany przez rozmaite biura okupanta. Przebudowano pracownię naukową włącznie z dużą salą wykładową, którą podzielono na małe pokoje. Podczas Powstania Warszawskiego budynek przy Hożej 69 nie

został zburzony, ani spalony, ale doszczętnie ogołocony ze wszystkiego, co miało jakąkolwiek wartość.

W pierwszej połowie 1945 roku nie było wcale pewne, czy wobec ogromnego zniszczenia Warszawy może ona spełniać funkcje centrum naukowego i dydaktycznego, jakim była przed wojną. Rozważano przeniesienie Uniwersytetu Warszawskiego do Łodzi lub Otwocka, albo rozmieszczenie wydziałów UW na mniej zniszczonych peryferiach miasta.

Na szczęście władze ustąpiły przed zdecydowanym oporem przedstawicieli warszawskich uczelni. Pieńkowski w maju 1945 roku napisał do Jerzego Pniewskiego: *Będziemy znów tworzyć uniwersytet w Warszawie. Nie wiem czy znajdzie on pomieszczenie w starych budynkach po ich odbudowie, w każdym razie fizykę znów chciałbym widzieć na Hożej.* [6]

Pieńkowski został wybrany rektorem Uniwersytetu Warszawskiego na kadencję 1945–1947 i z właściwą sobie energią przystąpił do odbudowy całej uczelni, a w tym ośrodka fizyki na Hożej. Podczas inauguracji roku akademickiego 15 grudnia 1945 rektor Pieńkowski powiedział: *[...] Otwieram Uniwersytetu Warszawskiego rok akademicki 45/46 z głęboką wiarą, że w roku tym uniwersytet wyteży wszystkie siły i z całym oddaniem pracować będzie ku większej chwale Ojczyzny i nauki polskiej.*

Generalny nadzór nad odbudową budynku na Hożej Pieńkowski powierzył młodemu adiunktowi Jerzemu Pniewskiemu, który napisał później:

Ja sam powróciłem na Hożę z początkiem sierpnia, dowiadując się, że zostałem adiunktem mimo braku doktoratu. Funkcja ta była wówczas równorzędna ze stanowiskiem „generalnego nadzorca” całej odbudowy Zakładu. Dziwne były zasady prowadzenia ówczesnej budowy. Niejednokrotnie zakres dziennej pracy robotników był ustalany o siódmej rano między mną i majstrem na podstawie tego, co zachowało się w mojej pamięci z okresu przed-



Ryc. 3. Zasłużony relaks profesora Stefana Pieńkowskiego

wojennego. Moje zamieszkanie w jednej z pracowni było nieodzownym tego warunkiem. Zapał, jaki wszyscy pracownicy Hożej wkładali w tę odbudowę, był wręcz zdumiewający, a przecież nikt z nas nie był przygotowany do tego typu pracy i jedynie ostateczny cel był tu naprawdę ważny. Podjęcie zajęć ze studentami uznane było za priorytetowe, zresztą jako jedyne do wykonania w krótkim czasie. Zbiórka raczej prymitywnych przyrządów, ocalałych w różnych szkołach na Dolnym Śląsku, okazyny zakup innych, czasem nawet dość cennych przyrządów, umożliwiły organizację pokazów na wykładach i podjęcie ćwiczeń laboratoryjnych. [7]

Profesor Pieńkowski był najważniejszą postacią Hożej przez 33 lata. Jego śmierć 20 listopada 1953 roku zaskoczyła wszystkich. Nadzorujący odbudowę adiunkt Pniewski wspominał:

Rektor Uniwersytetu Warszawskiego Stanisław Turski powołuje mnie następnego dnia na stanowisko kierownika Instytutu Fizyki Doświadczalnej. Wobec moich gwałtownych protestów łagodnie tłumaczy, że to tylko na tydzień, potem przedłuża na drugi, następnie na miesiąc i – niestety jak zwykle – prowizorka staje się czymś trwałym. [8]

Jerzy Pniewski rządził Hożą przez kolejne 36 lat; pełnił funkcje dyrektora Instytutu Fizyki Doświadczalnej, potem dziekana Wydziału Fizyki, a nawet po przejściu na emeryturę był postacią dominującą. Podobnie jak jego mistrz Stefan Pieńkowski, był bezgranicznie oddany Hożej. Mieszkał przy ul. Koszykowej, w prostej linii około stu metrów od naszego budynku i przesiadywał w nim długimi godzinami. Zmarł w czerwcu 1989 roku nie doczekawszy przemian ustrojowych w Polsce.

Miałem zaszczyt i szczęście, iż Jerzy Pniewski obdarzył mnie przyjaźnią. Prowadziliśmy bardzo wiele rozmów na rozmaite tematy. Dlatego czuję się upoważniony do dodania tu kilka zdań o jego życiu prywatnym. Pasjami kolekcjonował i czytał kryminały. Widząc moje zdziwienie, kiedy pierwszy raz zobaczyłem u niego bardzo bogatą ich kolekcję, tłumaczył mi, że odgadywanie przestępcy jest procesem podobnym do tego, co robimy w naszych badaniach. Ponadto uwielbiał rozmaite triki karciane oraz sztuczki magiczne przy wykorzystaniu różnorodnych gadżetów, które kupował w specjalnych sklepach za granicą. Na spotkania towarzyskie zwykle przynosił w kieszeniach drobne rekwizyty i z upodobaniem pokazywał rozmaite sztuczki, ciesząc się jak dziecko z reakcji zaskakiwanych widzów.

Stefan Pieńkowski i Jerzy Pniewski to dwie monumentalne postacie, które zapisały się w historii Hożej przez dwie trzecie jej istnienia.

Na kartach *Księgi wspomnień* [13, 14], która została wydana z okazji obecnych obchodów, można znaleźć dużo ciekawych informacji o wielu ludziach Hożej. Chciałbym jednak wspomnieć dodatkowo trzy osoby,



Ryc. 4. Zasłużony relaks profesora Jerzego Pniewskiego. Układanie pasjansa i sztuczki karciane

z drugiego szeregu, które odgrywały w naszej historii istotną rolę.

Pierwszy to Wojciech Lis (1894-1974), prawa ręka Stefana Pieńkowskiego, który rozpoczął pracę już wiosną 1920 roku [9]. Nie miał formalnego wykształcenia, ale Pieńkowski bardzo trafnie ocenił jego wartość jako człowieka i powierzył mu odpowiedzialność za całość sprzętu i aparaturę sali wykładowej. Po wojnie Lis jako pierwszy pojawił się na Hożej, pilnując samego budynku, a potem pracując przy jego odbudowie. W następnych latach urzędował w portierni. Wszyscy wchodząc do budynku pozdrawiali go słowami: *Dzień dobry*, a on każdemu grzecznie odpowiadał.

Poznałem pana Lisa jeszcze w czasach studenckich, gdy po ukończeniu trzeciego roku zostałem zatrudniony przez prof. Jerzego Pniewskiego na stanowisku zastępcy asystenta. Często brałem z portierni klucze do I Pracowni, gdzie prowadziłem ćwiczenia ze studentami. W czerwcu 1955 roku miałem zdawać egzamin magisterski. Przeszedłem na Hożą rano i jak zwykle przechodząc obok portierni pozdrowiłem pana Lisa: *Dzień dobry panu*, a on odpowiedział, jak zwykle: *Dzień dobry panu*. Po kilku godzinach, już po egzaminie, wychodziłem do domu

i mijając portiernię pożegnałem Lisa standardowym: *Do widzenia panu*, na co on odpowiedział: *Do widzenia panie magistrze*. Pozostaje tajemnicą, jak on się dowiedział o moim egzaminie, nie ruszając się z portierni.

Wojciech Lis był dobrym duchem Hożej przez ponad 50 lat. Zarówno Stefan Pieńkowski jak Jerzy Pniewski mówili o nim, nie tylko żartem, że to jest prawdziwy dyrektor instytutu, ponieważ wie o Hożej wszystko. Jego pogrzeb na Cmentarzu Bródnowskim zgromadził tłumy fizyków warszawskich, w tym 20 profesorów.

Drugą osobą, którą chcę wspomnieć, jest pani Zofia Mizgier (1903-1988)[10]. W 1929 roku ukończyła studia fizyki na Hożej, jej praca magisterska na temat struktury lublinitu została opublikowana w *Zeitschrift für Kristallographie* 70, 160 (1929), jednak trudne warunki domowe zmusiły ją do pracy zarobkowej równoległe ze studiami. Była potem nauczycielką w warszawskich szkołach średnich, po wojnie przez rok – asystentką w Katedrze Fizyki Ogólnej Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej, a następnie po kilku dalszych latach pracy nauczycielskiej, w 1952 roku związała się z Instytutem Fizyki Teoretycznej jako kierowniczka biblioteki. W ciągu 18 lat pracy dała się poznać jako osoba niezwykle kompetentna i sympatyczna. Wszyscy korzystający z tej biblioteki pamiętają jej ciepły, dobrotliwy uśmiech, który zawsze jej towarzyszył kiedy obsługiwała fizyków. Po przejściu na emeryturę opracowała bardzo szczegółową historię Polskiego Towarzystwa Fizycznego, którą opublikowała w czterech częściach w *Postęпах Fizyki* [11].

Trzecia osoba to Zygmunt Ajduk (1943-2012) znany chyba większości uczestników obchodów 100-lecia fizyki na Hożej, gdyż odszedł od nas niedawno [12]. Odbył studia na Wydziale Fizyki UW i po uzyskaniu stopnia magistra w 1966 roku został asystentem w Zakładzie Fizyki Wysokich Energii Instytutu Fizyki Teoretycznej. Pod kierunkiem prof. Grzegorza Białkowskiego przygotował pracę doktorską *Związek między reakcjami elastycznymi i nieelastycznymi i jego zastosowanie w obszarze wyso-*

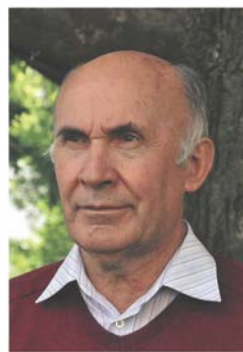


Ryc. 5. Wojciech Lis był ważną postacią na Hożej i uczestniczył w wielu uroczystościach. Tu widzimy go (drugiego od prawej) podczas 75-tej rocznicy urodzin prof. Rubinowicza (1964)



Ryc. 6. Zofia Mizgier z profesorem Wojciechem Rubinowiczem podczas 75-tej rocznicy jego urodzin (1964)

kich energii. Po rocznym pobycie w CERN napisał kilka ciekawych prac na temat fenomenologii oddziaływań silnych z produkcją wielu cząstek. Od 1981 roku poświęcił się jednak przede wszystkim pracy dydaktycznej i organizacyjnej na Wydziale Fizyki. Był zastępcą dyrektora IFT do spraw dydaktycznych (1983-1987) i wieloletnim (1993-2009) kierownikiem ośrodka komputerowego. Był niezwykle utalentowanym dydaktykiem, chwalonym i cenionym przez wszystkich studentów, którzy mieli szczęście brać udział w prowadzonych przez niego zajęciach. Niestety zginął tragicznie w wypadku samochodowym 11 lipca 2012 roku.



Ryc. 7. Zygmunt Ajduk (fot. Andrzej Kobos)

Kończąc to wystąpienie chcę podkreślić, że w *Księdze wspomnień* wydanej z okazji obecnych obchodów czytelnicy znajdą wiele dowodów na to, że Hoża była miejscem wyjątkowym. Wybrałem z tej książki dwa krótkie cytaty:

To nie było jeszcze jedno miejsce pracy (nb. średnio komfortowe). Przechodząc przez wielkie drzwi głównego wejścia, wchodziło się, niczym do świątyni, do innego świata odgradzonego od szumów, nieprawości i kłopotów codziennego życia. Do świata fizyki i fizyków. Czy to idealizacja utraconego raj, marzeń i przeżyć młodości? Nie sądzę. To precyzyjny, acz emocjonalny i nieco emfatyczny opis tego, czym dla mnie była Hoża. I chyba dla większości tych, którzy mieli szczęście i honor tu studiować i pracować. [13]

Wydział Fizyki UW to nie jest tylko miejsce pracy, to także drugi dom, w którym można się schronić, porozmawiać z przyjaznymi ludźmi albo oddać się rozmysłom o nauce i świecie. Życzą naszemu Wydziałowi Fizyki wspaniałej przyszłości.[14]



Ryc. 8. Pamiątkowa tablica ofiarowana przez Europejskie Towarzystwo Fizyczne (EPS) i wmurowana w listopadzie 2011 roku w ścianę obok wejścia do historycznego budynku przy Hożej 69



Ryc. 9. Pamięć o Hożej 69 towarzyszy nam w postaci ilustracji na ścianie sali posiedzeń Rady Wydziału Fizyki przy Pasteura 5 (fot. Krzysztof Karpierz)



Ryc. 10. Przyzwyczajamy się do nowej pięknej siedziby przy ul. Pasteura 5 mając nadzieję, że w nowym stuleciu fizyki będzie ona miejscem wielu nowych ważnych osiągnięć (fot. Marek Demiański)

Sukcesy naukowe Hożej były znane i cenione na całym świecie. Dokumentuje to pamiątkowa tablica, dar Europejskiego Towarzystwa Fizycznego, która została wmurowana na ścianie przy wejściu do budynku przy ul. Hożej 69. Od siedmiu lat pracujemy już w nowym, pięknym gmachu przy ul. Pasteura 5 i powoli zaczynamy się przyzwyczajać do nowej siedziby.

A zatem, parafrazując słowa Stefana Pieńkowskiego z 1945 roku, zaczynamy nowe stulecie z głęboką wiarą, że przyniesie ono naszej fizyce jeszcze więcej sukcesów na miarę światową.

Literatura

- [1] L. Sosnowski, „Referat z okazji 50-lecia Uniwersyteckiego Ośrodka Fizyki na Hożej w Warszawie” *PF* 22 (5), 459 (1971).
- [2] „Zakład fizyczny Uniwersytetu Warszawskiego” *Gazeta Warszawska* sobota 29 stycznia 1921.
- [3] „Otwarcie Zakładu Fizycznego” *Rzeczpospolita*, wtorek 1 lutego 1921.
- [4] „Wyjazd gen. Niessela” *Kurjer Polski* sobota 29 stycznia 1921.
- [5] Szczegółowy opis osiągnięć Zakładu Fizyki Doświadczalnej i Zakładu Fizyki Teoretycznej UW można znaleźć np. w rozdziale „Nauki fizyczne”, s. 313–484 w: *Nauki ścisłe i przyrodnicze na Uniwersytecie Warszawskim, seria Monumenta Universitatis Varsoviensis 1816-2016*, WUW, Warszawa 2016 oraz w mojej książce *Historia fizyki w Polsce*, PWN, Warszawa 2020.
- [6] J. Pniewski „Wspomnienia autobiograficzne” *KHnIT* 33 (2), 257-327 (1988); przedrukowane w książce *Fizycy wspominają* (s. 597-677), PAU, Kraków 2014, cytata ze s. 619.
- [7] J. Pniewski „Wspomnienia autobiograficzne” op.cit. cytata ze s. 620.
- [8] J. Pniewski „Wspomnienia autobiograficzne” op.cit. cytata ze s. 636.
- [9] J. Pniewski „Wojciech Lis (1894-1973). Wspomnienie pośmiertne” *PF* 25, z. 2, 135 (1974).
- [10] J. Pniewski „Zofia Mizgier (1903-1988), *PF* 40, (3), 286 (1989).
- [11] Z. Mizgier, cz. 1: *PF* 28, 361-390 (1977); cz. 2: *PF* 29, 67-98 (1978); cz. 3: *PF* 34, 161-176 (1983); cz. 4: *PF* 38, 127-168 (1987) – współautorem tej części był Stefan J. Niementowski.
- [12] S. Pokorski „Wspomnienie o Zygmuncie Ajduku” *PF* 64, (1), 32-38 (2013).
- [13] J. Langer „Magia Hożej” *100 lat fizyki od Hożej do Pasteura. Księga wspomnień* WUW, Warszawa 2020, cytata ze s. 223.
- [14] J. Tafel „Krótka historia czasu na Wydziale Fizyki” *100 lat fizyki od Hożej do Pasteura. Księga wspomnień* WUW, Warszawa 2020, cytata ze s. 381.

Krzysztof Gawędzki (1947–2022)¹

One of the most prominent mathematical physicists and my friend, Krzysztof Gawędzki, passed away 21 January 2022.

It is an enormous loss for physics and science in general. Below I cite letter we wrote together with Janek Wehr for him and his friend and collaborator Antti Kupiainen on some occasion.

Krzysztof Gawędzki and Antti Kupiainen are among the most creative and influential mathematical physicists of the last four decades.² While both have brilliant individual careers, they formed an exemplary team and many of their most important results have been obtained jointly. In what follows we highlight some of their most spectacular achievements.

In his Ph. D. dissertation (defended in 1971), Krzysztof studied analytical aspects of geometric quantization. In 1981, he proved absence of superradiant phase transitions in most general settings.³

The collaboration of Gawędzki and Kupiainen started in 1979. They made seminal contributions to constructive field theory, in particular implementing rigorously renormalization group ideas. They made equally fundamental contributions to conformal field theory, investigating nonperturbatively 2-D models, with applications to field theory and statistical mechanics. Their work on geometric aspects of Wess-Zumino-Witten models stands out in this body of work.

In the eighties, Gawędzki made an important contribution to physics and to mathematics, studying the Kalb-Ramond field, and Kupiainen obtained important

results on diffusion in models including random walks in random environments, systems of coupled anharmonic oscillators and KAM theory (the last work was done in collaboration with Gawędzki and with Jean Bricmont). In the nineties, Gawędzki and Kupiainen together with D. Bernard developed an entirely new approach to developed turbulence, deriving the anomalous scaling. A highlight of this series of works was a study (joint with M. Vergassola) of dynamics generated by irregular vector fields, for which Lagrangian trajectories are not unique.

In the following years, Gawędzki's research was focused on non-equilibrium statistical mechanics, in which he developed a systematic approach to fluctuation relations and entropy production.

A particularly beautiful application of these tools was a rigorous extension of Landauer inequality to finite time horizons. His recent research is very broad and covers topics from topological insulators, to conformal field theory, to Lyapunov exponents of stochastic dynamical systems. Kupiainen continued working on applications of renormalization group to partial differential equations, as well as on foundations of quantum field theory and statistical mechanics.

The work of Krzysztof and Antti stands out in terms of an astonishing number of new, influential ideas and for its sheer mathematical power. They are both active educators, whose students do highest-level work in mathematical physics.

There is no doubt that their work has changed the field.

Maciej Lewenstein, Jan Wehr

1. 21 stycznia 2022 zmarł prof. Krzysztof Gawędzki wybitny fizyk i matematyk, wychowanek prof. Krzysztofa Maurina, absolwent Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie w latach 1970-1982 pracował w Katedrze Metod Matematycznych Fizyki; później w Institut des Hautes Études Scientifiques (IHES) w Bures-sur-Ivette, a następnie École Normale Supérieure w Lyonie.

2. On 24 November 2021, the American Institute of Physics and the American Physical Society announced Krzysztof Gawędzki and Antti Kupiainen as the recipients of the 2022 Dannie Heineman Prize for Mathematical Physics.

3. In 1986 he was invited speaker with talk *Renormalization: from magic to mathematics* at the International Congress of Mathematicians in Berkeley. From January to June 2003 he was at the Institute for Advanced Study (Princeton). In 2007 at ENS de Lyon a conference on mathematical physics was held in honor of his 60th birthday. In 2017 at the University of Nice Sophia Antipolis a conference on mathematical physics was held in honor of his 70th birthday.



1980, Stanford (fot. Inga Karliner)



2014, Hoża SDD (z archiwum My'64)

Migawki z przeszłości

Krzysztof Gawędzki w pamięci przyjaciół i kolegów z listy My'64

Wiadomość o śmierci Krzysia Gawędzkiego poruszyła mnie do głębi, bo to przecież był jeden z filarów naszego roku. Dla mnie nie do zapomnienia jest jego udział w wykładach analizy matematycznej. Wielu z nas może pamiętać moment, kiedy prof. Maurin zakończył jeden z dowodów wyrysowując na tablicy swoim zwyczajem kwadracik śliczną, okrągłutką pałeczką białej kredy pachnącej kapitalizmem. Krzys Gawędzki podniósł w tym momencie do góry dwa palce, a zaproszony gestem profesora, w chwilę potem zbiegał na swoich długich nogach po dwa stopnie, by ująć kawałek tejże kredy i przedstawić dowód prostszy, krótszy, a tym samym bardziej elegancki. Kwadracik na końcu swojego dowodu też wyrysował. Zaskoczyło mnie z wrażenia, co nie było dziwne zważywszy, że Krzys Gawędzki przerastał mnie co najmniej o dwie głowy dosłownie i w przenośni... Był niedoścignym wzorem przenikliwości umysłu, wyobraźni, a jednocześnie uśmiechu i radości życia.

Celina Gajewska-Słodowy



Kiedy wyjeżdżałem z Dworca Gdańskiego 4 grudnia '68, Krzysiek wszedł ze mną do przedziału, usiadł i powiedział: *jadę z tobą*. Zaskoczony spytałem *dokąd, do Wiednia? Nie, do granicy* – odpowiedział — *stamtąd mam pociąg powrotny*. Usiedliśmy naprzeciw siebie przy oknie, nie mówiliśmy wiele, bo nie było o czym mówić.

Przy granicy wstał, uścisnęliśmy się i wyszedł.

Bronek Czarnocha

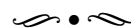


Z obrazów, na pierwszym planie pojawia się Nicea 1974. Od kilku miesięcy jestem w nowym mieszkaniu. Na żadną zapowiadzaną wizytę nie czekam. Dzwonek do drzwi. Otwieram. I tu obraz jest jasny. Stoi Krzysiek. Kask

motocyklowy pod ręką. Właśnie przejechał pół Europy na motocyklu. Trochę szary od kurzu. Kurtka motocyklowa, spodnie motocyklowe, buty motocyklowe. *Cześć Joasiu! Cześć Krzysiu!*

Ostatnia moja rozmowa telefoniczna z Krzysiem (05.11.2021) trwała prawie 20 minut. O jego chorobie, ale nie tylko. Krzysio nie miał żadnych złudzeń co do stanu swojego zdrowia. Nic nie udawał, była jeszcze nadzieja na polepszenie. W tej rozmowie Krzysio miał głos dużo silniejszy niż w poprzedniej. Potem już nie odpowiadał, gdy dzwoniłam...

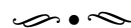
Joanna Kubar



Było to w lipcu 1982 w Rzymie, gdzie przyjechałem na tydzień z Niemiec. Miałem referat na Wydziale Fizyki Uniwersytetu la Sapienza, gdy nagle, kilka minut po rozpoczęciu seminarium, do sali wkroczył Krzysio. Ze zdumienia na chwilę przestałem głądzić o teorii względności i zawołałem *o, cześć!*. To był trudny moment w życiu Krzysia. Był w Rzymie sam, bo urzędnicy reżimu Jaruzelskiego nie chcieli wypuścić jego żony i syna. Właśnie wtedy postanowił, że ściągnie ich do siebie i nie wróci. Był przygnębiony i mówił, że nie chce syna skazywać na życie w takim kraju, jakim wtedy była Polska. Gdy spotkaliśmy się znów dwa dni później (na placu przed Panteonem), był odmieniony. Żona dostała pozwolenie na wyjazd, a Krzysio był po staremu optymistyczny i radosny. Zaprosił mnie i Krysię, moją żonę, na umówioną kolację do swojego znajomego Włocha. Było to niezwykle miejsce – gospodarz miał mieszkanie na ostatnim piętrze i duży taras na dachu, z którego mieliśmy widok na oświetlone reflektorami Koloseum w zamknięciu ulicy (odczytuję teraz na planie Rzymu, że musiała to być Via Labicana).

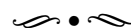
Następne spotkania były dopiero w Warszawie w 2006 i 2014 – ostatnie jak się okazało.

Andrzej Krasiński



Krzysiek odszedł – jestem wstrząśnięta. Widziałam go po raz ostatni, gdy zajrzał do mojego pokoju podczas wizyty w MIT w latach osiemdziesiątch. Rozmowa była wspaniała, a Krzysiek jak zawsze pełen entuzjazmu, ciekawości i radości odkrywania fizyki i życia.

Anna Żytkow



Niewiele miałam z Krzysztofem osobistych kontaktów w czasie studiów, za to często widywaliśmy się w latach 90. podczas jego pobytów w Rutgers i Princeton. Spotkaliśmy się przez przypadek, chyba u Staszka Szarka (polskiego matematyka) w Cleveland. I od razu było tak, jakbyśmy się rozstali poprzedniego dnia. Na pierwszą wizytę Krzys zjawił się z całą skrzynką Beaujolais. Przegadaliśmy przy winie całą noc, dzieląc wiadomości o sobie,

dawnych kolegach i innych znajomych. I okazało się, że Krzys był poinformowany znacznie lepiej niż ja. Zdziwił mnie wiedzą o losach koleżanek i kolegów z listy My'64, naszych asystentów i profesorów. Niewątpliwie zbierał informacje i dbał o utrzymywanie kontaktów. Wzruszające było to jego serdeczne zainteresowanie innymi i ciepły stosunek do otoczenia. A kiedy jechałam z wizytą do Paryża, pytałam czy może to być w kwietniu i obiecywałam nie sprawić kłopotu. Przyszła odpowiedź: *może być z kłopotem*. No i kłopot był, bo jak wracałam wieczorem z miasta, Krzys czekał ze wspaniałą kolacją: *tu obowiązują wysokie standardy kulinarne* – wyjaśniał. Okazało się, że przy wszystkich swoich talentach był jeszcze znakomitym kucharzem.

Marzena Miller



Przy okazji obchodów 50-tej rocznicy Marca, odbyłem z Krzyskiem dłuższą rozmowę e-mailową; poruszyliśmy wiele spraw, które warto ocalić od zapomnienia, jak choćby to, jedno z jego marcowych wspomnień:

Na strajku organizowałem czy współorganizowałem pilnowanie bram i jedyny mój tytuł do chwały to, że z Pawłem Sadowskim, który był moim partnerem wspinaczkowym, spuściliśmy się z dachu na fronton gmachu geografii (od Krakowskiego Przedmieścia) i wymalowaliśmy na nim hasło „demokracja z pałką” (kto to wymyślił zupełnie nie pamiętam), które, mimo zamalowania, można było odczytać jeszcze przez parę lat po marcu (co daje mieszane świadectwo o jakości farb w PRL). Ze strajku pamiętam też Jurka Kijowskiego z gitarą (tak, ojca Mateusza), jednego z niewielu asystentów biorących w nim udział.

Niedawno, opowiadając moim wnukom historię De-dala i Ikara uciekających na skrzydłach z Krety przed gniewem króla Minosa, pomyślałem o Krzysku – zawsze byłem pod wrażeniem jego odporności na obowiązujące nas wszystkich prawa grawitacji i lekkości, z jaką unosił się nad nami, podczas gdy my, śmiertelnicy, w pocie czoła, z trudem przebijałymi się przez definicje i twierdzenia analizy maurinowskiej.

Paweł Bąkowski

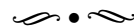


To, co zaskakiwało mnie u Krzysztofa jeszcze bardziej niż jego biegłość w poruszaniu się w przestrzeniach abstrakcji metod matematycznych fizyki, była wszechstronność. Równie swobodnie mógł rozmawiać na tematy filozofii, literatury, sztuki, muzyki, teatru, jak o abstrakcyjnych za-wiłościach matematyki. Uważam, że ta cecha odróżniała go bardzo od wielu zdolnych ludzi, którym Bóg często daje możliwości w jednej dziedzinie, a zabiera w innych. Był więc może jednym z ostatnich ludzi renesansu?

W czasie naszego wyjazdu w Tatry latem 1965 z Andrzejem Burasem i Jackiem Duńcem, Krzysztof ujawnił jeszcze jedną cechę: był naturalnym przywódcą. Zwy-

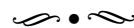
kle w takiej grupie połączonej wspólnym działaniem jest nominowany lub wybrany prowadzący. W przypadku naszej małej grupki tą osobą był Krzysztof z tym zastrzeżeniem, że nikt go nie wybierał ani nie ustanawiał. Po prostu to wynikało samo z siebie. Nie mogło być inaczej, bo przy wszelkich wątpliwościach on je rozstrzygał i było to zawsze rozwiązanie najlepsze. Tak to jakoś działało nic nie ujmując innym prześwietnym uczestnikom tego wyjazdu.

Jurek Grabowski



On mi pomagał po pierwszym zawieszeniu w prawach studenta (po prowokacji na Otwartym zebraniu na Wydziale Historii UW w 10-lecie Października...) – ułatwiło mi to przedostanie się na fizykę teoretyczną.

Andrzej Duracz



Mieliśmy z Krzysiem intensywne kontakty od mojego wyjazdu z Polski w 1967 roku. W okresie mojego pobytu w Bonn (1967-1975) Krzys był już często zapraszany za granicę. Pamiętam, że skarżył się, iż powroty z tych podróży są dla niego bardzo przygnębiające. Znalazł na to sposób – wracał do Polski przez Helsinki (gdzie miał w owym czasie bardzo słodką przyjaciółkę), a dalej przez Leningrad do Warszawy; Leningrad był tak okropny, że Warszawa wydawała się być niemal rajem.

Te jego częste podróże nie uszły uwadze polskiego wywiadu, który nakłaniał go do pisania raportów grożąc, że w razie odmowy zabiorą paszport. Dla oficerów MSW Krzys wydawał się idealnym współpracownikiem, bo chłopak z prowincji, czysty Polak i znany naukowiec, więc Krzys, który mimo swego młodego wieku nie chciał wchodzić w ten układ, musiał się z nimi bawić w kotka i myszkę. Wspominał mi już o tym w 1981 roku, a także później.

Chyba jednym z najważniejszych naszych spotkań była jego wizyta pod koniec grudnia 1981. Byłem wówczas w Genewie, w CERN, a moja żona Danka oczekiwała w każdej chwili narodzin naszej córki Hanny. Przyjechał chyba jednocześnie z narodzinami (26 grudnia), bo pamiętam że udało mi się znaleźć jakiś moment, podczas tego trudnego dla Danki porodu, by pojechać po Krzysia. Odebrałem go w Bellegarde, około 20 km od Genewy, ponieważ nie miał wizy, tzn. nie mógł wjechać do Szwajcarii i musiałem go nielegalnie przewieźć przez granicę. A w Bellegarde też nie mógł czekać, jako że zima była sroga, a dworzec malutki. Przyjechał oczywiście, żeby mówić o (nie) powrocie do Polski. Pamiętam, że po urodzeniu Hanny dyskutowaliśmy to przez całą noc. Krzys był bardzo związany ze swoją rodziną, ale z drugiej strony nie miał złudzeń co do reżimu. Więc to nie była łatwa decyzja. Wypiliśmy przy tym butelkę whisky. Rano zja-

wiliśmy się pół pijani u Danki w szpitalu. Nie zrobiło to na niej najlepszego wrażenia.

W ostatnich latach odwiedzaliśmy Krzysia w Lyonie. Pierwszy raz byliśmy tam w 2017 i potem mniej więcej co rok. Poznaliśmy Olgę i jego córki. To były bardzo miłe wizyty. Krzysio miał szerokie zainteresowania i dużo zajmował się Polską. Jego rodzina miała związki z bardzo dobrymi polskimi malarzami, kupiła od nich kilka obrazów. Musiał je sprzedać po śmierci rodziców, by uregulować sprawy spadkowe; cieszył się, że niektóre trafiły do muzeów. Pozostał mu bardzo dobry portret młodej matki, który wisiał w jego sypialni.

Już przy pierwszej wizycie w Lyonie rozmowa szybko zesłała na jego rodzinne Żarki. Krzysio znalazł wydaną w 2011 roku książkę autorstwa Wioletty Weiss, która go bardzo poruszyła. Wioletta napisała, że Żarki to chyba jedno z pierwszych miejsc w Polsce, gdzie mieszkańcy, sami z siebie, zaczęli zbierać i zabezpieczać pamiątki po zamordowanych tam Żydach. Żydzi stanowili przed 1939 rokiem mniej więcej połowę pięciotysięcznej ludności. Wioletta, która sama pochodzi z okolic Żarek, zebrała w swojej książce dobre i złe, ale bardzo poruszające świadectwa o współżyciu Żydów i Polaków w Żarkach. No i o tamtejszej zagładzie. Krzysia bardzo interesował ten temat, poznał Janka Grossa, który zainicjował w Polsce badania nad zagładą. Chciał też poznać Wiolettę, ale jego pogarszający się stan zdrowia stanął temu na przeszkodzie...

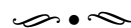
Krzysio wspominał już od co najmniej 20 lat, że miał babkę Żydówkę. W ostatnich latach, po śmierci rodziców, zrekonstruował historię matki, ponieważ znalazł listy z czasów wojny, jeszcze sprzed ślubu rodziców. Jego matka pochodziła z zamożnej, polsko-żydowskiej rodziny. (Jej matka (babka Krzysia) nazywała się z domu Cinkes lub Cinker.) Z listów wynika, że ojciec starał się bardzo o jej rękę, a ona mu mówiła, że jest Żydówką i że żeniąc się z nią naraża się na wielkie niebezpieczeństwo. On odpowiadał, że chce ją uratować, co się to w końcu udało, chociaż cała rodzina matki zginęła. Ich przetrwanie w Żarkach nie było bezproblemowe, gdyż były donosy na nią do miejscowej policji. Na szczęście komendant policji cenił bardzo ojca Krzysia, który był jedynym lekarzem w promieniu 20 km, i te donosy niszczył lub mu oddawał. Krzysia bardzo bolało, że matka wszystko to przed nim ukryła. Nie tylko ukryła, ale też wyrażała się niedobrze o Żydach. Z dzisiejszej perspektywy wydaje mi się, że zagłada rodziny i zagłada Żydów w Żarkach, która musiała się odbyć na jej oczach, była dla matki straszliwą traumą i stąd to zachowanie. (Przekazując tę historię, chcę zastrzec, że opowiadam ją z pamięci.)

Heniek Kowalski



We met throughout the years in various places; for example Lyon in 2010 and drove together to Le Corbusier monastery nearby. I was visiting my collaborator at Ecole Polytechnique in Palaiseau and took a break to visit Lyon to give a seminar at the ENS on Quantum Criticality. We spent a couple of days together with his amazing girls, Kasia and Nika, traveling to Sainte Marie de La Tourette Dominican Order monastery outside of Lyon. It was a spectacular outing, and back in Lyon Krzysio cooked lunch for us at home, not haute cuisine but the girls chomped it. I found this throw-away-sentence in one of Krzysio's emails (2018): *we should meet regularly, who knows how much time we all have...* I made nothing of it then.

Lia Krusin



Krzysztofa (Krzysia) Gawędzkiego poznałem w 1964 roku, kiedy obaj rozpoczęliśmy studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Krzyś był na pewno najlepszym studentem na naszym roku, zwłaszcza w zakresie matematyki, ale fizyki również. Byliśmy w tej samej grupie i dość szybko się zaprzyjaźniliśmy. Już w 1965 roku spędziliśmy, razem z Jurkiem Grabowskim, wakacje w Wysokich Tatrach, głównie, o ile pamiętam, w rejonie Hali Gąsienicowej i Morskiego Oka. Rok później znów na kilka tygodni wybraliśmy się w Tatry, ale tym razem w towarzystwie Kazika Jezuity. Poza wycieczkami po stronie polskiej, spędziliśmy tydzień na Słowacji, gdzie byłem po raz pierwszy. To były wspaniałe czasy...

Krzyś był dominującą osobą w naszej grupie, to on wytyczał szlaki naszych wypraw i wspinaczek. Nie zawsze się z nim zgadzałem. W czasie jednej z nich w okolicy Morskiego Oka, kiedy zbliżaliśmy się do przełęczy, pogoda bardzo się pogorszyła i zanosilo się na burzę. Słychać już było grzmoty. Mimo to Krzyś zdecydował, że wejdziemy na przełęcz. Protestowałem, ale na nic to się zdało, Krzyś szedł dalej. Po kilku minutach powiedziałem mu, że jest szalony i że postanowiłem zawrócić. Tak też się stało. Z początku schodziłem sam, ale wkrótce Krzyś również zawrócił, dogonił mnie i powiedział, że już nigdy nie będzie się ze mną wspinąć. Na drugi dzień jednak zmienił zdanie, może zrozumiał, że miałem rację. Wielu wspinaczy zginęło w ten sposób. Pamiętam, że w 2001 roku na Monte Rosa piorun zabił studenta fizyki z Warszawy, właśnie na przełęczy...

Wiele czasu spędzaliśmy razem również w Warszawie. Graliśmy po nocach w brydża i oczywiście braliśmy udział w rozmaitych spotkaniach towarzyskich. Nasze kontakty osłabły po marcu 1968 roku. Mimo że mogłem wyemigrować z Polski dopiero w maju 1971 roku, stały się bardzo rzadkie, a prawie zupełnie urwały się po moim wyjeździe z Polski. Po części dlatego, że Krzyś zajmował się fizyką matematyczną, a ja teorią cząstek

elementarnych, więc nie spotykaliśmy się na konferencjach, zwłaszcza że lata 1977-1982 spędziłem głównie w Stanach.

Po raz pierwszy od wyjazdu z Polski spotkałem Krzysia w roku 1986, gdy odwiedził on Monachium, a wiele lat później spotkaliśmy się w Paryżu. W ostatnich dwudziestu latach spotkałem go na zjazdach My'64 w 2006 i 2014 roku. Przy pamiętnym ognisku w Kazimierzu nad Wisłą w 2014 roku siedziałem obok niego i wspominaliśmy dawne czasy. Nie zapomnę też występów jego dwóch córek. Nasze ostatnie spotkanie miało miejsce w kwietniu 2018 roku w Lyonie.

Ostatnio ucieszyłem się, że został wyróżniony nagrodą im. Dannie Heinemana, i mam nadzieję, że moje gratulacje dotarły do niego.

Andrzej Buras



To było w styczniu lub lutym 1970 roku. Przypomnę, że była wtedy bardzo mroźna i śnieżna zima, śnieg leżał chyba do końca marca. Byliśmy zaproszeni z Wojtkiem na wieczór panieński na Saskiej Kępie, do willi z wyjściem do ogrodu. Chyba to była ulica Styki. Wychodziła za mąż siostra Krzyśka, Joanna, za Pawła Sadowskiego. To był dziwny wieczór panieński, bo nie było Panny Młodej ani Pana Młodego, a większość gości stanowili jacyś nieznani mi faceci. Pamiętam Marysię i Tomka Krawczyków i właśnie Krzyśka. Z nieznanych mi powodów, główną atrakcją stanowiła wanna z wodą. Panowie wchodzili do tej wanny w ubraniu bądź bez i potem pojawiali się w salonie. Krzysiek też się wykąpał, w mokrym ubraniu wyszedł do ogrodu i wszedł na drzewo. Przez jakiś czas nie dał się przekonać do zejścia i nie było jak go ściągnąć. Mówił, że „dojrzewa”. Byliśmy przerażeni, że zapłaci za to zapaleniem płuc, ale szczęśliwie nic się nie stało. Widocznie jako taternik był zahartowany. Byłam tak zbulwersowana, że do dziś mam to przed oczami.

Kto by przypuścił, że nasze spotkania w 2006 i w 2014 były ostatnie. Ale szczęście, że były.

Małgosia Kopczyńska



Wspaniały, twórczy człowiek. Wiem, że prof. Maurin chciał, by był jego następcą na UW. Mówił ważne rzeczy, także całkiem niedawno w Alpach na nartach (pewnie jednych z jego ostatnich).

Michał Klinger

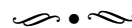


Uderzające, ilu ludzi myśli o Krzysiu jako o bardzo bliskim lub nawet najbliższym przyjacielu. Czy dlatego że rozumiał wielu ludzi? Czy dlatego, że go wszyscy ciekawili? Czy że było łatwo być z nim? Wielu z nas wiedziało, że jego przyjaźń jest głęboka, ale jednak zaskoczył nas swym oddaniem przyjaciołom jadąc z Bronkiem do granicy.

Podczas naszych studiów w Warszawie, Krzysztof był jedynym z moich bliskich kolegów, który rozumiał Profesora Tulczyjewa. Tylko Krzysztof wiedział, czy mamy użyć entalpii, energii czy entropii. Kilka lat po wyjeździe dowiedziałam się, że Tulczyjew nie chciał wykładać termodynamiki i szef go ukarał dając mu ten wykład. Ale jak Krzysztof rozumiał ten wykład?

Kiedyś poszliśmy zobaczyć razem „Zorbę” i na zawsze zapamiętałam, jak tańczył przez całą drogę z kina, tańczył i robił piruety tuż przed bramą Belwederu, nawet trochę się obawiałam, że nas tam żołnierz zaaresztuje.

Inga Karliner



1966–1969

Krzysztof miał sporo przyjaciół wśród architektów warszawskich – Krzysztof Bussold czy Olgierd Jagiełło. Z nimi i z Pawłem Sadowskim spłynął Dunajem czymś w rodzaju szalupy z żaglem. Chyba od Bratysławy aż do ujścia do Morza Czarnego. Żaglowiec ten sami wybudowali na bazie jakiejś krypy.

O marcu'68 wszyscy wszystko wiemy, ale potem w sierpniu wojska UW (nie mylić z naszym uniwersyte-tem) wkroczyły do Czechosłowacji. My za to, z Pawłem i Krzysztofem, wkroczyliśmy do ambasady Czechosłowacji złożyć protest w wyłożonej tam księdze. Ambasada była wtedy jeszcze po stronie Praskiej Wiosny. Do dzisiaj nie ma na to najmniejszej reakcji.

Nie pamiętam dlaczego miałem okazję przekartkować indeks Krzysztofa. Oprócz piątek były tam piątki plus i dwója z wojska, którą musiał poprawiać. Pewno dlatego Krzysztof traktował ten indeks z pełną nonszalan-cją.

1970–1981

Obrona doktoratu Krzysztofa w 1971 w Sali Wydziału Matematyki w PKiN. Było to jakieś zagadnienie z krzywą geodezyjną. Kto pamięta dokładny temat?

Oblewanie doktoratu odbyło się w mieszkaniu Krzysztofa (?) przy pl. Leńskiego na Pradze. Dużo wódki i marnego wina. (Ale komu potrzebne było wtedy dobre wino?). Dokumentnie „zatruty” wracałem piechotą do domu na Ochocie (tramwaje jeszcze spały w zajezdniach).
2015–2018

Sprawy sercowe czyli przepływy turbulentne

Mniej więcej w tym samym czasie obaj przeszliśmy operacje zastawek serca. Wymienialiśmy osobiste doświadczenia na ten temat i czytaliśmy o odkryciu da Vinci, że zastawki zamykają się na skutek wirów w przepływie krwi w aorcie. Zostało to potwierdzone dopiero w 1960. W latach 90. i później Krzysztof sporo pracy poświęcił (jak da Vinci) przepływowi turbulentnym. Jeden ze swoich wykładów rozpoczął od: *It seems a safe bet that the understanding of developed turbulence, a long standing*

challenge for theoretical and mathematical physics, will enter into the third millennium as an unsolved problem.

Córki: Krzysztof dbał niezwykle o Weronikę i Kasię. Systematycznie zwiedzał z nimi Polskę jeżdżąc po różnych kątach, które sam często odkrywał po raz pierwszy. Zaznajamiał je z polską literaturą i kulturą.

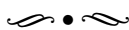
Z ostatnich e-maili

... zagłębiam się w da Vinciego...

... czas płynie przez palce i świat staje na głowie. Jak tak dalej pójdzie, to nie będzie żal go opuszczać...

Wielu z nas wiedziało o niezwyklej pracowitości Krzysztofa, ale niewielu o tym, że był wieloletnim (chyba do 2018) Editor-in-Chief w prestiżowym *Annales Henri Poincaré*. Z reguły nigdy niczym się nie chwalił, ale z tej roli był, nadal po cichu, dumny.

Michał Maszkiewicz



Współautorzy tych wspomnień dostarczyli dużo informacji o nadzwyczajnym umyśle Krzysia, jego rozlicznych zaletach i wspaniałych osiągnięciach naukowych. Oczywiście także w pełni je podziwiamy (ja i kolega małżonek – Piotr). Chciałabym dorzucić coś innego, a mianowicie jego przywiązanie do Polski. Obie swoje córki umieścił w Lyonie w Szkole Międzynarodowej, starsza – Weronika kilka lat uczęszczała z moją kuzyneczką na zajęcia sekcji polskiej. Obydwie zdały tam maturę 3 lata temu, a młodsza – Kasia tamże dobiega do matury. Nie wiadomo, jakim cudem Krzysio znajdował czas, by aktywnie wspomagać różne organizowane przez sekcję polską uroczystości. Na drugim naszym zjeździe z dumą mówił, że jego córki lepiej mówią po polsku niż on (znów jego skromność). Dziewczyny rzeczywiście pięknie mówiły po polsku i całkiem bez tremy w Kazimierzu, przy ognisku zaśpiewały kilka polskich piosenek. Jeśli odziedziczą po nim chociaż połowę talentów, to i tak będą genialne. Z wyraźną satysfakcją mówił, że wielu Polaków w Lyonie, nawet tych niewykształconych, bardzo dba o kontakt swoich dzieci z językiem i kulturą polską. A fakt, że chciał być pochowany w Warszawie, wrzucił mnie do reszty i, jeśli to w ogóle możliwe, jeszcze zwiększył uznanie dla niego.

Jadwiga Wiśniewska-Parys i Piotr Parys

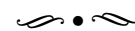


Pisałam już o szkole córek Krzysztofa na podstawie informacji od moich kuzynów. Teraz dorzucam opinię pani dyrektor sekcji polskiej we wspomianej Szkole Międzynarodowej w Lyonie: *Państwo Gawędzcy bardzo dbali o córki, które wyrosły na piękne i mądre młode kobiety. Polszczyzna Weroniki i Kasi zachwyca – zwłaszcza, że to nie jest język matki. Pan Krzysztof Gawędzki bardzo angażował się w życie naszej szkoły. Kiedy córki były w szkole podstawowej, urządzał klasowe czytanie książek i robił*

to z talentem isticie aktorskim. Zresztą i talent literacki mogliśmy poznać, i reżyserski. Dziewczyny brały co roku udział w szkolnym Festiwalu Młodych Artystów. Przedstawiły oryginalne teksty, skecze pisane przez Tatę. Dlatego został obwołany „Ojcem Roku”. Nagrodą był „Kapelusz Kierownika”.

Ten kapelusz nijak się ma do nagrody Heinemana, a jednak cieszy.

Jadwiga Wiśniewska-Parys



Jedną z licznych pasji Krzysztofa na początku studiów było taternictwo, więc częściej niż na Hożej spotykaliśmy się w gronie wspinaczy-fizyków na podwarszawskich bunkrach, w skałkach i w Tatrach. Bongo, bo taki pseudonim sam sobie nadał, nigdy nie był na żadnym kursie wspinaczkowym, ale wspinał się i wędrował po Tatrach z Pawłem Sadowskim i Andrzejem Burasem. Ja tylko raz wybrałam się z nim na wspinaczkę w zimie 1969 roku, niestety śnieżycą dopadła nas już na podejściu, pod progiem Dolinki za Mnichem. Mimo to brnęliśmy z desperacją pod ścianę Zadniego Mnicha w coraz głębszym śniegu. Gdy przystanęliśmy, by chwilę odpocząć, zamieć runęła na nas pełną siłą i nie mogliśmy się dłużej ludzić, że pogoda się poprawi. Żałując straconego dnia, chciałam od razu zacząć schodzić do schroniska, natomiast Bongo z szalonym entuzjazmem rzucił się do kopania jamy w śniegu, by przeczekać nawałnicę. Tak wiele znajdował w tym radości, że ruszyłam z pomocą i wybudowaliśmy zaciszne igloo, w którym przegadaliśmy cały dzień. Mieliśmy o czym rozmawiać, jako że rok wcześniej spotykaliśmy się na marcowych demonstracjach i wspólnie strajkowaliśmy w Auditorium Maximum.

Podziwiałam jak harmonijnie Krzysztof łączył intensywną pracę na studiach z innymi pasjami i predykcją do imprezowania. Był zwykle duszą towarzystwa, nie okazując przy tym, że jest studentem wybitnym. Ale stawał się poważny, gdy ja, bądź moi koledzy-wspinacze, prosiliśmy o wyjaśnienie napotkanych na studiach problemów z fizyki teoretycznej. Zawsze znajdował czas na taką rozmowę i potrafił szybko uchwycić sedno problemu.

Później praca naukowa pochłonęła Krzysztofa, a po jego emigracji nasze kontakty całkiem ustały. Spotkaliśmy się dopiero w 1988 roku w Monachium podczas konferencji ICHEP. Któregoś wieczoru Krzys zaprosił Marysię Krawczyk i mnie na kolację suto oblewaną Beaujolais Nouveau. Gdy lekko zawiani po kolacji wędrowaliśmy nocą po ulicach Monachium, Marysia wspomniała żartem o sporządzaniu listy osób z My'64 pochodzenia żydowskiego. Wtedy Krzys z entuzjazmem poprosił o włączenie do tej listy, gdyż właśnie niedawno odkrył, że prawdopodobnie matka jego mamy była Żydówką.

Ania Okopińska



Krzysiek lubił szybką jazdę samochodem. Na początku naszych studiów na Hożej, Krzysiek zaprosił mnie i moją przyszłą żonę, Agnieszkę, do jego domu rodzinnego w Żarkach. Wioząc nas fiatem ojca ze stacji kolejowej rozpędził samochód z góry do blisko 140 km/h. Dzięki Bogu stary fiat się nie rozleciał.

Jego dom rodzinny był bardzo imponujący. Na ścianach obrazy słynnych polskich malarzy. Krzyśka ojciec był lekarzem bardzo cenionym w okolicy. Matka przyjęła nas niezwykle ciepło. Odnieśliśmy z Agnieszką wrażenie, że Krzysiek dorastał w domu pełnym miłości.

Krzysiek uwielbiał wspinaczkę górską. Jego partnerem wspinaczkowym był Paweł Sadowski. We trojkę pracowaliśmy w Katedrze Metod Matematycznych Fizyki od 1969 roku. Krzysiek do 1981 roku, ja do 1984, Paweł odszedł wcześniej. W ramach treningu, Krzysiek z Pawłem wspinali się w Skalkach położonych niedaleko od Krzyśka domu w Żarkach, a na poważnie w Tatrach, gdzie mieszkaliśmy (ja jako narciarz) w Betlejemce (prywatnym, góralskim schronisku z jednym kranem z zimną wodą i z jedną sławojką, tuż obok schroniska PTTK Murowaniec na hali Gąsienicowej).

W jednym pokoju spało ze 40 taterników i narciarzy na łóżkach piętrowych, na stołach, pod stołami, czy po prostu w przejściach. Krzysiek i inni taternicy wstawali w środku nocy, by dojść o wschodzie słońca do miejsca wspinaczki, a wracali po zachodzie słońca dziurawiąc czasami rakami nadmuchiwane materace narciarzy. Słowne utarczki między narciarzami i taternikami miały miejsce co noc. Pewnej nocy, kiedy Krzysiek rozmawiał (będąc już w łóżku) z innym taternikiem, zdenerwowany narciarz skarcił go mówiąc „przestań gadać, jak nie możesz spać, to wyjdź na dwór i ulep sobie bałwana”. Krzyśka dowcipna riposta na temat lepienia bałwana przeszła do betlejemskiej legendy i była powtarzana przez wiele lat. Nie przytaczam jej, ponieważ osoby, które nie znały Krzyśka, mogłyby zinterpretować ripostę Krzyśka w niewłaściwy sposób.

Przyjaźń z Pawłem Sadowskim wprowadziła Krzyśka w środowisko chłopaków z Saskiej Kępy, którzy słynni byli z zawadiackich kawałów. Krzysiek szybko dostosował się do „wymagań” tej paczki. Kiedy w czasie studiów zapoznałem go z dziewczyną z Saskiej Kępy, Krzysiek (razem z Pawłem) zjechał na linie z dachu domu i wszedł przez okno do pokoju dziewczyny. W ten sposób zaimponował jej i chłopakom. To doświadczenie okazało się przydatne w czasie strajku, kiedy to obaj zjechali na linie z dachu gmachu geografii i wymalowali hasło „demokracja z pałką” widoczne z Krakowskiego Przedmieścia.

Współzawodnictwo o to, kto zrobi lepszy kawał, o mało nie zniweczyło mojego ślubu z Agnieszką, który

miał się odbyć pod koniec listopada 1968 roku. Krzysiek i Agnieszka bardzo się lubili, więc Agnieszka wybrała go jako swojego drużbę zamiast drużny na naszym ślubie (moim drużbą był Paweł). Niestety, pomimo słownej akceptacji swoich ról, obaj panowie potajemnie ustalili, że jeszcze nie nadszedł czas, aby Agnieszka została „zniewolona” węzłem małżeńskim.

Intryga, która miała uniemożliwić mój ślub z Agnieszką, była isticie diabelska. W przeddzień ślubu, Krzysiek z chłopakami urządził mi wieczór kawalerski w mieszkaniu przy Filtrach, gdzie wówczas mieszkał u swojej siostry, Joanny. Najpierw ustalono regułę, że muszę pić z każdym, kto o to poprosi. W rezultacie musiałem wypić o wiele więcej niż inni. Kiedy byłem już półprzytomny, Krzysiek z kolegami założyli mi gruby gips na gołą nogę, od kostki do pachwiny. Potem z trudem (bo byli też włani) znieśli mnie dwa piętra do samochodu na wyjętych z zawiasów drzwiach do mieszkania.

Uplanowano, że zostanę odwieziony na dworzec do pociągu jadącego do Szczecina. Konduktor miał być powiadomiony, że mam być następnego dnia na ślubie w Szczecinie i miał dostać w łapę za to, by uniemożliwić mi ucieczkę z pociągu z powodu mojej rzekomej niechęci dotarcia na ślub.

Intryga nie powiodła się tylko dlatego, że desygnowany kierowca upił się, a właściciel samochodu, również pijany, nie pozwolił nikomu prowadzić po pijaku. Wnoszenie mnie po schodach z powrotem do mieszkania było skomplikowane, a zdejmowanie gipsu nad ranem z gołej nogi za pomocą małych nożyczek – koszarne.

Ślub się odbył pomimo tego, że świadkowie Krzysiek i Paweł oraz inni obecni w Urzędzie Stanu Cywilnego przy Nowym Świecie próbowali storpedować ceremonię. Na szczęście ślub w przesuniętym kościele na Woli oraz przyjęcie weselne odbyły się bez większych problemów (co nie znaczy, że bez dodatkowych psikusów ze strony Krzyśka). Agnieszka i ja zawsze miło wspominaliśmy te perypetie zakończone happy endem. Agnieszka zmarła trzy lata temu. Wierzę, że teraz razem z Krzyśkiem wspomina te i wiele innych dni, które spędzili razem.

Wśród Pawła i moich kolegów na Saskiej Kępie popularna też była zabawa w dojrzewanie. Krzysiek wziął w niej udział na przyjęciu w mieszkaniu Pawła (część willi na Saskiej Kępie) z okazji Pawła zaślubin z siostrą Krzyśka w zimie 1970 roku. Zabawa polegała na tym, że panowie wchodzili w ubraniu do wanny z wodą, potem mokrzy wspinali się na drzewo w ogrodzie, gdzie wisieli jako owoce, dopóki nie zdecydowali, że dojrzeli. Jak już dojrzeli, to po prostu spadali z drzewa. Szczerze mówiąc był to świetny sposób na szybkie wytrzeźwienie. Te i inne wspólne zabawy scementowały wieloletnią przyjaźń Krzyśka z kilkoma chłopakami z Saskiej Kępy, którzy ukończyli studia na Politechnice Warszawskiej.

Pewnego dnia (chyba) na czwartym roku, Krzysiek zwierzył się mnie i Pawłowi, że został „zaproszony” na rozmowę do Pałacu Mostowskich. Podejrzewaliśmy, że jedna z wtyczek na naszym Wydziale zakablowała go jako potencjalnie wartościowego delikwenta. Wieczorem w przeddzień spotkania debatowaliśmy nad tym, jak Krzysiek ma odmówić współpracy, nie powodując typowych ubeckich konsekwencji (odmowa paszportu, itp.). Kiedy już mieliśmy dobrze w czubie, Krzysiek wpadł na pomysł, że przedstawi siebie jako alkoholika, który jest strasznie gadatliwy, jak wypije. O dziwo w ten prosty sposób udało mu się przekonać werbujących, że współpraca z nim przyniesie urzędowi więcej szkody niż pożytku.

Krzysiek bez wątpienia był najzdolniejszym i najlepszym studentem na naszym roku, jak również jednym z dwóch najlepszych pracowników KMMF (obok Leszka Woronowicza) i ulubionym uczniem Profesora Maurina. Ale sukcesy zawdzięczał również, w dużej mierze, swojej pracowitości. Było to oczywiste na studiach w czasie naszych wspólnych sesji przed kolokwiami i egzaminami, jak również gdy prowadził (lub uczęszczał na) liczne wykłady monograficzne w czasie pracy w KMMF. Wbrew pozorom, Krzysiek pracował w czasie studiów oraz w trakcie swojej kariery naukowej w KMMF, Stanach Zjednoczonych czy we Francji dużo więcej niż wielu z nas. Rozumiał, że sam talent to nie wszystko.

Po moim osiedleniu się w Stanach Zjednoczonych w 1985 byłem z Krzyśkiem w stałym kontakcie listowym. Opinie wystawione przez Krzyśka i Jurka Cellerę w końcu lat osiemdziesiątych pomogły mi w uzyskaniu znacznych funduszy od ciał ustawodawczych stanu Kolorado i NSF na unowocześnienie sposobu nauczania matematyki (komputery NeXT) oraz na radykalne zreformowanie programu doktorskiego na uniwersytecie w północnym Kolorado, gdzie pracowałem do 2018 roku.

Ostatni raz widziałem się z Krzyśkiem w Paryżu w maju 1999 roku. Jak zwykle zaimponował mi, gdy opowiedział jakimi problemami się zajmuje i jakie wyniki uzyskał. Dał mi też kilka cennych wskazówek dotyczących komputerowego modelowania turbulentnego przepływu w cieczach wiskoelastycznych, które robiłem dla ustalenia mechanizmu traumatycznych urazów mózgu.

Opowiedział mi o swojej sytuacji rodzinnej i zawodowej oraz że pewnie opuści Paryż i przeniesie się najprawdopodobniej do Lyonu.

Następnego dnia na małym prywatnym przyjęciu w Krzyśka mieszkaniu pod Paryżem spotkałem dwóch jego bliskich współpracowników i jego syna Ignacego. Ignacy wyglądał jak Krzysiek na początku naszych studiów na Hożej.

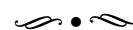
Igor Szczyrba



Wspaniały naukowiec, wspaniały nauczyciel, wspaniały kolega, ale przede wszystkim wspaniały Człowiek.

Po studiach spotykałem go rzadko, mimo że obaj pracowaliśmy na Wydziale i KMMF była co prawda na ulicy Hożej, jednak nie na Hożej 69, tylko gdzieś pomiędzy ulicą Emilii Plater i Poznańską. (Przez pewien czas w tej samej kamienicy mieścił się dziekanat Wydziału Fizyki.) Kilka razy spotkałem Krzysztofa w Zakopanem. Utkwił mi w pamięci jeden obrazek. Było to gdzieś około 1978 lub 1979 roku. Spotkaliśmy się przed restauracją w Kuźnicach i razem weszliśmy, żeby się ogrzać i coś zjeść (było piekielnie zimno). Niestety jedyne wolne miejsce było przy stole blisko drzwi. Byli z nami jeszcze inni ludzie, chyba także z Hożej, ale tego nie pamiętam; to były długie stoły z ławami do siedzenia po obu stronach. Każde wejście nowej osoby do restauracji wiązało się z otwarciem drzwi i podmuchem zimna. Część ludzi wchodziła i nie zamykała drzwi za sobą. Wtedy z kilku stołów usytuowanych najbliżej drzwi odzywał się chór okrzyków: DRZWI! Nagle Krzysztof wstał od stołu, stanął przy drzwiach i do każdej osoby nie zamykającej drzwi mówił bardzo spokojnym głosem coś w stylu: *Czy byłby Pan (Pani) uprzejmy zamknąć za sobą drzwi, bo robi się tutaj bardzo zimno*. Po kilku minutach wrócił do stolika i powiedział: *pracując na uczelni zawsze jest się nauczycielem* i ze swoistym dla niego humorem dodał: *myślę, że powinno mi się te 5 minut zaliczyć do godzin dydaktycznych*.

Władek Minor



Przed oczami mam obraz naszego wybitnego kolegi. W czasie studiów nie miałam z nim tak bliskiego kontaktu, jak wielu z Was, ale jego pogodny uśmiech, życzliwość, fantazja udzielały się nam wszystkim.

Wracam wspomnieniami do mojego z Krzysiem spotkania w Orsay. Koniec lat 80. w Paryżu. Pewnego dnia wybrałam się naszym starym Fiatem do mojej przyjaciółki prof. Zosi Denkowskiej i zasiedziałam się u niej do późna. Okazało się, że nie mam benzyny, a jedyna o tej porze otwarta stacja jest tylko na kartę. Zosia powiedziała, że zaraz zadzwoni do swojego przyjaciela, który ma kartę i on ze mną pojedzie na stację. Za pięć minut w drzwiach pojawił się Krzysiek. Pierwsze spotkanie od czasu studiów. Zaskoczenie, radość; na stacji przegadaliśmy swoje losy.

Pomyślałam sobie, że zaraz zawiadomię Zosię o śmierci Krzysia. Krzysiek pracował w Lyonie, ona od lat na Uniwersytecie w Angers i byłyśmy w częstym kontakcie. Napisałam do niej maila i... brak odpowiedzi. Z niepokojem weszłam na stronę Uniwersytetu w Angers. Zosia zmarła 19 grudnia...

Tak to przed laty Zosia „spotkała mnie” z Krzysiem, a teraz Krzyś „spotkał mnie” z Zosią.

Bożenna Gokieli

Niezwykły, krakowski tandem naukowy

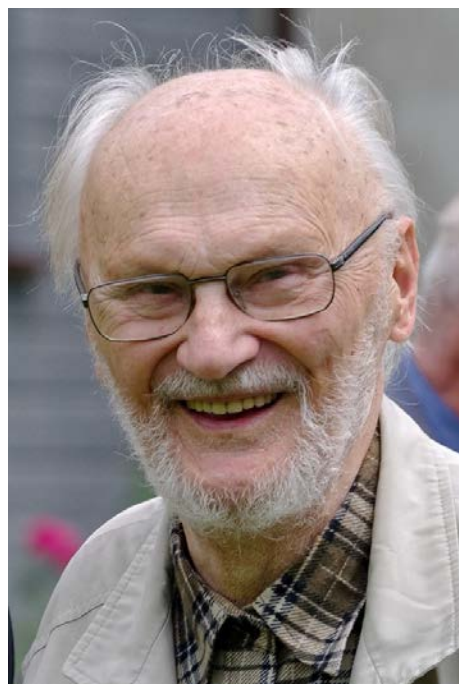
Maria Massalska-Arodź*, Maria Pawłowska**, Andrzej Szytuła**

*emerytowana profesor Instytutu Fizyki Jądrowej PAN

**Wydział Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego



Ewa Ścieszńska (1934-2021)



Jacek Ścieszński (1932-2018)

Ewa i Jacek Ścieszńscy byli nierozłączni – razem pracowali, wspólnie spędzili życie, niezwykle się kochali, a w pracy naukowej doskonale uzupełniali.

Ewa Teresa Ścieszńska (1934-2021)

z domu Kunisz, urodziła się 11.09.1934 w Warszawie. Była córką Tadeusza Kunisza, majora Wojska Polskiego, który zginął w kampanii wrześniowej 1939 oraz Zofii Kunisz z domu Arcinowskiej. Dzieciństwo, wraz z siostrami Marią Danutą (fizykim, profesorem w Uniwersytecie Jagiellońskim) i Barbarą (geologiem, niepokalanką) oraz bratem Janem Andrzejem (historykiem, profesorem w Uniwersytecie Śląskim), spędziła na wschodzie kraju – najpierw w Przemyślu i Chełmie Lubelskim, a od 1938 w Wilnie. W 1945 rodzina Kuniszów, jak wiele innych polskich rodzin wileńskich, została wysiedlona z Wilna i przeniosła się do Krakowa, gdzie mieszkała rodzina matki. Maturę uzyskała w 1953 w XI Państwowym Gimnazjum i Liceum im. Józefy Joteyko w Krakowie. W tym samym roku rozpoczęła studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego, które ukończyła z oceną bardzo dobrą (1959), uzyskując tytuł magistra fi-

zyki na podstawie pracy *Badanie procesu termalizacji neutronów w „dziale” parafinowym*, którą przygotowała pod kierunkiem prof. Jerzego Janika. Została zatrudniona w Katedrze Fizyki Ciała Stałego Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego na stanowisku asystenta (1959-1962), później starszego asystenta (1962-1968) i asystenta technicznego (1968-1970). W latach 1970-1992 była adiunktem, a od 30.11.1992 adiunktem habilitowanym w Instytucie Fizyki UJ. Jej pierwsze prace naukowe związane były z technicznymi zastosowaniami metod fizyki jądrowej, w szczególności dotyczyły zastosowania rozpraszania neutronów do oznaczania wilgotności materiałów. Powyższe prace, prowadzone we współpracy z Instytutem Odlewnictwa w Krakowie, obejmowały zagadnienia adaptacji metody neutronowej do pomiaru wilgotności mas formierskich. W 1966 roku została współautorką patentu PRL Nr 50954 *Urządzenie do pomiaru wilgotno-*

ści materiałów sypkich (świadcstwo współautorskie Nr 17876, rok 1966). Również z tej tematyki przygotowała rozprawę *Ograniczenia stosowalności neutronowej metody pomiaru wilgotności*, na podstawie której 11.12.1969 uzyskała stopień doktora nauk fizycznych. Jej pierwsza publikacja naukowa to: *The accuracy of the neutron method of moisture measurement*. *Nukleonika* 15 (1970) 593.

Doktor Ewa Ściesińska prowadziła różne zajęcia dydaktyczne, głównie w I Pracowni Fizycznej, gdzie wprowadzała młodych fizyków, chemików i biologów w trudne prawa fizyki, a także w pracowni specjalistycznej z fizyki ciała stałego dla studentów IV roku fizyki. Była opiekunką kilku prac magisterskich. Przez ponad 20 lat pełniła funkcję sekretarza naukowego Zakładu Fizyki Ciała Stałego w Instytucie Fizyki UJ. W ocenie przełożonych, m.in. profesorów Henryka Niewodniczańskiego i Jerzego Janika, jak i studentów, była bardzo dobrym dydaktykiem.

W 1970 roku włączyła się do głównego nurtu badań prowadzonych przez Krakowską Grupę Kryształów Molekularnych i Ciekłych Kryształów, którą kierował prof. Jerzy Janik. W ramach tego zespołu prowadziła badania metodą spektroskopii absorpcyjnej w obszarze dalekiej i średniej podczerwieni, kalorymetrii adiabatycznej i rozpraszania neutronów. Badania obejmowały związki kompleksowe i wysokotemperaturowe nadprzewodniki. Wyniki badań zjawiska polimorfizmu czterech złożonych alkoholi (cyklopentanolu, cykloheksanolu, cykloheptanolu i t-butanolu) były podstawą do przygotowania rozprawy *Spektroskopowe badania polimorfizmu alkoholi* (Raport IFJ Nr 1545/PS. Kraków 1991), na podstawie której 27.02.1992 uzyskała stopień naukowy doktora habilitowanego nauk fizycznych (specjalność: fizyka ciała stałego) i otrzymała stanowisko adiunkta habilitowanego. Na wniosek prof. Jerzego Janika, w grudniu 1992 dr hab. Ewa Ściesińska podjęła pracę w Zakładzie III Badań Strukturalnych Instytutu Fizyki Jądrowej w Krakowie, ale nadal ściśle współpracowała z fizykami z Uniwersytetu Jagiellońskiego. W uzasadnieniu wniosku o zatrudnienie w IFJ prof. Janik zwracał uwagę na to, że już w latach siedemdziesiątych stała się nieformalnym współpracownikiem uczonych związanych z IFJ, korzystała z aparatury naukowej Instytutu, więc zatrudnienie w IFJ pozwoli na jeszcze ściślejszą współpracę i pełniejsze wykorzystanie jej potencjału naukowego. Dołączyła w ten sposób nie tylko do instytutowej grupy badawczej, ale również do miłości swojego życia – Jacka Ściesińskiego, z którym dzieliła zarówno pasje naukowe, jak i życie prywatne przez 50 lat małżeństwa. 15.11.1993 została mianowana na stanowisko docenta w Instytucie Fizyki Jądrowej im. prof. Henryka Niewodniczańskiego w Krakowie.

Zajmowała się m. in. analizą diagramu fazowego ciekłych kryształów oraz kompleksów molekularnych

i opisem fizykochemicznych własności półprzewodników oraz nadprzewodników, a także kinetyki krystalizacji i stabilności nieuporządkowanych orientacyjnie faz stałych wykorzystując metodę spektroskopii absorpcyjnej w zakresie podczerwieni. Jej ostatnie prace dotyczyły badań organicznych materiałów miękkich tworzących szkła z elementami uporządkowania dalekozasięgowego. Pionierskie były jej wyniki umożliwiające porównanie dynamiki molekularnej szkła fazy izotropowej oraz szkła różnych faz ciekłokrystalicznych dzięki zastosowaniu techniki dalekiej i środkowej podczerwieni.

Była autorką ponad 50 ważnych publikacji naukowych. Bardzo cenną jej inicjatywą było utworzenie (wraz z mężem) w Instytucie Fizyki Jądrowej pracowni spektroskopowej, co przyniosło wiele interesujących rezultatów naukowych, w tym kilka prac doktorskich, magisterskich i dyplomowych. Podziwiano, szczególnie podczas dyskusji seminaryjnych, Jej ogromną wiedzę w dziedzinie fizyki faz skondensowanych, a także głębokie rozumienie złożonych zjawisk fizycznych w badanych materiałach.

Docent Ściesińska całe swoje dorosłe życie oddała środowisku krakowskich fizyków i rodzinie, z którą utrzymywała częste i serdeczne kontakty, spędzając wolne chwile w przysiółku Tyrpułowo (Stróża). Koledzy i współpracownicy cenili Ją za sumienność i koleżeństwo.

Po śmierci męża w 2018 roku zamieszkała z rodziną w Marzyszu pod Kielcami. Odeszła 02.09.2021 wskutek nieuleczalnej choroby. Do końca zachowała bystry umysł, wybitną pamięć i ciekawość świata.

Jan Jacek Ściesiński (1932-2018)

urodził się 16.11.1932 w Łodzi. Jego ojciec Kazimierz był ordynatorem w Szpitalu Miejskim w Łodzi, a później pracownikiem naukowym w Uniwersytecie Jagiellońskim. Jako przedwojenny oficer został powołany do wojska w 1939, zginął w 1940 w Katyniu. Matka Jana, Rafalina Ściesińska (z domu Arcinowska) pracowała również w łódzkim szpitalu, ale w 1941 została wysiedlona z Łodzi i wyjechała z dziećmi do Krakowa, gdzie po wojnie została kierownikiem laboratorium w Szpitalu Dziecięcym w Krakowie-Prokocimiu. Jego siostra Anna, była lekarzem pediatrą w Szpitalu MSW w Krakowie. Była również tatarniczką; zginęła tragicznie 09.06.1957 podczas samotnej wycieczki do Doliny Pańszczyca w Tatrach Wysokich.

Po ukończeniu szkoły powszechnej Jan Jacek Ściesiński uczył się w Gimnazjum im. H. Sienkiewicza w Krakowie. Maturę zdał w 1951 w Liceum im. Króla Jana III Sobieskiego i rozpoczął studia na Wydziale Łączności Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej w Gliwicach, a po jego zlikwidowaniu kontynuował studia w ramach grupy specjalizacyjnej elektroautomatyki i elektro-

niki przemysłowej. Pracę magisterską *Projekt i wykonanie urządzenia do pomiaru chwilowej wartości napięcia periodycznego* wykonał w Instytucie Metalurgii w Gliwicach pod kierunkiem prof. Tadeusza Zagajewskiego. Obronił ją w 1956, uzyskując dyplom magistra inżyniera elektryka.

Bezpośrednio po ukończeniu studiów został zatrudniony w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie jako pomocniczy pracownik naukowy, w 1958 decyzją zatwierdzoną przez Instytut Badań Jądrowych w Warszawie uzyskał stanowisko asystenta w Pracowni Neutronów IFJ, w 1961 został starszym asystentem. Podczas stażu naukowego, który odbył w Studsvik w Szwecji, zapoznał się z działalnością ośrodka badań atomowych należącego do szwedzkiej firmy AB Atomenergia.

Był wszechstronnie utalentowanym elektronikiem, więc uczestniczył w projektowaniu, budowie, testowaniu i udoskonalaniu specyficznej aparatury naukowo-badawczej, w szczególności spektrometrów neutronowych. Dla jednego z nich, spektrometru neutronowego czasu przelotu (*time of flight*, TOF), zaprojektował 256-kanalowy analizator czasu, umożliwiając tym samym pomiary z najwyższą zdolnością rozdzielczą. Był uznanym na świecie specjalistą od tej aparatury, co znalazło wyraz we współpracy z różnymi grupami badaczami, m.in. z IF UJ, z Instytutu Boris Kidrič w Vinča. Z zespołem VIKRA z Jugosławii prowadził prace modernizacyjne spektrometru krystalicznego przywiezionego ze Świerku pod Warszawą, co pozwoliło wykorzystać to urządzenie do dokładnej analizy energii rozproszonych neutronów, a także otrzymać informacje o falach spinowych (magnonach), wyznaczyć ich relacje dyspersji i całki wymiany. Współpracował także z uczonymi ze Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej – według jego projektu wykonano specjalny *chopper*, który, ustawiony na kanale reaktora IBR w Laboratorium Fizyki Neutronowej ZIBJ, współpracował ze spektrometrem neutronowym.

W ramach stworzonej przez Jerzego i Janinę Janików Krakowskiej Grupy Kryształów Molekularnych i Ciekłych Kryształów, prowadził (razem z Ewą Ściesińską) badania *glass formerów* metodami spektroskopii w podczerwieni oraz metodą kalorymetryczną (z Jackiem Mayerem, Małgorzatą Nowina-Konopką i Piotrem Zielińskim). Uczestniczył również w pracach instalacyjnych urządzenia do wytopu monokryształów materiałów o punkcie topnienia nie wyższym niż 2000 °C. Dla tej aparatury stworzył wówczas autorski projekt regulacji i stabilizacji temperatury (± 1 °C).

Jacek Ściesiński (używał raczej swojego drugiego imienia) był tytanem pracy, wytrwały w dążeniu do rozwiązywania problemów i nieoceniony w sytuacjach trudnych. Za swoje osiągnięcia został uhonorowany Nagrodą Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki (1984) i Złotym Krzyżem Zasługi.

Kochał góry, był członkiem Koła Krótkofalowców Dolina Raby i niezwykle oddanym przyjacielem.

Wybrane publikacje

1. Ściesińska, J. Ściesiński, J. Twardowski, J.A. Janik, *Absorption Spectra of p-methoxy Benzylidene p-n-butyl-aniline in 80-400 cm⁻¹ range at temperatures between -200 and +70 °C*. Mol. Cryst. Liq. Cryst., **27** (1974) 125;
2. E. Ściesińska, J. Ściesiński. *Far Infrared Study of Solid Cyclohexanol*. Mol. Cryst. Liq. Cryst., **51** (1979) 9;
3. E. Ściesińska, J. Ściesiński. *Far Infrared Study of Solid tert-Butanol*. Acta Phys. Pol. A, **58** (1980) 361;
4. E. Ściesińska, J. Ściesiński. *On the Davydov Soliton in the OH(OD) Torsion Band of Solid Alcohols*. Phys. Lett. A, **112** (1985) 243;
5. E. Ściesińska, J. Ściesiński. *Infrared Study of Polymorphism of T-Butanol*. J. Mol. Struct., **143** (1986) 63;
6. E. Ściesińska, J. Mayer, I. Natkaniec, J. Ściesiński, *Single Chain Lattice Dynamics of Cycloheksanol*. Mater. Sci., **14** (1988) 115;
7. E. Ściesińska, J. Ściesiński. *Infrared Study of Solid Cycloheptanol*. Spectrosc. Lett., **23** (1990) 239;
8. E. Ściesińska et al., *Far Infrared Studies of Solid Cyclohexane*. J. Mol. Struct., **267** (1992) 235;
9. W. Witko, J. Ściesiński, E. Ściesińska, M. Massalska-Arodz, J. Mayer, R. Dąbrowski. *Studies of Polymorphism of Right Handed (S)-4-(2-Methylbutyl)-4'-Cyanobiphenyl*. Mol. Cryst. Liq. Cryst., **330** (1999) 1635;
10. J. Ściesiński, E. Ściesińska, M. Massalska-Arodz, T. Wasiutyński, P.M. Zieliński, W. Witko. *Polymorphism of Righthanded Octyloxycyanobiphenyl*. IEEE T. Dielect. El. In., **8** (2001) 522;
11. J. Ściesiński, E. Ściesińska, M. Massalska-Arodz, *Scanning Mode of the Upgraded FTS-14 Digilab Spectrometer - Study of 8*OCB Polymorphism*. J. Mol. Struct., **596** (2001) 229;
12. T. Wasiutyński, J. Ściesiński, E. Ściesińska. *Kinetics of Irreversible Transformations in a Glassy Crystal Studied by Infrared Spectroscopy*. Phase Transit., **73** (2001) 523.

Kronika Polskiego Towarzystwa Fizycznego

WRZESIEŃ 2021

Bydgoszcz. W dniach 19-23.09.2021 w Bydgoszczy odbył się 47. Zjazd Fizyków Polskich, którego jednym z głównych sponsorów była firma Solbet S.A. Podstawowym celem, jaki postawili sobie organizatorzy Zjazdu była popularyzacja osiągnięć naukowych fizyków oraz promocja fizyki poprzez organizację przedsięwzięć ukazujących w przystępny sposób przydatność wiedzy fizycznej, a także popularyzacja innowacyjnych rozwiązań w nauce i szkolnictwie wyższym, a w szczególności:

- Wielopłaszczyznowe propagowanie wiedzy o dziedzictwie naukowym regionu kujawsko-pomorskiego, m. in. wystawa (w przestrzeni miejskiej) plakatów o wielkich postaciach nauki i techniki rodem z Bydgoszczy i regionu (Jana Czochralskiego, Hugo Hergesella, Mikołaja Kopernika, Alberta Michelsona, Walthera Nernsta, Ericha Regenera, Mariana Rejewskiego, Jana Śniadeckiego, Jędrzeja Śniadeckiego, Józefa Tykocińskiego-Tykocinera) oraz ich dokonaniach, loty balonowe do stratosfery (wg pierwotnych, oryginalnych koncepcji Hergesella i Regenera ujawnionych po raz pierwszy podczas Zjazdu).
- Udział ludzi nauki w doskonaleniu metod i narzędzi nauczania fizyki w szkołach podstawowych i średnich oraz wymiana doświadczeń w tym zakresie (sesja nauczycielska).
- Udział uczniów z bydgoskich szkół w sesjach naukowych oraz w debacie *Fizyka 2050* poświęconej energetyce jądrowej oraz szeroko rozumianej ochronie środowiska w obliczu kurczących się zasobów paliw kopalnych i galopujących zmian klimatycznych, będących skutkiem destrukcyjnej działalności człowieka.
- Integracja środowiska fizyków z lokalną społecznością.

W Zjeździe uczestniczyło 280 osób, w tym 88 zaproszonych gości z polski i zagranicy, a wśród nich laureat Nagrody Nobla z fizyki z roku 2004, profesor MIT Frank Wilczek (który wygłosił wykład online). Obradowano w kilkunastu sesjach plenarnych i panelach dyskusyjnych, wygłoszono 40 wykładów plenarnych (w tym 16 online) i 63 wykłady sesyjne (26 online); fizycy zaprezentowali swoje osiągnięcia w ramach sesji plakatowej (13 plakatów). Zgodnie z tradycją, laureat Medalu im. Mariana

Smoluchowskiego – prof. Iwo Białynicki-Birula wygłosił wykład *Photon: A Very Peculiar Elementary Particle*. Odbył się też bardzo istotny panel dyskusyjny dotyczący nowoczesnych źródeł energii, zmian klimatycznych i fizycznych podstaw zrównoważonego rozwoju *Polska 2050*.

Ponadto organizatorzy zaferowali uczestnikom Zjazdu imprezy towarzyszące merytoryczne, kulturalne i turystyczne, m. in. wspomniane już spektakularne, tandemowe loty balonów do stratosfery. Odbyła się także specjalistyczna konferencja z pogranicza fizyki i medycyny LUMDETR 2021, zorganizowana w tygodniu poprzedzającym Zjazd, którą Oddział Bydgoski PTF wsparł merytorycznie i organizacyjnie, a której kilku uczestników było wykładowcami podczas Zjazdu. Uczestnicy Zjazdu wzięli udział w nocnych spacerach po Bydgoszczy, odwiedzili Strzelno – miejsce urodzenia noblisty z kujawsko-pomorskimi korzeniami Alberta A. Michelsona oraz Kcynię, skąd pochodził praojciec nowoczesnej światowej technologii opartej na krzemie i autor unikatowej metody „wyciągania” monokryształów z roztopu, Jan Czochralski.

Oferta kulturalna, to trzy tematycznie bądź personalnie związane z (astro)fizyką koncerty: (i) *Go Lem* Tomasza Pauszka (Bydgoszcz) i Przemysława Rudziana (Gdańsk); (ii) *Dwie nieskończoności* duetu muzyki elektronicznej („wzmocnionej” matematycznie opisanym beatem perkusyjnym), tj. słynnego multiinstrumentalisty Józefa Skrzeka, założyciela kultowej grupy SBB, oraz światowej klasy perkusisty Mirosława Muzykanta (na stałe rezydującego w Niemczech); (iii) grupy Freyghish Orchestra pod kierownictwem prof. Mirosława Bylickiego z Wydziału Fizyki UMK w Toruniu (na zakończenie Zjazdu), grającej muzykę orientálną (grecką, turecką) oraz motywy muzyki żydowskiej (członkowie tej grupy są fizykami pracującymi na UMK w Toruniu i UKW w Bydgoszczy).

Podsumowanie i szczegółowe informacje dotyczące 47. ZFP można znaleźć na stronie <http://47zfp.utp.edu.pl/>

PAŹDZIERNIK 2021

Dubaj. Światowe Wystawy EXPO to najbardziej prestiżowe wydarzenia na świecie o charakterze gospodarczym, promocyjnym i kulturalnym. Tegoroczna edycja

odbyła się w Dubaju. W ramach prezentacji naszego kraju wygłoszony został cykl tzw. XyloTalks, gdzie ośmiu prelegentów reprezentujących różne profesje i dziedziny życia omawiało istotne kwestie i nowatorskie koncepcje z zakresu m.in. zrównoważonego rozwoju, nauki i designu. Jednym z prelegentów był pracownik Wydziału Fizyki UwB dr hab. Andrzej Stupakiewicz, prof. UwB, który 07.10.2021 zaprezentował nowatorską metodę zimnego i ultraszybkiego zapisu magnetycznego. Dzięki zastosowaniu ultrakrótkich impulsów laserowych z odpowiednią kombinacją parametrów optycznych, możliwe było zredukowanie rozmiaru „komórki pamięci” z 4000 do zaledwie 28 nm³. Wynik ten przekłada się na jeszcze efektywniejsze wykorzystanie światła do zapisu informacji w nośnikach danych o znacznie większych pojemnościach niż stosowane obecnie. Nagranie wideo tego wystąpienia dostępne jest na stronie: <https://www.youtube.com/watch?v=z-7YGTW5gX4>

Białystok. 16.10.2021 miała miejsce Noc Innowacji na Wydziale Fizyki UwB. Noce Innowacji to ogólnopolska inicjatywa realizowana w ramach Festiwalu Cyfryzacji. W tym roku po raz pierwszy Wydział Fizyki UwB udostępnił szerokiemu gronu odbiorców swoje laboratoria, do których na co dzień wstęp mają tylko pracownicy i studenci. Odwiedzający mogli poznać wybrane innowacyjne działania, projekty i badania prowadzone na naszym Wydziale. Bardzo dużym zainteresowaniem cieszyła się również możliwość „przedpremierowego” zwiedzania nowego obserwatorium astronomicznego oraz planetarium.

Białystok. Po blisko dwuletniej przerwie, spowodowanej warunkami epidemicznymi, Oddział Białostocki PTF powraca do tradycji organizacji wykładów popularnonaukowych dla młodzieży. Pierwszy, zatytułowany *Fascynująca fizyka mechanizmów zegarowych*, wygłosił 23.10.2021 dr inż. David Ziemkiewicz z Politechniki Bydgoskiej. Uczestnicy wykładu (transmitowanego również online) mogli zagłębić się w niezwykle ciekawy świat mechanicznych zegarów z wahadłem. W szczególności poznali rewolucyjną, wysoce precyzyjną konstrukcję zaproponowaną przez Johna Harrisona w 1722 roku. Co ciekawe, wszystkie mechanizmy omawiane w trakcie wykładu odwzorowane zostały przy użyciu klocków LEGO.

Szczegóły działających modeli można było podziwiać po zakończeniu spotkania.

LISTOPAD 2021

Białystok. 27.11.2021 odbył się kolejny z cyklu wykładów popularnonaukowych organizowanych przez Oddział Białostocki PTF. Tym razem uczestnicy spotkania (w formie stacjonarnej oraz online) mieli okazję posłuchać dr. hab. Andrzeja Dragana, prof. UW przybliżającego temat *Kwantowej zasady względności*.

Informacje o przyszłych wykładach dostępne są na stronie: <https://ptf.uwb.edu.pl/>

STYCZEŃ 2022

Poznań. W dniach 11-12.01.2022 na seminarium online *Surface Science Discussions 2022* w Centrum NanoBio-Medycznym Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu spotkali się światowej klasy specjaliści z dziedziny fizykochemii powierzchni. Wydarzenie to było objęte Honorowym Patronatem Oddziału Poznańskiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego, Polskiego Towarzystwa Próżniowego oraz Jej Magnificencji Rektor UAM prof. dr. hab. Bugumiły Kaniewskiej. Organizatorem seminarium była grupa badawcza dr. hab. Mikołaja Lewandowskiego, prof. UAM – członka PTF. Wygłoszono 22 wykłady, w ramach których zaprezentowano najnowsze wyniki badań eksperymentalnych i teoretycznych z zakresu struktury i właściwości fizykochemicznych związków metali i niemetali na powierzchniach. Uczestnicy seminarium mogli także zapoznać się z najnowocześniejszą aparaturą badawczą umożliwiającą wykonywanie pomiarów metodami: mikroskopii skaningowej, spektroskopii próbnikowej oraz spektroskopii fotoelektronów. Wykładowcami byli m.in. prof. dr Hans-Joachim Freund z Maxa Plancka Fritz-Haber-Institut w Berlinie, prof. dr Gianfranco Pacchioni z Uniwersytetu Milano-Bicocca w Mediolanie, prof. dr Talat S. Rahman z Uniwersytetu Centralnej Florydy w Orlando oraz prof. dr hab. Nika Spiridis z Instytutu Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN im. Jerzego Habera w Krakowie. W wydarzeniu wzięło udział ponad 150 osób z 17 krajów. Zarówno osoby prezentujące, jak i słuchacze pozytywnie wypowiadali się na temat formuły i organizacji seminarium, wyrażając nadzieję, że SSD2022 przyjmie formę cykliczną.



STANISLAS DEHAENE wybitny neuronaukowiec poznawczy, sięgając do najnowszych odkryć z dziedziny psychologii, pedagogiki, neurobiologii i informatyki, opisuje, na czym polega i jak przebiega proces uczenia się. Przekonuje, że mózg człowieka w chwili narodzin nie jest „niezapisaną kartą”, lecz dysponuje bogatym zbiorem zasadniczych umiejętności, będących podstawą nabywania dalszej wiedzy. Jego zdaniem tym, co gwarantuje powodzenie w uczeniu się, jest optymalne wykorzystanie czterech filarów: uwagi, aktywnego zaangażowania, informacji o popełnionych błędach i konsolidacji wiedzy.

DLACZEGO MÓZG UCZY SIĘ LEPIEJ NIŻ KOMPUTER... JAK DOTĄD?

- Mózg człowieka wyciska maksimum treści z minimum danych.
- Ludzki mózg potrafi integrować nową informację z istniejącą już siecią wiedzy.
- Nasz mózg potrafi wyłuskiwać abstrakcyjne zasady, systemowe reguły, które umie potem ponownie zastosować w wielu różnych kontekstach.
- Kiedy uczymy się czegoś, umiejętność ta staje się integralną częścią zestawu naszych kompetencji; natychmiast możemy stosować ją w różnych celach.

**Chcesz wiedzieć, jak działa Twój mózg
i jak efektywnie uczyć siebie i innych?**

Sięgnij po tę książkę!



Wirusy są wszędzie.

Takie stwierdzenie nas nie szokuje, zwłaszcza w czasach pandemii COVID-19.

Ale czy na pewno?

Czy zdajemy sobie sprawę, że wirusy spadają na nas miliardami każdego dnia z najwyższych warstw atmosfery? Że pływamy się w bilionach ich cząstek podczas kąpieli w oceanie, a ich monstrualne wersje żyją w rurkach naszego klimatyzatora? Wreszcie – że nasze własne geny usiane są szczątkami dawno już umarłych wirusów, które w prehistorii zaatakowały przodka naszego gatunku, a potem zwyczajnie utknęły w naszym genomie?

CARL ZIMMER opisuje świat niezwykły; świat, w którym nie rządząmy my, lecz właściwie nieożywione replikatory, maleńkie maszyny potrafiące podporządkować sobie dowolny proces w naszym ciele. Boimy się ich – i słusznie, gdyż na wiele chorób wirusowych nie mamy dotąd żadnego lekarstwa. Jednak jeśli spojrzymy na wirusy inaczej, to poznamy grupę niezwykłych twórców balansujących na cienkiej granicy między życiem i materią martwą, odpowiedzialnych za krążenie pierwiastków na Ziemi, regulację klimatu całej planety, czy wreszcie – powstanie wiele miliardów lat temu życia takiego, jakim znamy je obecnie.

Zachęcamy do lektury!