

POSTĘPY FIZYKI



CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ

Festiwal *Science on Stage*

Grzegorz Musiał, Wojciech Nawrocik

500 lat olsztyńskiej Tablicy Kopernika

Jan Chroboczek

Półprzewodniki półmagnetyczne:

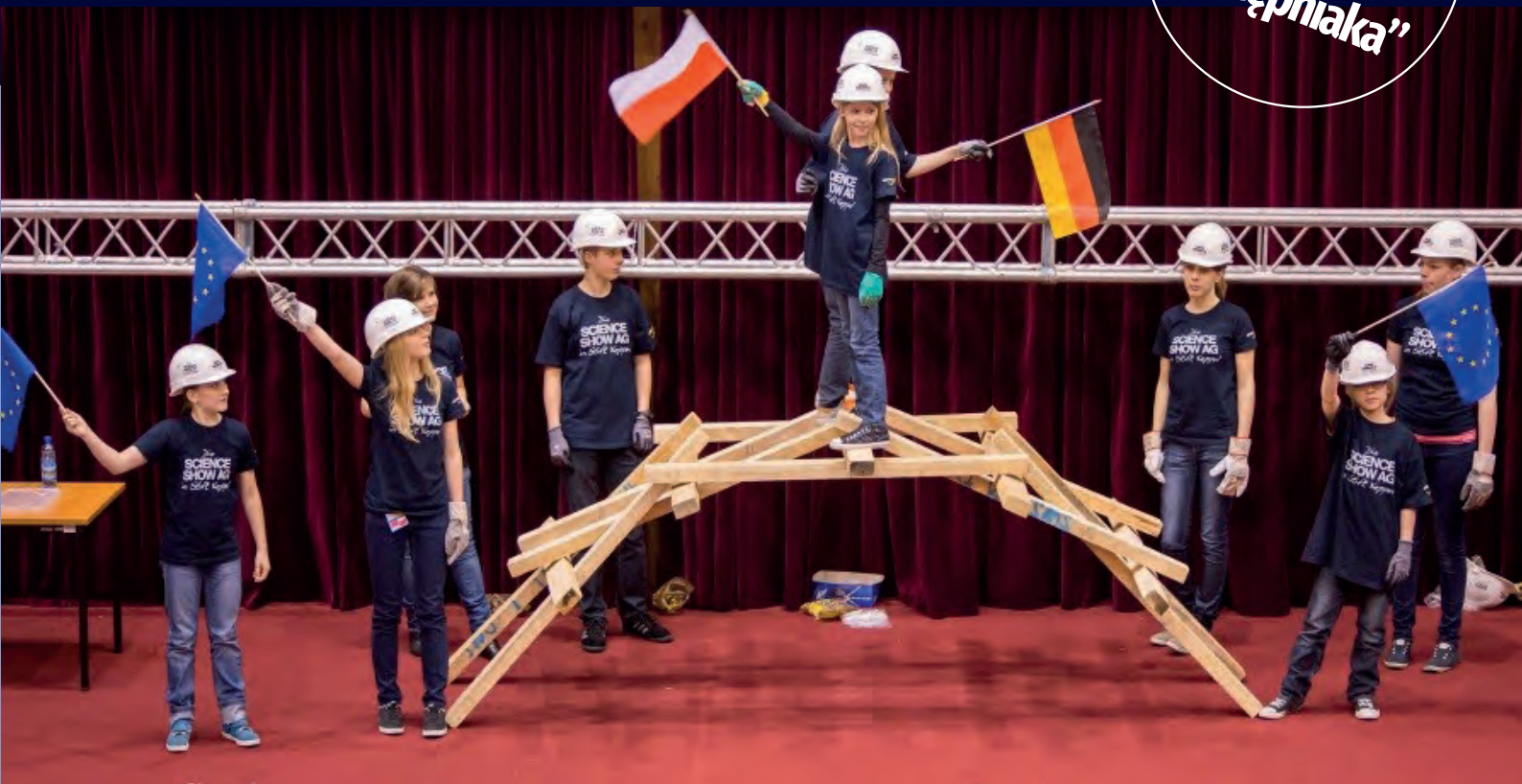
od helikonów do ekscytonów, polaronów i jeszcze dalej...

Jacek Furdyna

Wspomnienia o fizykach: Robercie Gałązce, Bernardzie Jancewiczu, Lucjanie Jarczyku

3 / 2021
TOM 72

APEL
zamiast
„wstępniaka”



nr indeksu 369721

ISSN 0032-5430



9 770032 543219

03





POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE (PTF)

www.ptf.net.pl

ZARZĄD GŁÓWNY

Leszek Sirko (prezes)
Bogdan Kowalski (sekretarz generalny)
Jan Grabski (skarbnik)
Katarzyna Chałasińska-Macukow
Dariusz Grech
Bohdan Grządkowski
Zbigniew Kąkol
Stanisław Kistryn
Mirostaw Łoś
Maiej Maška
Beata Agnieszka Pietrewicz
Józef Spałek
Aneta Szczygielska
Andrzej Ślebarski
Zbigniew Trybuła

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 Míchczyński (Gliwice)
Paweł Zajdel (Katowice)
Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce)
Józef Spałek (Kraków)
Jerzy Żuk (Lublin)
Karol Jakub Jędrzejczak (Łódź)
Katarzyna Książek (Opole)
Henryk Drozdowski (Poznań)
Gaweł Żyła (Rzeszów)
Mirostaw Brozis (Słupsk)
Mariusz P. Dąbrowski (Szczecin)
Michał Pawlak (Toruń)
Aneta Drabińska (Warszawa)
Ewa Dębowska (Wrocław)
Van Cao Long (Zielona Góra)

POSTĘPY FIZYKI (PF)

CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ

www.ptf.net.pl

czasopismo ukazuje się od 1949 roku

RADA REDAKCYJNA

Andrzej Kajetan Wróblewski (przewodniczący)
Mieczysław Budzyński
Witold Dobrowolski
Henryk Drozdowski
Józef Spałek
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 przysyłać e-mailem na adres: postepy.fizyki@gmail.com w formie przyjętej w czasopiśmie www.ptf.net.pl/pl/postepy-fizyki/ 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, podpisy do ilustracji; **ilustracje** mogą być zamieszczone w tekście, ale **należy** je również **przysłać w osobnych plikach** o rozdzielczości co najmniej 300 dpi; w **przypadku ilustracji zapożyczonych** z innych źródeł, podpis musi zawierać źródło pochodzenia ilustracji, przy czym na autorze spoczywa obowiązek uzyskania zgody na jej publikację w jego artykule w *Postęпах Fizyki*. Redakcja zastrzega sobie prawo do skracania i redagowania tekstów w tym wprowadzania niezbędnych zmian terminologicznych. Zgodnie z obowiązującym prawem autorskim autorzy będą mogli dokonać korekty autorskiej artykułu przygotowanego do druku. Opublikowanie artykułu w PF wiąże się z nieodpłatnym udostępnieniem go na stronie internetowej PTF na podstawie licencji Creative Commons.

PRENUMERATA 2021

- cena pojedynczego numeru PF wynosi 29,70 PLN (w tym 8% VAT)
- cena 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

Cena pojedynczego archiwalnego numeru PF dla numerów opublikowanych do końca 2019 roku (tom 70) wynosi 12,00 PLN brutto + koszty wysyłki.

Warunki prenumeraty PF znaleźć można na stronie internetowej PTF

www.ptf.net.pl/pl/postepy_fizyki/prenumerata-pf/

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!*

Kwartalnik PTF opatrzone podtytułem informującym, że jest to

CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ

Do naszej Redakcji wpływa ostatnio coraz mniej propozycji artykułów *stricte* fizycznych – zaczyna nam brakować materiałów do publikacji na łamach PF. Kronika oraz wspomnienia o wspaniałych fizykach nie mogą wypełniać całych numerów czasopisma...

W związku z tym gorąco zachęcam do współpracy wszystkich fizyków (tych stowarzyszonych w PTF, jak i niebędących jego członkami) i apeluję do Państwa, byście dopingowali siebie, swoich współpracowników, kolegów, podopiecznych doktorantów, magistrantów i studentów, ale też swoich przełożonych do nadsyłania do Redakcji PF tekstów dotyczących waszych prac naukowych i przeprowadzanych eksperymentów, byście dzielili się swoimi osiągnięciami naukowymi z około 700 osobową rzeszą czytelników PF.

To prawda, że PF nie są czasopismem punktowanym; pamiętajmy jednak, że w ocenie pracowników nauki bierze się też pod uwagę kompetencje z zakresu popularyzacji wiedzy, więc wydaje się, że umiejętność mówienia/pisania w języku polskim o tym, czym Państwo zajmują się na co dzień, w sposób zrozumiały nie tylko dla specjalistów w danej dziedzinie fizyki, jest bezcenna dla autorów i wielce pożyteczna dla społeczności fizyków, a przy tym pozwala realizować misję naszego periodyku.

Nasz adres: postepy.fizyki@gmail.com

Informacje dla autorów PF znaleźć można na stronie internetowej PTF:

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

Postępy Fizyki są dostępne bezpłatnie w wersji elektronicznej:

- numery bieżące PF <http://www.ptf.net.pl/pl/postepy-fizyki/>
- numery archiwalne PF
<http://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

Festiwal *Science on Stage*

G. Musiał, W. Nawroćnik _____ 2

500 lat olsztyńskiej Tablicy Kopernika

J. Chroboczek _____ 8

Półprzewodniki półmagnetyczne: od helikonów do ekscytonów, polaronów i jeszcze dalej...

J. Furdyna _____ 18

Robert Rafał Gałązka (1937–2021)

T. Story _____ 30

Bernard Jancewicz (1943–2021)

E. Dębowska, W. Cegła, L. Turko, D. Halbersztadt _____ 33

Fizyka na pierwszym miejscu! O Profesorze Lucjanie Jarczyku w pierwszą rocznicę śmierci

M. Pawłowska, R. Płaneta _____ 37

Nagrody PTF 2021 _____ 40

Kronika Polskiego Towarzystwa Fizycznego _____ 42



Most samopodpierający się
(niemiecko-polski projekt w ramach
5. SoS, Słubice 2013) (archiwum KKO)

Festiwal *Science on Stage*

Grzegorz Musiał*, Wojciech Nawrocił**

Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Streszczenie. W artykule przedstawiono genezę, cele i efekty europejskiego festiwalu *Science on Stage*, jak dotąd największej inicjatywy w zakresie edukacji naukowej, jaką kiedykolwiek podjęto w Europie, i w istocie wyjątkowej również na świecie. Mając formę prestiżowego konkursu projektów przygotowywanych przez uczniów pod okiem nauczyciela i przy relatywnie niewielkim wsparciu organizacyjnym i finansowym, festiwal ten ma duży potencjał wzbudzania wśród uczniów zainteresowania przedmiotami ścisłymi, technicznymi i przyrodniczymi, rozwijania potrzeby samodzielnego rozszerzania wiedzy i poszukiwania jej źródeł, zatem istotnie przyspiesza podnoszenie jakości nauczania tych przedmiotów. Rozszerzając działalność popularyzującą i upowszechniającą naukę o tak pożądaną aktywność własną uczniów, festiwal zapobiega powstawaniu coraz wyraźniej rysującej się luki pokoleniowej, buduje bazę społeczną dla innowacyjności, przedsiębiorczości i nowych technologii poprzez współzawodnictwo zespołów uczniów realizujących autorskie projekty. Jednocześnie festiwal buduje szeroką bazę wymiany doświadczeń pomiędzy nauczycielami z 34 państw – żeby zainteresować uczniów, najpierw trzeba zainspirować nauczycieli. Wspomaganie innowacyjnego kształcenia młodzieży ma kluczowe znaczenie dla rozwoju Polski, a za jakość tego kształcenia jesteśmy odpowiedzialni my, nauczyciele wszystkich poziomów edukacji.

Słowa kluczowe: europejski festiwal *Science on Stage*; podnoszenie jakości edukacji nauk ścisłych, technicznych i przyrodniczych; przedłużenie działalności upowszechniającej naukę; budowanie bazy społecznej dla innowacyjności, przedsiębiorczości i nowych technologii; wymiana doświadczeń między nauczycielami

Abstract. This article presents the origins, goals and effects of the European *Science on Stage* Festival, by far the largest science education initiative ever undertaken in Europe, and indeed unique in the world. Having the form of a prestigious competition of projects prepared by pupils under the supervision of a teacher and with relatively little organizational and financial support, this festival has a great potential to raise pupils' interest in science, technology and natural sciences, to develop the need to independently expand knowledge and search for its sources. Consequently is also significantly accelerates the improvement of the quality of teaching these subjects. By extending the widely supported activities popularizing and disseminating science with the desired self-activity of pupils, the festival aims to prevent the emergence of an increasingly clearly visible generation gap, builds a social base for innovation, enterprise and new technologies through the competition of teams of pupils developing their own projects. At the same time, the festival builds a broad base of exchange of experiences between teachers not only in the country, but among 34 countries, as in order to engage pupils, you first need to inspire teachers. Supporting innovative teaching of young people is of key importance for the development of Poland, and this article indicates that we, teachers of all levels of education, are responsible for the quality of this education. **Keywords:** European *Science on Stage* festival; improving the quality of education in exact, technical and natural sciences; extension of the activity disseminating science; building a social base for innovation, enterprise and new technologies; exchange of experiences between teachers

1. Wprowadzenie

Solidna wiedza z zakresu nauk przyrodniczych – biologii i geografii oraz nauk ścisłych – matematyki, fizyki, chemii i informatyki jest dzisiaj niezbędna dla rozumienia otaczającego nas świata, a w przypadku uczniów – przyszłego wyboru interesującego zawodu poszukiwanego na rynku pracy. Wiedza, ukazana interdyscyplinarnie i kontekstowo, jak też kształtowane przez nauki ścisłe i przyrodnicze modelowe myślenie i nawyk uczenia się przez całe życie są niezbędne do odpowiedzialnego wykonywania każdego zawodu, działalności społecznej czy politycznej. Wobec intensywnego rozwoju nauki, techniki i przede wszystkim dostępności informacji powstaje konieczność kreowania nowych sposobów zainteresowa-

nia młodzieży przedmiotami przyrodniczymi i ścisłymi. Wymaga to ciągłego poszerzania wiedzy i umiejętności dydaktycznych nauczycieli wymienionych przedmiotów oraz zapoznawania nauczycieli, uczniów i społeczeństwa z osiągnięciami współczesnej nauki. Stosowne rekomendacje zostały wypracowane także na forum UNESCO [1]. Niestety, nie tylko w Polsce, ale prawie w całej Europie, obserwuje się wśród uczniów systematyczny spadek zainteresowania tymi przedmiotami [2, 3]. Wprawdzie w Polsce dzięki zmianom w systemie oświaty osiągnęliśmy stabilizację ułamka uczniów zdających maturę z fizyki, ale ze względów demograficznych wciąż spada liczba maturzystów zdających egzamin maturalny z fizyki. Nieuchronnie pojawia się luka pokoleniowa nie tylko w grupie nauczycieli fizyki. Coraz częściej zdarza się, że dyrektorzy szkół usilnie poszukują nauczycieli fizyki i innych przedmiotów ścisłych. Dlatego Ministerstwo Edukacji

*ORCID: 0000-0002-5502-5825, gmusial@amu.edu.pl

**Emerytowany profesor zwyczajny na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu, nawrocił@amu.edu.pl

Narodowej jako priorytetowe zadanie wskazuje podniesienie jakości edukacji nauczania nauk ścisłych i przyrodniczych [4].

Fizyka, jak żadna inna dziedzina nauki, jest fundamentem rozwoju cywilizacyjnego XX i XXI wieku. Radio i telewizja, komputer i Internet, podróż na Księżyc, sztuczne satelity Ziemi o różnorodnym przeznaczeniu, telefonia komórkowa i lasery, szybkie samoloty i koleje, tomografy i inne narzędzia diagnostyczne i terapeutyczne w medycynie – to zaledwie niektóre spośród tysięcy osiągnięć urzeczywistnionych dzięki fizyce, bez których trudno dziś sobie wyobrazić nasze codzienne życie. A mimo to od wielu lat obserwujemy swoisty alfabetyzm: całe pokolenia ludzi nie dostrzegają znaczenia fizyki i jej ogromnego potencjału aplikacyjnego, a jeśli nawet dostrzegają, to nie traktują jej osiągnięć jako trwałego dorobku światowego dziedzictwa kulturowego.

2. Geneza i rozwój festiwalu *Science on Stage*

Aby pokazać społeczeństwu potencjał fizyki, Europejskie Centrum Badań Jądrowych (CERN) w Genewie, Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) oraz Europejskie Obserwatoria Południowe (ESO) w roku 2000 ogłosiły projekt *Fizyka na Scenie (Physics on Stage)* w ramach Europejskiego Tygodnia Nauki i Techniki. Polskie Towarzystwo Fizyczne postanowiło wziąć udział w tej akcji i powołało Krajowy Komitet Organizacyjny (KKO) ogólnopolskiego festiwalu *Fizyka na Scenie*, któremu początkowo przewodniczył prof. Tadeusz Skośkiewicz z Instytutu Fizyki PAN w Warszawie, następnie prof. Wojciech Nawrociak z Wydziału Fizyki UAM, a obecnie przewodniczącym KKO jest prof. Grzegorz Musiał również z Wydziału Fizyki UAM.

KKO podjął decyzję zorganizowania przed festiwalem w Genewie ogólnopolskiego festiwalu *Fizyka na Scenie* podczas *Dni Nauki i Kultury* w Poznaniu (18-20.05.2000) na terenie Wyższej Szkoły Oficerskiej im. Stefana Czarnieckiego w Poznaniu. Do udziału w festiwalu *Fizyka na Scenie* zaproszono wytypowanych przez KKO nauczycieli i uczniów szkół ponadpodstawowych oraz dydaktyków fizyki z wyższych uczelni. W ramach tego festiwalu miał miejsce przegląd doświadczeń fizycznych i wystąpień teatralnych przygotowanych przez uczestników z terenu całej Polski. Początki były trudne, ale udało się zgromadzić grono wybitnych popularyzatorów fizyki – nauczycieli akademickich i nauczycieli szkolnych.

Na 1. europejski festiwal *Physics on Stage*, który odbył się w Genewie (06-11.11.2000), organizatorzy zaprosili 22 kraje europejskie, w tym Polskę. Wyłoniliśmy 28 osobową ekipę, z którą pojechalśmy do Genewy. Uczestnicy tej wyprawy wzięli udział w europejskim festiwalu, na którym zaprezentowali swoje eksperymenty i przedstawienia. Byli z wizytą w CERN, gdzie zobaczyli ogromne

instalacje badawcze, i spotkali zatrudnionych tam naukowców. Dla wielu było to wielkie przeżycie, a dla nas – organizatorów wyjazdu, satysfakcja, że udało nam się wysłać naszych polskich nauczycieli w wielki świat. Organizatorzy pokryli koszty podróży i pobytu polskiej delegacji. Naszym dużym sukcesem w Genewie był wspólny występ polskich profesorów i sportowców w pokazie *The Physics of Ping Pong* oraz demonstracje *The rotating system* dr. Jerzego Jarosza i mgr Anety Szczygielskiej z Uniwersytetu Śląskiego.



Fot. 1 Przedstawiciele Uniwersytetu Śląskiego dr Jerzy Jarosz i mgr Aneta Szczygielska prezentują *The rotating system* (PoS, Genewa, 2000) (archiwum KKO)

Następny festiwal *Physics on Stage 2* odbył się w Noordwijk w Holandii w roku 2002 i był finansowany przez ESA. Poprzedził go ogólnopolski festiwal *Fizyka na Scenie 2*, który odbył się 25.01.2002 znów na Wydziale Fizyki UAM. Uczestniczyło w nim 16 nauczycieli z grupami swoich uczniów. Wyłoniono polską delegację na festiwal międzynarodowy: 21 nauczycieli licealnych, gimnazjalnych i akademickich z UAM, UJ i UŚ oraz 2 uczniów z liceum w Świnoujściu. Międzynarodowy Komitet Programowy *Physics on Stage 2* umieścił dwie polskie propozycje w programie festiwalu: prezentację *How We See the World* w wykonaniu dr. Jerzego Jarosza i mgr Anety Szczygielskiej z Uniwersytetu Śląskiego oraz warsztaty *Physics and Science Curricula* prowadzone przez prof. Wojciecha Nawrocika z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Na portalu internetowym festiwalu *Nauki Przyrodnicze na Scenie* [5]¹ przytaczamy relację nauczycielki z Kalisza – mgr Grażyny Generowicz, gdyż ta bardzo osobista wypowiedź najlepiej oddaje festiwalowe wrażenia, festiwalową atmosferę.

Natomiast ostatni festiwal w formule *Physics on Stage 3* odbył się również w Noordwijk w listopadzie 2003 roku, a jego wiodącym tematem były *Physics and Life (Fizyka i Życie)*. Festiwal ten był wspólnym projektem siedmiu europejskich organizacji badawczych skupionych w grupie

1. Historię festiwalu znaleźć można w zakładce „Poprzednie edycje”

zwanej EIROforum (European Intergovernmental Research Organisation's Forum). Do udziału w konkursie krajowym *Fizyka na Scenie 3* (06.09.2003) na Wydział Fizyki UAM zaprosiliśmy nauczycieli fizyki, biologii, chemii, lekarzy i uczniów do przedstawienia swoich propozycji dydaktycznych, interesujących pomysłów na to, jak kontekstowo pokazać związki fizyki z życiem, opowiedzieć o swoich osiągnięciach dydaktycznych mieszczących się w tematyce festiwalu *Fizyka i Życie*. Można było także zgłaszać formy literackie, artystyczne i teatralne. Konkurs zgłoszonych projektów przeprowadzony został w trzech formach: demonstracje zjawisk, działania artystyczne (głównie przedstawienia teatralne) i prezentacje multimedialne. Ten podział form występów obowiązuje we wszystkich kolejnych edycjach festiwalu, w którym wzięło udział ponad 210 nauczycieli akademickich, nauczycieli i uczniów szkół ponadpodstawowych z 37 ośrodków z całego kraju. Festiwal krajowy wyłonił polską delegację na festiwal międzynarodowy liczącą 29 osób.

Ogólnopolskie festiwale *Fizyka na Scenie* w pewnym sensie stanowiły kontynuację i uzupełnienie takich krajowych imprez popularyzujących naukę jak *Piknik Naukowy* i *Festiwal Nauki* w Warszawie, *Jarmark Fizyczny* w Krakowie, *Dni Nauki i Kultury* w Poznaniu, imprezy organizowane przez Muzeum Fizycznych Eksperymentów Historycznych w Toruniu itp.

Włączenie innych nauk do festiwalu *Physics on Stage 3* wprowadza wiele projektów przekrojowych, które podkreślają multidyscyplinarne aspekty współczesnej nauki, co zazwyczaj nie znajduje odzwierciedlenia w szkolnych programach nauczania. Kluczowym elementem programu jest przekazywanie nauczycielom aktualnego spojrzenia na to, co dzieje się w naukach ścisłych, oraz informowanie o nowych, bardzo zróżnicowanych i interesujących możliwościach kariery zawodowej dla ich uczniów. W rozszerzonej multidyscyplinarnej formule w dniach 21-25.11.2005, ponownie w CERN w Genewie, odbył się europejski festiwal *Science on Stage 1*, przed którym tradycyjnie w Poznaniu zorganizowany został w roku 2004 ogólnopolski festiwal *Nauki Przyrodnicze na Scenie 1*. Kolejny europejski festiwal *Science on Stage 2* odbył się w dniach 02.-06.04.2007 w Grenoble we Francji. Został on zorganizowany przez laboratoria ILL oraz ESRE, a sponsorowany był przez Komisję Europejską w ramach inicjatywy *European Science Teaching Initiative (ESTI)*. Delegację polską wyłonił ogólnopolski festiwal *Nauki Przyrodnicze na Scenie 2*, który odbył się w Poznaniu na Wydziale Fizyki UAM w dniach 22-23.09.2006. Zespoły zaprezentowały 12 przedstawień, 15 demonstracji i 27 prezentacji multimedialnych. Pierwszy raz w historii europejskiego festiwalu *Science on Stage* organizatorzy zaprosili do udziału, na swój koszt, uczniowską

reprezentację Polski. Na głównej scenie polscy uczniowie, pod kierunkiem swojej nauczycielki mgr Krystyny Raczkowskiej-Tomczak z LO nr V i II z Opola, przedstawili niekonwencjonalne zajęcia lekcyjne pod tytułem *Tajemnice głębin*.



Fot. 2. Doktor Jerzy Jarosz prezentuje projekt *The Cardiovascular System*, za który otrzymał wspólnie z mgr Anetą Szczygielską (oboje z Uniwersytetu Śląskiego) jedną z czterech głównych nagród na europejskim festiwalu *Science on Stage 1* (2005, Genewa).



Fot. 3. Fragment polskiego stoiska na europejskim festiwalu *Science on Stage 1* (2005, Genewa), na którym mgr Maria Dobkowska prezentuje m.in. zdjęcia z konkursu *Fotografujemy zjawiska fizyczne* (archiwum KKO)

Po zakończeniu finansowania, *Science on Stage Germany* jako Krajowy Komitet Organizacyjny własnym wysiłkiem kontynuował cykl organizując 3. europejski festiwal *Science on Stage 2008* w Berlinie. Sponsorował go głównie ING THINK (Inicjatywa Federacji Niemieckich Stowarzyszeń Pracodawców Przemysłu Metalowego i Elektrotechnicznego) i to wsparcie jest nadal kontynuowane. W 2009 roku festiwal *Science on Stage Europe* jako inicjatywa oddolna 27 Krajowych Komitetów Organizacyjnych został zreorganizowany i sfinansowany

ze źródeł alternatywnych. W międzyczasie 4. europejski festiwal odbył się w Kopenhadze w dniach 16-19.04.2011 przy wsparciu duńskiego Ministerstwa Edukacji. Natomiast począwszy od listopada 2011 roku europejskie festiwale organizowane są przez konsorcjum *Science on Stage Europe* utworzone przez 27 krajów, mające swą siedzibę w Berlinie, którego polski KKO jest członkiem założycielem [6]. Walne Zgromadzenie i Zarząd tego konsorcjum organizują środki i koordynują współpracę Krajowych Komitetów Organizacyjnych. Dzisiaj konsorcjum zrzesza 34 kraje, a kilka kolejnych przysłało swoich obserwatorów.



Fot. 4. Remigiusz Krysiak, uczeń I Liceum Ogólnokształcącego w Lesznie, delegat na europejski festiwal *Science on Stage 2*, (2007, Grenoble) prezentuje projekt *Złoto alchemików* (archiwum KKO)

Tak utrwaliła się tradycja organizowania europejskich festiwali *Science on Stage* za pośrednictwem Krajowych Komitetów Organizacyjnych. W roku 2013 we współpracy polsko-niemieckiej w Słubicach/Frankfurcie odbył się 5. festiwal *Science on Stage*, który przygotowały wspólnie *Science on Stage Polska* i *Science on Stage Germany*.



Fot. 5. Finałowa scena prezentacji projektu drewnianego mostu samopodpierającego się (wg pomysłu Leonardo da Vinci) niemiecko-polskiego zespołu uczniów (SoS, Słubice 2013) (archiwum KKO)

Ze strony polskiej wsparcie finansowe zapewniło Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W opinii

uczestników festiwalu spotkanie w Słubicach było bardzo udane. Na dowód tego na polskiej stronie internetowej SoS [5] przytaczamy fragmenty felietonu nauczycielki z Warszawy mgr Marii Dobkowskiej, uczestniczki festiwalu, zamieszczonego w czasopiśmie *Foton* [7], doskonale oddającego atmosferę tego spotkania.

6. Festiwal *Science on Stage 2015* został zorganizowany przez *Science on Stage UK* w Londynie. W 2017 roku 7. festiwal, w nowej formule, a licząc łącznie z festiwalami *Physics on Stage* – 10. jubileuszowy Europejski Festiwal *Science on Stage* odbył się w Debreczynie na Węgrzech. Od tego czasu postanowiono prowadzić łączną numerację festiwali *Physics on Stage* oraz *Science on Stage*. W 2019 roku *Science on Stage Portugal* był gospodarzem 11. europejskiego festiwalu *Science on Stage 2019* w Cascais. Warto dodać, że od 2016 roku również kraje spoza Europy dołączają do projektu *Science on Stage* jako członkowie stowarzyszeni.

Początkowo europejskie festiwale odbywały się przy udziale uczniów, niestety jednak w ramach konsorcjum od tej praktyki odstąpiono. Głównie komitety organizacyjne z Niemiec i krajów Europy Zachodniej chciały, aby spotkania te odbywały się w nauczycielskiej formule *teachers for teachers*, wyłączając przy tym nauczycieli akademickich, którzy działają obecnie jako wsparcie merytoryczne. Na naszych polskich festiwalach, w których udział bierze 250-430 osób, uczniowie zawsze są obecni i naszym zdaniem są niezwykle ważnym podmiotem takiego wydarzenia. Tak utrwaliła się tradycja organizowania w parzyste lata na Wydziale Fizyki UAM w Poznaniu kolejnych ogólnopolskich festiwali *Nauki Przyrodnicze na Scenie*, których laureaci w liczbie około 12-14 osób uczestniczą w organizowanych także co dwa lata (ale nieparzyste) w różnych miastach Europy festiwalach *Science on Stage*. Jednak z powodu pandemii krajowy festiwal 2020 został przesunięty na 2021 rok. Jak dotąd ten festiwal jest największą inicjatywą w zakresie edukacji naukowej, jaką kiedykolwiek podjęto w Europie i w istocie jest ona wyjątkowa również na świecie.

3. Efekty i potencjał festiwalu *Science on Stage*

Mając opinię prestiżowego konkursu, festiwal *Science on Stage* wzmacnia zainteresowanie uczniów przedmiotami ścisłymi i przyrodniczymi, rozwija potrzebę samodzielnego rozszerzania wiedzy i poszukiwania jej źródeł, istotnie przyspiesza podnoszenie jakości edukacji w dziedzinie nauk ścisłych, przyrodniczych, informatyki oraz upowszechnia naukę. Zapobiega również powstawaniu luki pokoleniowej, gdyż przedłuża szeroko wspieraną działalność popularyzującą i upowszechniającą naukę o bardzo pożądaną aktywność własną uczniów, zatem także buduje bazę społeczną dla innowacyjności, przedsiębiorczości i nowych technologii poprzez współzawodnictwo

zespołów uczniów realizujących autorskie projekty pod okiem nauczycieli. Poza tym festiwal SoS tworzy międzynarodowe forum wymiany doświadczeń wśród nauczycieli z 34 krajów. Wspomaganie innowacyjnego kształcenia młodzieży, w tym przede wszystkim w zakresie nauk ścisłych, technicznych i przyrodniczych ma kluczowe znaczenie dla rozwoju Polski. Za jakość tego kształcenia jesteśmy odpowiedzialni my – nauczyciele wszystkich poziomów edukacji.

Z drugiej strony, jak zaznaczyliśmy wyżej, mamy wiarygodne dane statystyczne świadczące o tym, że szkolne nauczanie przedmiotów przyrodniczych, a zwłaszcza fizyki, od wielu lat przeżywa poważny kryzys, chociaż stabilizacja zainteresowania zdawaniem na egzaminie maturalnym przedmiotów ścisłych i wyniki tych egzaminów w ostatnich kilku latach pozwalają mieć nadzieję na stopniową poprawę sytuacji [2]. Reprezentując Polskę na forum *Physics and Society* komitetu doradczego w działaniach zewnętrznych Europejskiego Towarzystwa Fizycznego (EPS) [4], jeden z autorów niniejszego artykułu (GM) dysponuje danymi potwierdzającymi, że problem tworzącej się luki pokoleniowej dotyczy niemal całej Unii Europejskiej i jest przedmiotem troski UNESCO w skali światowej [1]. Natomiast analiza wielu dokumentów dotyczących strategii rozwoju Unii Europejskiej pozwala wyrazić przekonanie o rosnącej roli nauki w procesie tworzenia nowych technologii, które są kołem zamachowym rozwoju gospodarczego. Polska i UE mają wciąż zbyt skromny udział w światowym rynku technologii w stosunku do swoich potencjałów gospodarczych. Znaczenie tego udziału podkreślają nowe strategie rozwoju naszego kraju, UE czy Stanów Zjednoczonych Ameryki. W tych strategiach jako kluczowe wskazuje się podniesienie jakości interdyscyplinarnego kształcenia kadr dla budowania gospodarki opartej na wiedzy i temu właśnie doskonale służy współzawodnictwo projektów nauczycielskich i uczniowskich w ramach ogólnopolskiego i europejskiego festiwalu *Nauki Przyrodnicze na Scenie*.

Polska należy do pięciu krajów o największym limicie uczestników festiwalu *Science on Stage*, obejmującym najpierw 12 delegatów, a obecnie 11, nominowanych przez KKO na podstawie wyników współzawodnictwa w ramach festiwalu krajowego. W 2018 r. Walne Zgromadzenie tego projektu podjęło decyzję o zmniejszeniu o jeden liczby delegatów największych krajów, a więc także Polski, z powodu stałego wzrostu liczby krajów zaangażowanych w rozwój projektu *Science on Stage* i ograniczonej możliwości zebrania w jednym miejscu rosnącej liczby uczestników festiwalu. Dzięki organizowanym przez KKO seminariom nauczycielskim podsumowującym poszczególne międzynarodowe festiwale i udostępnianiu rejestracji filmowych zarówno z festiwali krajowych i europejskich, jak też z seminariów nauczycielskich, istotnie wzrasta

zasięg wymiany pomiędzy nauczycielami doświadczeń i koncepcji optymalizacyjnych w nauczaniu przedmiotów ścisłych i przyrodniczych.

Najciekawsze i owocne dla innowacyjności są problemy na styku poszczególnych dyscyplin, stąd wynika konieczność interdyscyplinarnego nauczania przede wszystkim przedmiotów ścisłych i przyrodniczych. Dlatego dydaktyka fizyki czy chemii powinna być traktowana jako integralna część dyscypliny, oczywiście przy dbałości o jej poziom naukowy, co wbrew obiegowym opiniom nie stanowi problemu, gdyż jest wiele czasopism poświęconych dydaktyce o wysokich współczynnikach wpływu (ang. *impact factor*).

Od wielu lat szeroko finansowane na różnych poziomach są projekty upowszechniające i popularyzujące naukę takie jak Centrum Nauki Kopernik, Noc Naukowców, festiwale nauki, wykłady otwarte i prezentacje doświadczenia, klasy akademickie itp., które ukazują atrakcyjność nauk ścisłych oraz przyrodniczych, inspirują młodzież do eksperymentowania i zgłębiania ciekawych zjawisk i problemów. Należy zadać pytanie, czego brakuje, aby te wysiłki i duże nakłady na komplementarne pobudzanie aktywności własnej uczniów, ale również wymiany doświadczeń pomiędzy nauczycielami, optymalnie wykorzystać. Chodzi o to, aby młodzież zainspirowana wiedzą i umiejętnościami zdobytymi w procesie edukacji, czy dzięki działaniom upowszechniającym i popularyzującym naukę, sama podejmowała i realizowała własne projekty. Czynnikiem wzmacniającym osiągnięcie tych celów jest współzawodnictwo. Dobrą motywacją do podejmowania własnych projektów są liczne konkursy czy festiwale głównie o zasięgu lokalnym, czasami krajowym.

Czynnikiem integrującym te działania jest festiwal *Science on Stage*, jak dotąd największa inicjatywa w zakresie edukacji nauk ścisłych, technicznych i przyrodniczych w Europie. Pełne wykorzystanie jego potencjału wymaga konsekwentnego wsparcia organizacyjnego i finansowego, przy czym wsparcie finansowe rzędu 140.000 zł w skali dwóch lat jest znikomym małym w porównaniu z nakładami ze środków publicznych na projekty upowszechniające i popularyzujące naukę. Festiwal ma potencjał, by zaktywizować młodzież i znacząco podnieść efekty projektów popularyzatorskich. Rozsyłając systematycznie zaproszenia do udziału w festiwalu po całym kraju, ogólnopolski festiwal *Nauki Przyrodnicze na Scenie* gromadzi najlepsze uczniowskie projekty, często wyłonione w lokalnych konkursach. Będzie to skutkowało podnoszeniem jakości interdyscyplinarnej edukacji w dziedzinie nauk ścisłych, technicznych i przyrodniczych, co dobrze stymuluje festiwalowe współzawodnictwo. Nauczyciele jako architekci wiedzy swoich uczniów [8] mobilizują ich do podejmowania autorskich

projektów, głównie w ramach aktywności pozalekcyjnej. Uczniowie tworzą zespół, który rozdziela między członków poszczególne zadania do realizacji projektu. W ten sposób uczniowie sami poszerzają swoją wiedzę ucząc się efektywnego poszukiwania jej źródeł. Nad poprawnym przebiegiem tego procesu czuwa nauczyciel. Uczniowie udowadniają sobie i przekonują swoich rówieśników, że nauki przyrodnicze nie tylko ukazują ciekawe zjawiska, ale je objaśniają i pozwalają na prognozowanie ich dalszego przebiegu. Ponadto, starannie przygotowując swój projekt, by zakwalifikować się na festiwal, a następnie realizując go, uczniowie także uczą się prezentowania efektów swojej pracy. Są to uniwersalne kompetencje stanowiące bazę innowacyjności i przedsiębiorczości, które pozwolą im samodzielnie pogłębiać wiedzę i umiejętności, a następnie z sukcesem wejść na rynek pracy, skutecznie rozwijać działalność gospodarczą, społeczną czy polityczną.

Festiwalowe struktury organizacyjne inicjują także wymianę doświadczeń i wzajemną inspirację nauczycieli przy wsparciu akademickim, znajdowanie nowych, atrakcyjnych dla dzisiejszej młodzieży sposobów zainteresowania przedmiotami przyrodniczymi, doskonalenie umiejętności dydaktycznych i poszerzanie wiedzy nauczycieli tych przedmiotów, ale także efektywne zapoznanie uczniów, nauczycieli i społeczeństwa z osiągnięciami współczesnej nauki. Dzięki temu festiwalowemu współzawodnictwu Krajowy Komitet Organizacyjny wyłoni polską delegację na europejską edycję festiwalu *Science on Stage* obejmującego obecnie 34 kraje [6].

Jak zaznaczyliśmy wcześniej, tak zorganizowana wymiana doświadczeń i inspiracja nauczycieli (przy wsparciu akademickim) jako przykład dobrych praktyk jest szeroko udostępniana wszystkim zainteresowanym nauczycielom z całej Polski dzięki internetowej transmisji online samego festiwalu oraz rejestracji filmowych festiwalowych prezentacji, które są następnie umieszczane na portalu tegoż festiwalu [5]. Dotyczy to również seminariów nauczycielskich, na których polska delegacja podsumowuje europejski festiwal *Science on Stage*. Warto podkreślić, że prezentacje z kolejnych festiwalowych edycji stanowią bogaty materiał dydaktyczny szeroko dostępny dla nauczycieli. Ponadto na portalu projektu *Science on Stage* [5] znajdują się również inne konkursy i inicjatywy dydaktyczne oraz konkretne przykłady dobrych praktyk edukacyjnych. Z perspektywy

poprzednich jedenastu edycji widzimy, że dzięki projektowi *Science on Stage* osiągnięcie wspomnianych celów jest szybsze, efektywniejsze i stanowi istotne uzupełnienie procesu edukacji młodzieży wpisując się w realizację ministerialnych priorytetów edukacyjnych. Udział polskiej reprezentacji w europejskiej edycji festiwalu jest promocją polskich nauczycieli przedmiotów przyrodniczych. Nauczyciele uczestniczący w festiwalu otrzymują certyfikaty istotne dla ich rozwoju zawodowego. Daje się również zauważyć wyraźny rozwój zawodowy tych nauczycieli, którzy kilka razy uczestniczyli w festiwalach krajowych i następnie jako laureaci brali udział w festiwalach europejskich.

Bibliografia

- [1] Zobacz punkty 3 (c), 5 (d), 11 (c), 13 (d), 15, a przede wszystkim 14 (a), w: UNESCO's *Recommendation on Science and Scientific Research* http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=49455&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html (data pobrania 13.05.2020).
- [2] Centralna Komisja Egzaminacyjna, wyniki egzaminu maturalnego w nowej formule <https://cke.gov.pl/egzamin-maturalny/egzamin-w-nowej-formule/wyniki/> (data pobrania 14.05.2020).
- [3] *European Physical Society*, *Forum Physics and Society*, Recommendations <http://www.forumphysicsandsociety.org/recommendations> (data pobrania 14.05.2020).
- [4] Podstawowe kierunki realizacji polityki oświatowej państwa w roku szkolnym 2017/2018 <https://www.gov.pl/web/edukacja/podstawowe-kierunki-realizacji-polityki-oswiatowej-panstwa-w-roku-szkolnym-20172018> i jej elementy w latach następnych (data pobrania 13.05.2020).
- [5] *Ogólnopolski Festiwal Nauki Przyrodnicze na Scenie* <http://sons.amu.edu.pl/> (data pobrania 14.05.2020).
- [6] *Science on Stage Europe. The European platform for science teachers* <https://www.science-on-stage.eu/> (data pobrania 14.05.2020).
- [7] M. Dobkowska, *Foton* 121, 58 (2013) <http://www.foton.if.uj.edu.pl/archiwum/2013/121> (data pobrania 14.05.2020).
- [8] zob. np. Stanisław Dylak *Architektura wiedzy w szkole* Wydawnictwo Difin SA, Warszawa 2013 i pozycje tam cytowane.

500 lat olsztyńskiej Tablicy Kopernika

Jan Chroboczek*

Streszczenie. Wiosną 1517 roku Mikołaj Kopernik prowadził obserwacje ruchu Słońca, za pomocą tablicy astronomicznej znajdującej się na murze zamku w Olsztynie, w celu dokładnego wyznaczenia momentu równonocy. Tablica przetrwała do dziś, ale zakodowany w niej moment równonocy nie został odczytany przez Kopernika – dokonano tego niedawno.

Słowa kluczowe: długość roku, równonoc, Tablica olsztyńska, Kopernik

Abstract. In the spring of the year 1517 Nicolaus Copernicus carried out solar observations with help the astronomical table constructed on the wall of the Olsztyn Castle, attempting to determine a precise moment of the vernal equinox. The table is still there, but Copernicus was not able to determine the exact time of the equinox encoded therein – that was done recently.

Keywords: year length, equinox, Olsztyn Table, Copernicus

W Muzeum Warmii i Mazur na zamku Kapituły Warmińskiej w Olsztynie znajduje się Tablica astronomiczna (dalej zwana Tablicą) przypisywana Kopernikowi. Jest to prostokątny, okazałych rozmiarów wykres sporządzony na tynku ściany zamkowej. Widzimy na nim szereg krzyżujących się linii, są tam też znaki zodiaku i kilka rzymskich i arabskich cyfr (rys. 1). Jeżeli towarzyszy nam przewodnik, usłyszymy od niego, że linie biegnące skośnie wzdłuż Tablicy są śladami drogi wiązki światła słonecznego odbitego od lustra, które kiedyś znajdowało się naprzeciw Tablicy, czyli ślady „zajęczka” słonecznego puszczonego na ścianę. Wskaże też na pewno jedną z tych linii, różniącą się od reszty kolorem, podkreślając przy tym, że jest to linia prosta, a pod nią i nad nią widzimy hiperbole. Przy odrobinie dobrej woli można się z tym zgodzić. Nad tą właśnie linią widnieją litery T I C, które uważa się za pozostałość wyrazu *ÆQUINOCTIUM*¹ (równonoc w j. łac.) oznaczającego dzień zrównania dnia i nocy. Przewodnik może też powiedzieć, że Kopernik zbudował Tablicę ok. 1517 r. w celu zmierzenia okresu dzielącego dwa kolejne zjawiska równonocy, który nazywa się rokiem tropikalnym albo zwrotnikowym.

*Jan Chroboczek jest absolwentem Wydziału Fizyki UW i był pracownikiem naukowym w IF PAN do 1981r., od kiedy mieszka w Grenoble, gdzie pracował w laboratorium wysokich pól magnetycznych Instytutu Maxa Plancka, Centrum Badawczym France Telecom i ostatnio Centrum Mikroelektroniki w Grenoble (MINATEC). Obecnie zajmuje się historią nauki XVI w.

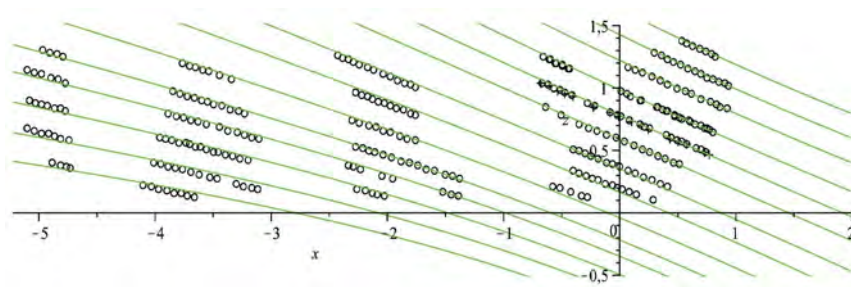
1. Litera T miałyby być resztką ligatury A&E, a litery I i C są tu pogrubione. Proponuje się też *Tropical Initium Calendarium*, tu proponujemy podobne *Trames Initii Calendarium* (ścieżka początku kalendarza), ponieważ po upływie roku tropikalnego ta ścieżka powinna nałożyć się na swoją poprzedniczkę (prawie nałożyć, ale o tym dalej w tekście).



Rys. 1. Fotografia prawej, lepiej zachowanej części tablicy

Trochę historii

Intensywne badania historii, konstrukcji i przeznaczenia Tablicy były prowadzone w pierwszej dekadzie XXI w. przez grupę specjalistów, koordynowaną przez Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie. Zostały one podsumowane w zbiorze artykułów wydanym w 2013 r. [1]. Znajdujemy tam opis Tablicy i jej historię oraz hipotezy dotyczące jej konstrukcji i użyteczności dla badań astronomicznych. Wśród opublikowanych tam artykułów jest praca Jacka Szubiakowskiego [2] dotycząca konstrukcji modelu matematycznego dla obliczania drogi plamki światła słonecznego na Tablicy w ciągu szeregu dni przed i po równonocy wiosennej 1517 r. Przez odpowiednie dobranie wartości parametrów geometrycznych Tablicy udało się otrzymać bardzo dobrą zgodność wyników rachunku z danymi zarejestrowanymi na Tablicy. Widać to na rys. 2, gdzie wyniki obliczeń ruchu plamki światła słonecznego rzucanego na Tablicę są zaznaczone liniami, a wyniki obserwacji za pomocą małych kóelek.



Rys. 2. Porównanie wyników obliczeń na podstawie danych z pracy [2] (linie) z wynikami obserwacji (kółka)

Te obserwacje były prowadzone w odstępach pięciodniowych w okresie zaczynającym się miesiąc przed równonocą i kończącym się miesiąc po tym zdarzeniu². W publikacji [1] znajduje się również praca Jadwigi Dzieciatkowskiej przedstawiająca wyniki analizy barwników użytych na Tablicy. Okazało się, że mają one skład chemiczny typowy dla włoskiego malarstwa renesansowego XVI w., co dopuszcza datowanie Tablicy na jego początek.

Jednym z celów badań towarzyszących konserwacji Tablicy było dostarczenie argumentów potwierdzających, że konstruktorem Tablicy był Kopernik i że to on zebrał dane przedstawione na Tablicy, w okresie przejścia Słońca przez punkt równonocy wiosennej w 1517 r. Było to niezbędne, bo w pismach Kopernika nie znaleziono dotąd żadnej wzmianki o Tablicy. Za autorstwem Kopernika przemawia jednak kilka faktów jego biografii, przede wszystkim jego obecność na zamku olsztyńskim w latach 1516–1521 (z małą przerwą w 1519) oraz jego zaangażowanie w prace nad reformą kalendarza juliańskiego, które wymagały dokładnej znajomości długości roku. Tablica jest skomplikowanym instrumentem astronomicznym, zatem jej konstruktor musiał posiadać rozległą wiedzę matematyczną i niepospolity talent wynalazczy. Nikt, tam i wtedy, nie mógł być twórcą Tablicy poza Mikołajem Kopernikiem. Jego autorstwo nie jest obecnie kwestionowane, ale dotąd nie wiadomo, czemu miały mu służyć obserwacje prowadzone w Olsztynie w pobliżu równonocy 1517 r.

Równonoc wiosenna – jeden z czterech magicznych punktów ekliptyki

Dzień równonocy wiosennej był celebrowany od zarania dziejów jako pierwszy dzień wiosny, ale nie miał tak dramatycznej konotacji jak przesilenie letnie i zimowe,

kiedy dni zaczynają się w sposób zauważalny skracać czy wydłużać. Było to szczególnie wyraźne dla ludów północy i stąd wzięły się tradycyjne Noce Kupały u Słowian czy Midsommarvaka u Skandynawów. Natomiast dla mieszkańców krajów południa, gdzie upał bywa latem nieznośny, powstała potrzeba orientacji budowli, tak aby rzucały cień w odpowiednim kierunku, czy miały odpowiednio usytuowane wejścia i okna. Pojawiła się też sztuka konstrukcji zegarów słonecznych – obserwowano drogę cienia rzucanego na płaszczyznę przez gnomon, którym mógł być prosty pręt odpowiednio ustawiony na płaskiej tarczy czy ścianie. Wysokie, pionowe gnomony, czy raczej obeliski, pozwalały dokładnie śledzić drogę Słońca na nieboskłonie i wówczas zaobserwowano, że czubek ich cienia kreśli krzywe linie na Ziemi, ale dwa razy w roku kreśli prostą prostopadłą do kierunku północy³. Dzieje się tak w dniach równonocy wiosennej i zimowej. Dlaczego?

Otóż w dniu równonocy oś Ziemi leży w płaszczyźnie prostopadłej do linii łączącej jej środek i środek Słońca. Zatem połowa ziemskiego globu zwrócona ku Słońcu jest wtedy równomiernie oświetlona, a na jego przeciwległej stronie panuje noc. Pół obrotu Ziemi zmienia tę sytuację na odwrotną, poprzednio nieoświetlona część Ziemi wychodzi na światło słoneczne, a na przeciwnej półkuli zapada ciemność. Obserwator na każdej szerokości geograficznej, (oznaczymy ją przez φ dla dalszej dyskusji), zaobserwuje wtedy, że noc i dzień trwają po 12 godzin, a światło słoneczne pada na Ziemię w płaszczyźnie lokalnego równoleżnika. Azymut wschodu Słońca wynosi wtedy 90° (wschód, E), a zachodu – 270° (zachód, W). Jak łatwo pokazać, płaszczyzna równoleżnika obserwatora jest nachylona w stosunku do jego horyzontu pod kątem $\chi = (90^\circ - \varphi)$, zatem $\chi = 90^\circ$ na równiku, a 37° w Olsztynie (gdzie $\varphi = 53^\circ$) i $\chi = 0$ na biegunie.

Uprościmy teraz geometrię Tablicy, ustawiając ją pionowo na linii E-W i położmy w pewnej od niej odległości

2. Jeden stopień długości ekliptycznej odpowiada interwałowi czasowemu $365,25/360 = 1,0146$ dnia/stopień. Zatem 5 stopni długości ekliptycznej odpowiada interwałowi czasowemu ok. 5,073 dnia. W większości przypadków dopuszczalne jest zaniedbanie części ułamkowej tej liczby. Dlatego w tekstach dotyczących Tablicy rozstaw linii jest podawany jako pięciodniowy lub pięciostopniowy (w zależności od kontekstu).

3. Prawdopodobnie za pomocą gnomonów orientowano budowle już w starożytności. Na przykład piramidy w Egipcie mają kwadratowe podstawy, o dwu bokach zorientowanych zgodnie z linią E-W. Dostatecznie wysokie gnomony dawały doskonałą precyzję takiej orientacji.

małe horyzontalne lusterko⁴. Wiązka światła słonecznego odbitego od niego będzie padała na Tablicę przez cały dzień równonocy pod kątem ($90^\circ - \varphi$); innymi słowy, będzie leżała w płaszczyźnie tak nachylonej do Tablicy. Z elementarnej geometrii wiadomo, że linia przecięcia dwu płaszczyzn jest prostą. Taka też będzie linia przecięcia płaszczyzny Tablicy z płaszczyzną, w której porusza się wiązka odbitego światła słonecznego – nasz „zajęczek”. W dodatku, ponieważ brzeg Tablicy ma orientację E-W, na jej powierzchni zobaczymy poziomą linię o takiej samej orientacji. Kiedy Tablicę ustawimy pod innym kątem, linia przecięcia odchyli się od horyzontalnej, ale nadal pozostanie prostą. To obserwuje się na Tablicy.

Pojawienie się linii prostej wśród śladów przesuwania się plamki świetlnej na Tablicy sygnalizuje dzień równonocy wiosennej lub jesiennej, zatem z różnicy czasu pomiędzy tymi zdarzeniami można obliczyć długość roku. Wiadomo, że Kopernik brał udział w pracach nad kalendarzem zainicjowanych przez V Sobór Laterański (1512–1517). Jednak jeszcze przed przeniesieniem się do Olsztyna wysłał raport o swoich rezultatach do Watykanu⁵. Prawdopodobnie Kopernik wykorzystał obserwacje położenia gwiazd stałych, robione za pomocą prostych przyrządów optycznych⁶. Kopernik prowadził te obserwacje we Fromborku, a może wcześniej, ponieważ pisał o nich już w 1512 r. w *Komentarzyku*⁷, podając długość roku z dokładnością do 1/6 godz. (10 min). Jednak to Słońce rządzi porami roku i nadaje rytm zmianom ziemskiej przyrody, dlatego rok zwrotnikowy jest dla nas tak ważny. Pomiar jego długości, wykorzystujący pojawienie się dwu kolejnych linii prostych na Tablicy, mógłby być obarczony znacznym błędem, rzędu co najmniej jednego dnia, ponieważ linieienne są tam trasowane w odstępach pięciodniowych. Kopernik nie mógł

być zatem zainteresowany przyrządem, który określał długość roku mniej precyzyjnie niż inne, prostsze instrumenty astronomiczne. Można również przypuszczać, że problemami kalendarzowymi przestał się interesować z chwilą wysłania do Watykanu swojego raportu.

Czemu mogła służyć Tablica?

Nie mamy jasnej odpowiedzi na to pytanie. Mówi się, że Tablica mogła być zegarem słonecznym, regulującym życie zamku, bo na niej są też widoczne linie godzinowe. Ta sugestia musi być odrzucona, gdyż Tablica jest umieszczona w mało widocznym miejscu, a przy tym w pewnych porach dnia znajduje się w cieniu wieży zamkowej. Mówi się też, że Tablica mogła służyć Kopernikowi jako pomoc w poglądowych prelekcjach na temat jego badań astronomicznych dla dostojników odwiedzających zamek w Olsztynie z urzędu lub może z chęci poznania sławnego już wtedy uczonego. Wydaje się to mało prawdopodobne, bo Kopernik unikał rozgłosu, poza tym pierwsze dekady wieku XVI to lata wojny w Prusach, która ograniczała tego typu kontakty.

Czy budowa Tablicy, wymagającej od konstruktora rzetelnej znajomości astronomii sferycznej, niełatwej w użyciu i w końcu kosztownej, mogła być inspirowana jakimiś przesłankami naukowymi ważnymi dla jej konstruktora? Wiadomo, że w okresie administrowania zamkiem w Olsztynie Kopernik pracował nad rękopisem *De Revolutionibus* (dalej DR). W styczniu roku 1521, w czasie wojny Polski z Zakonem zabrakło mu nawet papieru, więc prosił o dosłanie mu go z Elbląga razem z ładunkami do „hakownic”. Czy na tym etapie redakcji DR Kopernik mógł jeszcze potrzebować jakichś danych z obserwacji, w szczególności takich, które dotyczyły równonocy? Okazuje się, że tak i to zauważyli już pierwsi badacze olsztyńskiej Tablicy.

Na czym spoczywają bieguny osi ziemskiej?

Takie pytanie postawił sobie Kopernik w *Komentarzyku* i pozostawił je bez odpowiedzi. Pojawiło się ono dlatego, że wyjaśnienie obserwacji pozornego ruchu nieba i planet oparł Kopernik na złożeniu trzech ruchów Ziemi: dobowego, orbitalnego i trzeciego ruchu zboczenia⁸. Obrót dobowy wyjaśniał prosto następstwo dnia i nocy, a ruch orbitalny był zgodny z obserwacjami astronomicznymi. W szczególności wyjaśniał wsteczny ruch planet obserwowany na tle firmamentu w pewnych okresach roku. Wynikał on ze względnego ruchu Ziemi i obserwowana-

4. Chodzi o to, żeby rozmiary katowe lusterka oglądanego z Tablicy były porównywalne z rozmiarami katowymi tarczy słonecznej. Większe lusterko daje jaśniejsze, ale bardziej rozmyte „zajęczki” na ekranie. Położenie takiego lusterka było parametrem dopasowania w programie komputerowym dla symulacji ruchów plamki światła na Tablicy.
5. Raport Kopernika nie przetrwał do naszych czasów i nie wiadomo też, czy obserwacje Kopernika zostały spożytkowane dla opracowania nowej wersji kalendarza zwanego gregoriańskim od bulli papieża Grzegorza XIII z 1582 r., która wprowadziła ten kalendarz w życie, z obowiązkiem stosowania go w Kościele. Było to prawie 40 lat po śmierci Kopernika!

6. Tak zdefiniowany rok nazywa się rokiem gwiazdowym (syderyalnym, od łac. *sider* (gwiazdozbiór)). Kopernik wiedział, że długość roku tropikalnego ulega zmianom i dlatego proponował alternatywną miarę roku wykorzystującą pozycje gwiazd stałych, wybierając dla swoich obserwacji gwiazdę Spica (Kłos) w gwiazdozbiórze Panny. [*Kłos Panny* to tytuł pięknej książki Ludwika Hieronima Morstina o Koperniku.]

7. W *Komentarzyku* Kopernik przedstawił zarys swojej teorii heliocentrycznej [3].

8. Oś Ziemi jest nachylona w stosunku do jej orbity (ekliptyki) pod kątem ok. $23,5^\circ$ i zachowuje niezmiennie położenie w przestrzeni jak gigantyczny żyroskop. Nachylenie to (łac. *inclinatio*) we współczesnej polskiej terminologii nazywamy inklinacją. Kopernik używał terminu zboczenie, który tu zachowujemy.

nych planet⁹. Było to nowe, ale wyobrażalne. Natomiast nie można było pojąć, dlaczego oś Ziemi,

„...zajmując wobec firmamentu położenie niezmiennie, wskazuje stale na te jego punkty, które nazywane są biegunami ekliptyki [...] pod kątem wynoszącym w bieżącym stuleciu 23 stopnie i pół...”

jak pisał Kopernik w *Komentarzyku* [3]. W systemie heliocentrycznym oś Ziemi powinna zachowywać niezmiennie położenie w stosunku do Słońca, zatem zataczać w ciągu roku pełne koło wokół biegunów ekliptyki i jak zapalka przyklejona ukośnie do brzegu płyty gramofonowej, zmieniać swoją orientację w przestrzeni. Gdyby tak było, nie mielibyśmy pór roku, gdyż Słońce oświetlałoby wtedy Ziemię jednakowo w każdym punkcie swojej orbity. Zatem Ziemia musi krążyć wokół Słońca z osią obrotu, która „zajmuje w stosunku do firmamentu położenie niezmiennie”, jak to ujął Kopernik. Ponieważ fizyka jego epoki nie dawała możliwości wyjaśnienia tego zjawiska, Kopernik po prostu skompensował ruch osi Ziemi, pochodzący z ruchu po orbicie, „ruchem zboczenia Ziemi” (*motus inclinationi*) w przeciwnym kierunku. W rozdziale XI księgi I DR Kopernik wyjaśnia [5]:

„ruch środka [Ziemi] i ruch zboczenia zniewalają oś ziemską do pozostania trwale w tym samym nachyleniu, jak i w równoległym zawsze położeniu”.

Trzeba pamiętać, że teorie układu planetarnego Ptolemeusza i Kopernika jedynie opisują ruchy ciał niebieskich, lecz nie wyjaśniają ich przyczyn. Ciała niebieskie zostały ręką Stwórcy osadzone na orbitach i miały na nich pozostać, aż do momentu, kiedy Jego ręka wstrzyma mechanizm Wszechświata. Wydaje się, że Kopernik tylko jeden raz odstąpił od zasady nie wdawania się w przyczynowość zjawisk astronomicznych, właśnie w opisie „ruchu zboczenia”. Mianowicie w *Komentarzyku* [3] napisał:

„Na czym spoczywają bieguny osi Ziemskiej, nie do mnie należy dociekać, taki sam objaw bowiem dostrzegam w rzeczach znacznie podrzędniejszych, choćby w tym, że pręcik żelazny potarty magnesem usiłuje przybrać zawsze ten sam kierunek w stosunku do stron świata.”

Kopernik dopuszcza zatem możliwość zachowania orientacji osi ziemskiej z jakichś innych powodów, posługując się przykładem kompasu. Szczęśliwie nie rozwija tego konceptu dalej, bo żył u progu epoki wielkich podróży, kiedy zdano sobie sprawę z różnicy pomiędzy biegunami geograficznymi i magnetycznymi Ziemi. W je-

zyku współczesnej fizyki powiedzielibyśmy, że oś ziemska ma stałą orientację w inercyjnym układzie odniesienia, który Kopernik wiąże z „firmamentem”, a niezmiennosc orientacji osi Ziemi w przestrzeni tłumaczymy regułą zachowania momentu pędu wirującej bryły. Tak też wyjaśniamy stabilność orientacji wrzeczona żyroskopu czy osi kręcącego się bąka¹⁰. Tego wszystkiego Kopernik nie wiedział, dlatego postulował, że [4]

„Oba bieguny Ziemi wykonują małe kółka wokół biegunów ekliptyki, których ruch ma okres prawie całoroczny, a więc z obiegiem Ziemi prawie jednakowy.”

To, że okres ruchu biegunów Ziemi jest prawie całoroczny nie jest zwrotem retorycznym. Tutaj Kopernik ma na myśli rok zdefiniowany jako czas dzielący dwie kolejne obserwacje momentów równonocy¹¹, a te można było precyzyjnie oznaczyć, jest to bowiem moment, w którym płaszczyzna pozorowanej drogi Słońca na firmamencie (ekliptyki) przecina się z płaszczyzną równikową Ziemi, z czego wynikają pewne proste relacje geometryczne, jak to było wspomniane wyżej. Długość roku określona na podstawie momentów równonocy może być zatem obliczona dokładnie. Kopernik notuje, już w *Komentarzyku*, że oszacowania długości roku zwrotnikowego, podawane przez kilku antycznych autorów, mają znaczny rozrzut. Cytuje tu wartości uzyskane m.in. przez Hipparcha (ok. 190 p.n.e.) i Ptolemeusza (100–160 n.e.) i porównuje je z długością roku zwrotnikowego w jego stuleciu. W końcu konkluduje, że rozrzut tych danych nie pochodzi z błędów pomiarowych, lecz jest rzeczywisty i jest skutkiem cofania się punktów równonocy. Później, już w DR, napisze, że punkt równonocy przesunął się od czasów Ptolemeusza do jego epoki o 21°, co daje prędkość zmiany równą około 50,4"/rok (znak " to sekundy kątowe). Jest to bardzo bliskie obecnie przyjętej wartości 50,3"/rok. Cofanie się punktów równonocy zmusiło Kopernika do zredukowania nieco okresu „trzeciego ruchu Ziemi” w stosunku do okresu ruchu orbitalnego. Stąd wzięło się cytowane wyżej stwierdzenie Kopernika, że okres „trzeciego ruchu” jest „prawie równy” okresowi ruchu orbitalnego. W szkole nie dyskutuje się „trzeciego ruchu”, ponieważ jest to trochę zawile, a poza tym stabilność osi kręcącej się kuli jest teraz intuicyjnie zrozumiała.

Cytat dotyczący Ptolemeusza został wzięty z rozdziału XI księgi I DR [4], ale w kilku dalszych rozdziałach księgi III Kopernik rozwija dalej dyskusję „trzeciego ruchu”, zwracając uwagę na jego nieregularności. To zjawisko, które teraz łączymy z oscylacjami precesji osi ziem-

9. W obserwowanych torach planet widoczne są niekiedy pętle, tzn. przez pewien czas planeta cofa się na tle gwiazd firmamentu. Ptolemeusz wyjaśnił to przez złożenie dwóch kolistych ruchów planet: po „epicyklach” i orbitalnego ruchu ich środka po okręgu zwanym deferentem. Podobne ruchy wykonują punkty okręgu obracającego się koła.

10. Bąk mógłby być inspiracją dla Kopernika dla wyjaśnienia stałości orientacji osi Ziemi i jej precesji (co jest bardziej skomplikowane). Bąk był znany od zarania dziejów, ale być może w dzieciństwie Mikolaja toruńskiego dzieci się nim nie bawiły.

11. Patrz przypis 6.

skiej, pojawia się wtedy, kiedy obrotowy ruch bryły zostaje zaburzony. Takie zachowanie wykazuje kręcący się bąk potrącony przez nieuważnego obserwatora, a w przypadku Ziemi jest to skutek oddziaływań grawitacyjnych z Księżycem lub planetami. Nie będziemy tutaj wchodzić w szczegóły tych rozważań, warto jednak podkreślić, że Kopernik był pierwszym astronomem, który je opisał, jak się okazuje, prawidłowo. Jednak sama istota „trzeciego ruchu” Ziemi pozostawała dla niego ciągle zagadką, co więcej była wyzwaniem i dlatego Kopernik poświęcił temu problemowi sporo miejsca w swoich pismach. Może uważał, że zrozumienie przesuwania się punktów równonocy mogłoby być kluczem do rozwiązania zagadki „trzeciego ruchu”? Czy w tym mogła mu pomóc Tablica?

Znowu musimy taką hipotezę odrzucić, bo Kopernik widział, jak wolny jest ruch równonocy i nie mógł się spodziewać, że dane, które mógłby uzyskać w ciągu kilku czy nawet kilkunastu lat obserwacji, mogłyby wnieść coś istotnie nowego i posunąć naprzód interpretację „trzeciego ruchu Ziemi”. Zauważmy, że dla obliczenia prędkości ruchu momentów równonocy Kopernik musiał sięgnąć do danych aż sprzed półtora tysiąca lat, tj. do *Almagestu* Ptolemeusza.

Rzecz o Tablicy astronomicznej na zamku w Olsztynie

Tablicę oglądamy teraz stojąc na krużganku północnego skrzydła olsztyńskiego zamku. Krużganek pochodzi z ostatnich dekad XIV wieku, kiedy zamek przebudowano i umocniono. Tam Kopernik umieścił swoją astronomiczną tablicę. Jej lokalizacja była podyktowana bliskością jego komnaty i bezpieczeństwem, umieszczona była bowiem pod dachem, który osłaniał ją od deszczu i śniegu w zimie, a w lecie ocieniał na tyle, aby słoneczny „zajaczek” był łatwy do zaobserwowania. Tablica została wykonana na tynku muru najstarszej i najsolidniejszej części zamku, na powierzchni ściany jego północnego skrzydła, ale od strony dziedzińca, gdzie tylko zabłąkane kule mogły jej zagrażać. Słowem Kopernik zadbał o długowieczność swojej Tablicy. Czy zrobił to tylko dla swoich własnych celów, czy też myślał o pozostawieniu zapisu obserwacji ruchu Słońca z jego epoki, dla porównań z obserwacjami, które w przyszłości mogliby chcieć wykonać przyszli astronomowie, podobnie jak sam zrobił używając danych Ptolemeusza? Może tak było, a do tego należało zapewnić Tablicy jak najdłuższe życie.

Ten astronomiczny instrument z cegły, wapna i zaprawy murarskiej przetrwał dzięki swojej solidności i przeżył nie tylko dwie wojny światowe, ale też kilka prymitywnych prób restauracji. W 1676 r. północne skrzydło zamku przeszło przebudowę, podczas której Tablica została „oczyszczona”, następnie pod koniec

XVIII w. zamalowano ją wapnem. Potem nikt się nią specjalnie nie interesował, a dopiero w latach 40. XX w. Ernst Zinner, profesor astronomii w bawarskim Bambergu, poświęcił Tablicy kilka publikacji. Po wojnie okazało się, że Tablica znacznie ucierpiała. Dopiero w latach 1956-1957 grupa kierowana przez Bohdana Marcinięgo przeprowadziła jej konserwację. Tablica została oczyszczona z nałożonych warstw tynku i farby, usunięto z niej elementy dodane we wcześniejszych naprawach czy rekonstrukcjach. Jak widać na rys. 1, obszary Tablicy pozbawione podłoża nie zostały uzupełnione, zgodnie z nowoczesnymi zasadami konserwacji zabytków.

W 2006 r. stworzony został międzydyscyplinarny zespół, złożony z historyków, astronomów, materiałowców i konserwatorów, dla dokładnego zbadania Tablicy. Wyniki ich prac zostały w 2013 r. zebrane w cytowanej już książce [1].

Właściwie nie wiadomo, jak przetrwała wiedza o istnieniu Tablicy, która niekiedy była pokrywana tynkiem czy farbą. Nam się wydaje to szczególnie barbarzyństwem, ale nasz pietyzm w stosunku do zabytków historycznych to rzecz względnie nowa. W XVI w. zamek był siedzibą komornictwa warmińskiego i obok Lidzbarku jedną z rezydencji biskupów Warmii. Z tego okresu pochodzi np. piękne sklepienie dawnej kaplicy zamkowej. Prawdopodobnie już na początku XVII w. Tablica zniknęła z pola widzenia – Jan Brożek, matematyk i astronom Akademii Krakowskiej nie zadał sobie trudu odwiedzenia Olsztyna w czasie poszukiwań śladów Kopernika na Warmii w 1618 r. Widocznie dwaj fromborscy kanonicy doradzający mu w wyborze celów warmińskiej kwerendy uznali, że nie ma tam czego szukać. W połowie XVII w. Warmia była okupowana przez wojska szwedzkie, ale zamek olsztyński nie jest wymieniany w tym kontekście. Po rozbiorze Rzeczypospolitej w 1772 r., zamek znalazł się pod pruskim zarządem majątków ziemskich i znajdowała się w nim także siedziba parafii ewangelickiej. Z tego okresu pochodzi pierwsza pisemna wzmianka o Tablicy. Mianowicie, część mieszkalną pierwszego piętra zajmował w latach 1783-1797 pastor ewangelicki, Heinrich Reinhold Hein, który okazał się być historykiem amatorem. W 1796 r. publikuje w *Preussisches Archiv* artykuł dotyczący pamiątek po Koperniku w zamku olsztyńskim. Hein wyjaśnia, dlaczego Kopernik znalazł się w Olsztynie i wymienia kilka przedmiotów w swoich komnatach, które miały tam pozostać po Koperniku. Nie jest to zbyt wiarygodne, natomiast nas interesuje opis pozostałości po zegarze słonecznym umieszczonym na ścianie zewnętrznej jego komnaty. Pastor objaśnia konstrukcję zegara wykorzystującą projekcję światła słonecznego przez dwa lustra, których pozycje zgaduje, zwracając przy tym

uwagę, że w pewnych okresach dnia projekcja światła na ścianę krużganka nie była możliwa. Dodaje, że w czasie jego pobytu w Olsztynie zmieniono obramowanie okna (pewnie w krużganku) i przy tej okazji usunięto dziurę, gdzie znajdowało się małe lustro oraz pisze, że „cyfry zegara [...] jako szpecące białą ścianę zostały wapnem zatarte”. Innymi słowy, gdzieś pomiędzy rokiem 1783 a 1797 Tablica została pokryta warstwą zaprawy wapiennej.

Następną wzmiankę o Tablicy znajdujemy w *Rozprawie o Koperniku* Jana Śniadeckiego opublikowanej w 1803 r. w *Rocznikach Warszawskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk*. W dodatkach do *Rozprawy...* Śniadecki cytuje list dwóch członków Towarzystwa, panów Czackiego i Molskiego, którzy dla „zebrania pamiątek zgasłej ojczyzny” odwiedzili zamek olsztyński w 1802 r. Zostali tam przyjęci przez luterańskiego pastora w komnacie, w której kiedyś mieszkał Kopernik. Opis znajdujących się tam pamiątek po Koperniku jest ubogi, a zwłaszcza rozczarowuje nas skąpość informacji o Tablicy. Pastor powiedział, że kilka pamiątek po Koperniku jego poprzednik zabrał, aby je „uchronić przed wszystko-mielącym zębem czasu”. Poza tym kazał „sześć lat dopiero [w 1796 r.] kilkunastoma cegłami dziurę w ścianie założyć”, przez którą „promienie słoneczne były wpuszczane do punktów drugiej izby”. Autorzy listu dodają „Uwaga, był to zapewne Gnomon Astronomiczny, który sobie w swém mieszkaniu sporządził Kopernik”. Zatem gnomonowi panowie Czacki i Molski nie zobaczyli, a pastor też go pewnie nigdy nie widział, bo jego opis geometrii gnomonu jest bardzo niejasny. Ten poprzednik, o którym pastor mówił, to był właśnie Henryk Hein. Wydaje się jednak, że to nie on kazał zamurować dziurę w ścianie i przy okazji ładnie odmalować mur krużganka, łącznie z Tablicą, ale ktoś z sąsiedniego biura Ostpreussenslandswirtschaftsregierung. Nie będziemy tego nigdy wiedzieć, natomiast po wizycie Czackiego i Molskiego (1802), nie było w polskiej literaturze znaczących publikacji o Tablicy, aż do naszych czasów. Co jest intrygujące, o Tablicy nigdy nie wspominał Antoni Ludwik Birkenmajer, jeden z najważniejszych badaczy spuścizny Kopernika. Może nie wierzył w jej autentyczność?

Tabula revista

W roku 2018, w 500. rocznicę konstrukcji Tablicy, ukazały się dwie prace na jej temat, nareszcie w czasopiśmie o międzynarodowym zasięgu ([7] w maju, a [8] w październiku).

Pierwsza z nich podsumowuje prace nad Tablicą prowadzone w latach 2013-2018, głównie na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie. Punktem wyjścia tych prac było zaproponowanie, na podstawie pomiarów istniejących elementów, realistycznego modelu układu

optycznego Tablicy i podanie jego parametrów geometrycznych oraz zaproponowanie elementów hipotetycznych. Przez odpowiedni wybór wartości parametrów układu udało się uzyskać bardzo wysoką zgodność obliczeń z wynikami obserwacji dziennego ruchu obrazu Słońca na Tablicy (rys. 2).

Okazało się przy tym, że linieienne na Tablicy są najwierniej oddane przez linie proste, a nie przez odpowiednio zorientowane hiperbole przewidziane przez teorię. Dokładniej, linie te składają się z prostoliniowych segmentów, będących prawdopodobnie wynikiem interpolacji liniowej punktów – pozycji plamki światła słonecznego naniesionych na Tablicę. Towarzyszy temu uwaga, że na powierzchni Tablicy nie ma śladów fizycznego zaznaczania wyników obserwacji. Analiza warunków oświetlenia Tablicy pokazała również, że ciągły zapis pozycji plamki światła na Tablicy nie był możliwy, mimo że zachowane fragmenty linii dziennych dają się gładko przedłużyć w linie ciągle.

W bibliografii publikacji dotyczących Tablicy zestawionej przez Pawła Sobotko [6] nie można znaleźć prac na temat obliczania momentu równonocy z danych Tablicy. Przypomnijmy, że w języku astronomii moment równonocy to moment przecięcia ekliptyki z płaszczyzną równika niebieskiego. Obserwatorzy ułożeni na różnych długościach geograficznych odnotują moment tego zjawiska w ich lokalnym czasie, zatem moment równonocy może dla nich wypaść w nocy. Jest to oczywiste, ale warto ten punkt podkreślić, w języku potocznym bowiem mówi się raczej o dniu równonocy niż o momencie równonocy.

Moment równonocy określano w epoce Kopernika z pomiaru wysokości Słońca (χ) w momencie jego górowania, to jest w momencie „przejścia” Słońca przez lokalny południk. Do tego służył prosty instrument, którego zasadniczą częścią była listwa pozwalająca celować w obiekt niebieski. Górny jej koniec był zamontowany na zawiasie przymocowanym do pionowej podpory, a drugi koniec listwy ślizgał się po skali stanowiącej ćwierć koła (stąd nazwa tego instrumentu – kwadrant) z podziałką w stopniach od 0° (horyzont) do 90° (zenit)¹². Tak mierzony kąt pomiędzy położeniem ciała niebieskiego a płaszczyzną horyzontu nazywa się jego deklinacją (dalej δ). Przy starannym ustawieniu kwadrantu na linii lokalnego południka (N-S) wysokość

12. Replikę kwadrantu Kopernika można obejrzeć w Muzeum Warmii i Mazur na zamku olsztyńskim. Instrumenty astronomiczne, których używał Kopernik zostały nabyte przez Tycho de Brahe i były ozdobą jego obserwatorium w Uranienborgu. Tycho zamawiał też instrumenty astronomiczne w Gdańsku (patrz *Machina Coelestis* Heweliusza) W Uranienborgu skonstruował olbrzymi, stąd precyzyjny, kwadrant ścienny. Instrumenty kopernikańskie pewnie zniszczyły razem z Uranienborgiem, kiedy Tycho opuścił Danię.

kątowa górującego Słońca w momencie równonocy będzie równa $\chi = (90^\circ - \varphi)$, jak wspomniano wyżej. Jednak ta relacja jest prawdziwa wyłącznie dla obserwatorów, którzy szczęśliwym zbiegiem okoliczności znajdowali się na południku leżącym w płaszczyźnie orbity Ziemi, bo tam górowanie Słońca zbiega się z lokalnym południem. Dla innych obserwatorów obowiązuje równanie biorące pod uwagę niezerową deklinację Słońca w momencie obserwacji w okolicach lokalnego południa, gdyż dla ich szerokości geograficznej deklinacja Słońca mogła być niezerowa. Dodając δ do prawej strony cytowanego równania, otrzymujemy, $\chi = (90^\circ - \varphi) + \delta$. Ponieważ deklinacja Słońca rośnie liniowo od 0 w równonocy do wartości $23,43^\circ$ w przesileniu letnim, tzn. 90 dni później, jej dzienna zmiana ma wartość $23,43^\circ/90 = 0,26^\circ/\text{dzień}$. Znając ją można przekształcić δ wyrażoną w stopniach na jej wartość w jednostkach czasu. Obserwator może zatem obliczyć prawidłowy moment równonocy odejmując/dodając od/do zmierzzonego czasu górowania Słońca poprawkę na niezerową jego deklinację w momencie obserwacji. Jak widzimy procedura ta była dość złożona, w dodatku pomiary kwadrantem były niedokładne. Dla instrumentów Kopernika ocenia się je na $\pm 2^\circ$. Wszystko to sumuje się na błąd wyznaczania punktu równonocy rzędu jednego dnia.

W wielu pozycjach bibliografii Sobotki [6] mówi się, że długość roku zwrotnikowego można wyznaczyć z czasu, który dzieli dwa kolejne pojawienia się prostej linii dziennej na Tablicy. Ponieważ linieienne są znaczony na Tablicy co 5 dni, taka procedura wyznaczania dnia równonocy jest bardzo nieprecyzyjna, z błędem jednego a może nawet dwu dni. Dla Kopernika było to też oczywiste i dlatego skonstruował Tablicę w nadziei, że będzie to instrument dający bardziej precyzyjne pomiary roku zwrotnikowego, niż te wykonywane kwadrantem.

We wrześniu 2017 r. Jacek Szubiakowski, wtedy asystent na Wydziale Informatyki Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, wygłosił na zjeździe Polskiego Towarzystwa Astronomicznego (PTA) referat na temat Tablicy, który został opublikowany rok później [9]. Jak można sądzić z braku cytowań, referat nie wzbudził większego zainteresowania. A szkoda, bo było to pierwsze przedstawienie metody pozwalającej na określenie momentu równonocy z danych zapisanych na Tablicy. Szubiakowski odkrył, równo 500 lat od momentu powstania Tablicy, klucz do odkodowania informacji na niej zapisanej. W pracy [7] znaleźć można rozszerzony opis procedury Szubiakowskiego [9]. A oto jej skrót:

Metoda Szubiakowskiego polegała na następującej konstrukcji geometrycznej: Na płaszczyźnie (długość ekliptyczna λ versus czas T) naniesione zostały warto-

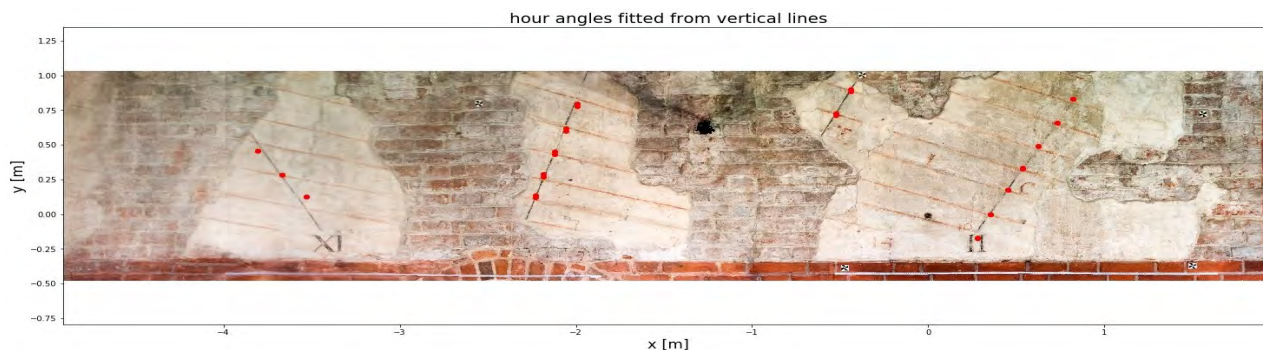
ści (T, λ) dla każdej linii dziennej Tablicy¹³. Następnie punkty (T, λ) leżące symetrycznie w stosunku do linii równonocy, za którą przyjęto linię nr 9 (rys. 2), połączono liniami prostymi.

Okazało się, że te linie przecinają się w jednym punkcie, którego współrzędna T odpowiada momentowi równonocy. Szczegóły tej procedury musimy pominąć, ze względu na ograniczenie objętości tego tekstu. Linii nr 9 Szubiakowski przypisał moment równonocy obliczony na 11 marca 1517 r. w kalendarzu juliańskim, o godz. 7:30'52" czasu lokalnego (LMT), której odpowiada data 21 marca, godz. 6:14'24" w kalendarzu gregoriańskim, a tej z kolei odpowiada dzień juliański JD 2275211,76¹⁴. Analiza danych Tablicy, z założeniem średniego odstępu linii dziennych [7], dała moment równonocy tego samego dnia o godz. 7:33'34", zatem o 1:10' później. Zbieżność odczytanej i obliczonej daty jest imponująca i implikuje podobną precyzję w obliczaniu długości roku. Oczywiście nie wiadomo, czy Kopernik zdawał sobie sprawę z potencjału swojego wynalazku dla chronografii. Do tego problemu wrócimy poniżej.

W pracach olsztyńskich znaleźć można próby odpowiedzi na zasadnicze pytanie, do czego miał służyć Kopernikowi olsztyński instrument. Jak wspomniano wyżej, jego solidność sugeruje chęć przekazania rezultatów obserwacji z XVI w. przyszłym generacjom astronomów. Warto zauważyć, że jesteśmy już beneficjentami tej informacji, mianowicie moment równonocy w 2021 r. miał miejsce 21 marca o godz. 10:36'. Zatem od czasów Kopernika moment równonocy przesunął się o ok. 6-7 godzin. Przy założeniu rocznego przesunięcia punktu równonocy kąt 50,3" możemy obliczyć, że od momentu pomiarów na Tablicy do dziś (500 lat) punkt równonocy przesunął się o wartość 6,9°, tj. o ok. 7 godzin. Tak duża zgodność wyników rachunku z danymi pomiarowymi,

13. W formalizmie JD czas jest liczony od 1 stycznia 4713 r. p.n.e. w pełnych dniach i ich ułamkach dziesiętnych; np. moment równonocy wiosennej roku 2021 przypadł na 21 marca o 10:36', co jest równoważne dacie JD 2459294,941. Użycie liczby rzeczywiście z ułamkiem jest prostsze i wygodniejsze dla obliczeń niż tradycyjny zapis kalendarzowy. Zapis w JD jest obecnie używany w astronomii, lotnictwie i kosmonautyce. Przeliczenia dat kalendarzowych można znaleźć na stronie <https://www.fourmilab.ch>

14. W pracach [7] i [9] momenty równonocy są podawane w formacie dni juliańskich (skrót JD od ang. *Julian Day*) tu JD 2275221,76. W tym formalizmie czas jest liczony od 1 stycznia 4713 r. p.n.e. w pełnych dniach i ich ułamkach dziesiętnych. Uwaga, w pracy [9] jest użyty zapis dat w kalendarzu juliańskim, który wprowadził Juliusz Cezar w 45 r. p.n.e. Nie należy go mylić z formalizmem Okresu Juliańskiego! Kalendarz juliański obowiązywał w Europie do r. 1582, tj. do inauguracji kalendarza gregoriańskiego. W rok później Joseph-Juste Scaliger wprowadził numerację lat w Okresie Juliańskim dla upamiętnienia tym swojego ojca, Juliusza-Cezara Scaligera. Może był to złośliwy żart kalwina w celu zdeorientowania papistów?



Rys. 3. Dopasowanie obliczeń modelu Grasshoffa i Fischera [8] (kółka) do linii godzinowych Tablicy zostało zrobione w czasie lokalnym południka położonego o 1/2 godz. na zachód od Olsztyna

może w części przypadkowa, daje przeświadczenie, że Tablica spełnia nadzieje w niej położone.

Nowe spojrzenie

Nieco później w 2018 r. ukazała się praca Grasshoffa i Fischera z Berlina [8], w której zaproponowano zupełnie nowe podejście do metody zapisywania danych na Tablicy. Niestety opis metody w cytowanej publikacji jest bardzo skrótowy, więc poniższa dyskusja jest jej rekonstrukcją według podanego przez autorów szkicu. Grasshoff i Fischer postulują, iż krzywe dzienne przedstawione na Tablicy nie zostały nakreślone drogą bezpośredniego zaznaczenia pozycji plamki światła słonecznego na powierzchni Tablicy podczas całodziennych obserwacji. Proponują inną metodę, polegającą na połączeniu bezpośredniej obserwacji pozycji plamki światła na Tablicy z geometrycznym powielaniem otrzymanych danych na jej innej części. Całość tak otrzymanej sieci punktów została następnie poddana procedurze symulacji komputerowej, z zachowaniem podstawowych elementów geometrycznych Tablicy ustalonych w pracach Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego (UWM) [1].

Podstawowym *novum* podejścia Grasshoffa i Fischera [8] było założenie, że linie godzinowe na Tablicy nie odnoszą się do czasu lokalnego, tj. południka Olsztyna, lecz do czasu południka leżącego od niego na zachód¹⁵. Okazało się, że obliczenia dla południka leżącego o pół godziny ($7,5^\circ$) na zachód od Olsztyna bardzo dobrze odwzorowują linie godzinowe Tablicy, jak to widać na rys. 3.

Autorzy nie wyjaśniają, dlaczego Kopernik przyjął taką procedurę, a dla nich przesunięcie na zachód południka odniesienia wynikało z procedury matematycznej symulacji danych Tablicy.

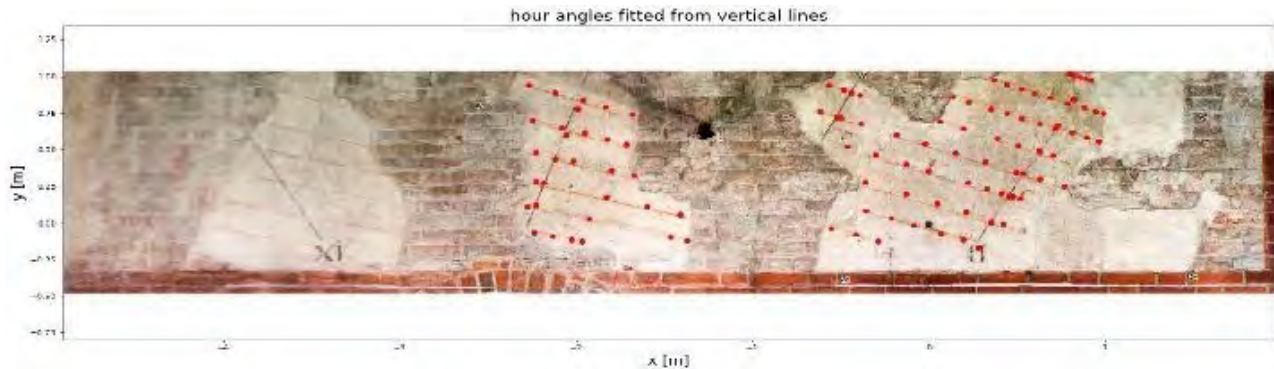
15. Przypomina to używanie czasu słonecznego południka Greenwich (GMT) jako odnośnika do pomiarów czasu i długości geograficznej. W dyskutowanym przypadku południk godzinowy leżałby około 500 km na zachód od Olsztyna. Na jego szerokości geograficznej byłoby to w Holandii (!). Na nim nie ma też żadnych miejscowości, które byłyby związane z życiem Kopernika. Zatem południk odniesienia jest tu tylko elementem dopasowania matematycznego.

Następnym nowatorskim krokiem berlińskich autorów było wspomniane wyżej założenie, że linie dzienne na Tablicy nie były rezultatem bezpośredniej obserwacji położenia plamki światła słonecznego w ciągu każdego z 14 dni obserwacji. Te, jak pamiętamy, były robione co 5 dni, zatem w ciągu prawie dwu wiosennych miesięcy planowanych obserwacji musiały się pojawiać okresy bezsłonecznej pogody. Rozwiązaniem pozwalającym na ciągłość zapisu danych była, zdaniem autorów, procedura stanowiąca kombinację bezpośrednich obserwacji z ręcznym przetwarzaniem danych.

Scenariusz takiej procedury mógłby być następujący: Obserwator zaczyna konstrukcję Tablicy od wytyczenia linii godzinowych¹⁶. Kopernik mógł to robić zawczasu, w okresie poprzedzającym wiosnę 1517 r. Ponieważ linie godzinowe są proste, dla wyznaczenia każdej z nich wystarczyło zaznaczyć dwa punkty, zatem nie był to zabieg ani pracochłonny, ani trudny. Następnie w określonym dniu programu obserwacji należało zaznaczyć na Tablicy punkt przejścia plamki światła słonecznego przez jedną z linii godzinowych, co mogło być notowane z dokładnością do kilku minut¹⁷. Stał się on punktem odniesienia dla generacji innych punktów przecięcia linii dziennych z wybraną linią godzinową. Do tego potrzebna jest znajomość rozstawu linii dziennych na Tablicy, nazwijmy go Δ_d . Tej wartości nie można obliczyć, ale można ją wyznaczyć z obserwacji. W tym celu obserwator musi zaznaczyć pięć dni później (jeśli pogoda sprzyjała) moment przejścia plamki światła przez linię godzinową, na której

16. Należy tu podkreślić, że jest to pierwszy w historii gnomoniki słoneczny zegar odbiciowy. Przypisuje się niesłusznie, jego odkrycie Newtonowi. Geometria heliografu Newtona była nieco prostsza, bo rzucał on „zajączka” na sufit komnaty i godziny odczytywał z jego pozycji na tle poprzednio sporządzonej sieci linii godzinowych.

17. Problem mierzenia czasu był także istotny dla określenia długości roku. Już wówczas używano mechanicznych zegarów (z mechanizmem zapadkowym), ale były nieprecyzyjne. Można było temu zaradzić przez regularne nastawianie wskazań zegara na lokalny czas słoneczny. Prawdopodobnie zegar wieżowy był już [wówczas] w Olsztynie. Istniały wtedy również zegary przenośne i Kopernik mógł taki właśnie mieć i dbać o jego właściwe wskazania, potrzebne do obserwacji astronomicznych, jak np. w przypadku Tablicy.



Rys. 4. Symulacja linii dziennych Tablicy w prawej, lepiej zachowanej jej części [8]

leżał punkt odniesienia. Odległość nowego punktu do punktu odniesienia była szukaną wartością Δ_d . Następne punkty przecięcia linii dziennych z wybraną linią godzinową można uzyskać przez ręczne zaznaczenie na niej punktów odległych o wielokrotności Δ_d od punktu odniesienia. Do tego nadawał się doskonale cyrkiel, który był wtedy w powszechnym użyciu. Procedurę tę należało powtórzyć dla innych linii godzinowych, aż do uzyskania możliwie pełnej sieci przecięć linii godzinowych z dziennymi, w której maksymalna liczba węzłów wynosiłaby $14 \times 4 = 56$. Węzły tak zbudowanej sieci zostały następnie połączone prostymi odcinkami, za pomocą „mocno naciągniętego sznura”, jak piszą autorzy omawianej metody. Procedura ta ma kilka zalet, po pierwsze pozwalała na rekonstrukcję danych, które były nieosiągalne z powodu zamurzenia czy innych przyczyn, a po drugie była mniej czasochłonna w porównaniu z zapisem pozycji plamki świetlnej w ciągu każdego dnia obserwacji, ponieważ wymagała zaznaczenia tylko części ze wszystkich 56 punktów przecięć linii dziennych z liniami godzinowymi. Elementy linii dziennych pomiędzy punktami przecięć były uzupełniane liniową interpolacją, o której mówią praktycznie wszyscy badacze Tablicy. Metoda proponowana przez Grasshoffa i Fischera ma podstawową słabość, mianowicie jej autorzy musieli założyć jakąś regułę przeliczania 5 stopniowej różnicy długości ekliptycznej Słońca na rozstaw linii dziennych Tablicy Δ_d . Powyżej była mowa o doświadczalnym wyznaczeniu Δ_d z jednego pomiaru, ale ta wartość mogła też być średnią kilku pomiarów¹⁸. Zwróćmy też uwagę, że Δ_d nie ma jednakowej wartości na całej Tablicy jednak rozstaw linii dziennych zmienia się wolno (rys. 2), zatem przyjęcie wartości średniej dla Δ_d może nie mieć poważnych konsekwencji zarówno dla dokładności zapisu danych na Tablicy, jak i dla obliczania momentu równonocy. Grasshoff i Fischer [8] podkreślają, że zaproponowana przez nich metoda zapisu danych na Tablicy powinna być dokładniejsza niż metoda bezpośredniego zaznaczenia linii dziennych, gdyż błąd

zapisu lateralnego położenia plamki światła słonecznego na Tablicy był zanedbywalnie mały. Ich obliczenia mają charakter matematycznej symulacji danych, co osiąga się przez odpowiedni dobór wartości parametrów modelu. Obliczenia odzwierciedlają bardzo dobrze przebieg zarówno linii godzinowych, jak i dziennych Tablicy (rys. 4).

Autorzy pracy nie dyskutują możliwych zastosowań Tablicy do studiów astronomicznych, a w szczególności do znajdowania momentu równonocy. Tę część znajdujemy w pracy Szubiakowskiego [9] poprzedzającej o dwa lata ich publikację.

Jeżeli Tablica, jaką teraz widzimy, jest produktem bardziej precyzyjnego zapisu danych niż dotąd zakładano, możemy zrozumieć, dlaczego metoda krzyżujących się linii Szubiakowskiego dała jeden wspólny punkt ich przecięcia, jak to opisano wyżej.

Wcześniej, w części *Tabula revivata* postawione zostało pytanie, czy Kopernik zdawał sobie sprawę z dokładności zapisów Tablicy. Nie możemy na nie odpowiedzieć. Kopernik skonstruował Tablicę dla obserwacji pozornego ruchu Słońca w otoczeniu momentu równonocy i najprawdopodobniej liczył na to, że Tablica stanie się instrumentem astronomicznym pozwalającym na jego precyzyjne wyznaczenie. Czy znalazł sposób dokładnego odczytu momentu równonocy z danych Tablicy? Trudno przypuszczać, żeby miał do swojej dyspozycji aparat matematyczny, a raczej geometryczny, jaki został naszkicowany powyżej. Z drugiej strony, nie sposób przyjąć, że Kopernik ze swoim doświadczeniem astronoma i obserwatora mógł przystąpić do budowy Tablicy bez jasnego schematu interpretacji jej danych. Może miał tego zarys, który okazał się błędnym i może dlatego nie wspominał o Tablicy w swoich pismach?

Jaka była zatem motywacja Kopernika do konstrukcji Tablicy? Pamiętamy, że w zasadzie przestał zajmować się problemami długości roku jeszcze przed przeniesieniem się do Olsztyna. Był to rok 1515 lub 1516, Kopernik mieszkał stale we Fromborku i stamtąd posłał do Rzymu raport o pomiarach długości roku, o czym było wyżej. Wiedział jednak, że prace nad kalendarzem są kontynuowane w Rzymie i było dla niego jasne, że wykorzysta-

18. Aczkolwiek, nie jest pewne czy pojęcie średniej istniało w epoce Kopernika.

wane tam dane nie były dokładne. Do takich należała długość roku tropikalnego, więc Kopernik postanowił poświęcić temu problemowi jeszcze trochę czasu zważywszy, że poprzednio w te studia bardzo się angażował. Szybkość z jaką zrealizował konstrukcję Tablicy po przyjeździe do Olsztyna wskazuje, że już wcześniej nosił się z projektem jej konstrukcji i miał przemyślane szczegóły jej budowy oraz sposobu użytkowania. W ciągu dwu miesięcy obserwacji, które, jak pokazaliśmy, nie były specjalnie czasochłonne, Kopernik otrzymał zapis pozornego ruchu Słońca w pobliżu wiosennej równonocy 1517 r., z którego spodziewał się obliczyć długość roku tropikalnego. Wtedy okazało się, że nie znalazł odpowiedniej procedury dla obliczenia momentu równonocy z danych Tablicy. Nie było zatem sensu pisać o tych pracach do Rzymu, ani je gdziekolwiek drobiazgowo opisywać.

Na dalszą pracę nad tym problemem nie było też czasu, bo zbliżała się wojna, w której Kopernik odegrał, może nieoczekiwanie dla siebie samego, ważną rolę administratora największej twierdzy na Warmii, czyli zamku w Olsztynie. W takich sytuacjach zmieniają się diametralnie priorytety i problem długości roku musiał odsunąć się na dalszy plan. W ciągu kilku powojennych lat Kopernik pełni dalej szereg funkcji administracyjnych, gdyż tego wymagała potrzeba chwili. Dokonuje 45 wyjazdów lokacyjnych na wieś, ponieważ wiele gospodarstw zostało opuszczonych. Zaczyna rozumieć ekonomię i rolę pieniądza, stąd jego *Traktat o monecie* z 1522 r., w którym formułuje słynne „zła moneta wypiera lepszą” uprzedzając w tym Tomasza Gershama o przeszło pół wieku. Przedstawia nieco później projekt reformy monetarnej, która mogłaby połączyć gospodarki Prus i Rzeczypospolitej. Niestety do niej nie doszło – miasta pruskie wolały bić własną monetę.

Ponownie astronomią Kopernik zajmie się dopiero po powrocie do Fromborka, w latach 30. XVI w. Tablica pozostała w Olsztynie z zakodowanym zapisem momentu równonocy 1517 r. Do tego problemu Kopernik nie miał nigdy powrócić, prawdopodobnie dlatego, że ciągle nie widział możliwości odkrycia sekretu Tablicy. Wolał też nie wspominać o tym epizodzie w swoich papierach, bo byłoby to przyznaniem się do porażki, nieistotnej w końcu z perspektywy jego pracy nad Układem Słonecznym. Kopernik być może stracił w naszych oczach aureolę nieomyślności, ale przez to stał się nam bliższy.

W 2023 r. przypada 550 rocznica urodzin Kopernika i z tej okazji odbędzie się symposium naukowe o działalności Kopernika, współorganizowane przez uniwersytety UMK i UWM. Będzie to też okazja do afirmacji poglądu, iż Kopernik rzeczywiście był autorem Tablicy, to bowiem potwierdzają wszystkie nowsze badania. Tablica jest cennym śladem ręki Kopernika i świadectwem jego niezwykłej kreatywności. Symposium kopernikańskie będzie też okazją do bezpośredniej konfrontacji poglądów na

konstrukcję i przeznaczenie Tablicy. Miejmy nadzieję, że zostaną wyjaśnione przy tym nierozwiązane jeszcze problemy jej konstrukcji oraz analizy.

Podziękowania

Panom Jackowi Szubiakowskiemu i Gerdowi Grasshoffowi dziękuję za pozwolenie na wykorzystanie w tym artykule rysunków z ich prac i za pomocne komentarze, a pierwszej czytelniczce tego tekstu, mojej żonie Wisi za cierpliwe poprawki. Natalce Blinowskiej jestem wdzięczny za przysłanie mi wielu skanów trudno dostępnych publikacji.

Bibliografia

- [1] *Tablica astronomiczna Mikołaja Kopernika na zamku w Olsztynie, stan badań* (pr. zb.), Elżbieta Jelińska (red.), autorzy: Janusz Cygański, Jerzy Miałdun, Jacek Szubiakowski, Justyna Dzieciatkowska, Muzeum Warmii i Mazur, Olsztyn 2013.
- [2] Jacek Szubiakowski „Astronomiczny aspekt badań słonecznej tablicy obserwacyjnej na olsztyńskim zamku” w [1] s. 61–88.
- [3] *Komentarzyk* (łac. *Commentarius*) został napisany przez Kopernika w Lidzbarku ok. 1512 r. Jest to krótkie omówienie założeń heliocentrycznej teorii układu planetarnego (w szczególności fragment z części „O pozornych ruchach Słońca”), ogłoszonej później w [4].
- [4] *De Revolutionibus* (1543) (DR). Cytaty tu i dalej przytaczane są zaczerpnięte z: M. Kopernik *O obrotach ciał niebieskich* tłumaczenie z j. łac. na jęz. pol. Jan Baranowski (1854) w opracowaniu A. Birkenmajera (1953), Wydawnictwo Jirafa Roja, 2009.
- [5] Fragment Rozdziału XI „Rozważania trojkiego ruchu Ziemi” w [4].
- [6] Bibliografia prac na temat Tablicy została opublikowana przez Pawła Sobotko w: *Komunikaty Mazursko-Warmińskie*, 4 (286), 539 (2014). Nowsze prace o budowie i funkcjonowaniu Tablicy były w większości publikowane w czasopiśmie o znacznie mniejszym zasięgu niż cytowane poniżej z 2018 r.
- [7] J.P. Szubiakowski, J. Włodarczyk, „The Solar Dial in the Olsztyn Castle: its construction and Relation to Copernicus” *J. Hist. Astron.* 49 (2), 158-195 (maj 2018).
- [8] G. Grasshoff, G. Fischer „Copernicus’s Heliograph at Olsztyn: The 500th Anniversary of a Scientific Milestone” *Ann Phys. (Ber.)* 1800196, 11 (październik 2018).
- [9] J.P. Szubiakowski, „Nicolaus Copernicus’s gnomonic array for Sun observation”, *Proc. PTA* 7, 371–376 (2018).

Półprzewodniki półmagnetyczne: od helikonów do ekscytonów, polaronów i jeszcze dalej...

Jacek Furdyna

Wydział Fizyki, Uniwersytet Notre Dame, USA

Streszczenie. Artykuł poświęcony jest pamięci zmarłego niedawno prof. Roberta Gałązki, którego wielkim osiągnięciem naukowym były badania nad półprzewodnikami półmagnetycznymi, tj. materiałami z pogranicza dwóch bardzo od siebie różnych dziedzin – magnetyzmu i fizyki półprzewodników, co na ogół prowadzi do pojawienia się zupełnie nowych i nieoczekiwanych zjawisk. Omówię tu, w jaki sposób namagnesowanie tych materiałów wpływa na własności elektryczne i optyczne, prowadząc do gigantycznego wzmocnienia efektów zależnych od spinu. Pokażę, że własności elektryczne również wpływają na magnetyczne, jak w przypadku związanego polaronu magnetycznego. Na koniec opiszę zależność własności magnetycznych półprzewodników półmagnetycznych od koncentracji jonów magnetycznych, zaczynając od prostego paramagnetyzmu, poprzez szkło spinowe, do antyferromagnetyków o dalekim zasięgu uporządkowania.

Słowa kluczowe: półprzewodniki półmagnetyczne, helikony, fale helikonowe, gigantyczne rozszczepienie spinowe, oddziaływanie wymienne, gigantyczny efekt Faraday'a, związany polaron magnetyczny, szkło spinowe, uporządkowanie antyferromagnetyczne

Abstract. This article is dedicated to the memory of the late Prof. Robert Galazka, who has played a key role in the development of semimagnetic semiconductors. These materials lie at the interface of two very different fields: magnetism and semiconductor physics, which has led to the emergence of entirely new and unexpected phenomena. Specifically, in this paper we will discuss the effect of magnetization on electronic and optical semiconducting processes, that lead to giant enhancement of spin-dependent effects. We will show that, similarly, electronic effects also affect magnetic properties, as in the case of bound magnetic polarons. And, finally, we will describe the evolution of magnetic properties of these materials, from paramagnetism, through spin glass behavior, to long-range antiferromagnetic order.

Keywords: semimagnetic semiconductors, helicon waves, diluted magnetic semiconductors, giant spin splitting, exchange interaction, giant Faraday effect, bound magnetic polaron, spin glass, antiferromagnetic order

Artykuł ten poświęcam pamięci zmarłego niedawno prof. Roberta Gałązki i jego wielkim osiągnięciom naukowym – badaniom nad półprzewodnikami półmagnetycznymi, tj. materiałami z pogranicza dwóch bardzo od siebie różnych dziedzin: magnetyzmu i fizyki półprzewodników, co spowodowało pojawianie się zupełnie nowych i nieoczekiwanych zjawisk. I to właśnie jest wyjątkowo ciekawą cechą półprzewodników półmagnetycznych.

Jest dla mnie ogromną satysfakcją, że zainteresowanie prof. Gałązki tymi materiałami zaczęło się w mojej pracowni na uniwersytecie Purdue w USA. A stało się to tak. Odwiedzając Laboratoria Royal Radar Establishment w Anglii w roku 1964 dowiedziałem się o możliwości hodowania wysokiej jakości kryształów $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ [1]. $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ jest półprzewodnikiem o wąskiej przerwie energetycznej, posiadającym elektrony o bardzo wysokiej ruchliwości (a więc i o wysokim przewodnictwie) i dodatkowo zlokalizowane momenty magnetyczne rozsiane po sieci kryształu dzięki obecności jonów manganu. Jednym z moich zainteresowań w tamtym czasie

było użycie *fal helikonowych* do badania rezonansu spinowego w ośrodkach wysokoprzewodzących, a cechy $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ właśnie pozwoliłyby na to. Zaraz po powrocie z Anglii rozmawiałem o tych materiałach z prof. Witoldem Giritatem [2, 3], znanym specjalistą w zakresie hodowania półprzewodników wykorzystujących pierwiastki grup II i VI, jak np. HgTe czy $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, a więc blisko spokrewnionych z interesującym mnie materiałem $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$. Profesor Giriata zasugerował, żebym zaprosił jego młodszego kolegę, Roberta Gałązkę, specjalizującego się również w hodowaniu związków grup II i VI [4] do mojej pracowni na uniwersytecie Purdue i tak oto w roku 1969 zaczęła się nasza współpraca – pierwotnie w tematyce $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, a później również w związku z innymi stopami półprzewodników grup II i VI z manganem.

Jak już wspomniałem, „małżeństwo” własności magnetycznych i półprzewodnikowych prowadzi do powstawania zupełnie nowych zjawisk. Ponieważ takich nowych i bardzo różnych od siebie zjawisk w przypadku półprzewodników półmagnetycznych jest wy-

jątkowo wiele, opiszę te nowe własności w dalszych częściach tego artykułu, zaczynając od rezonansu spinowego wzbudzonego helikonami¹, gdyż to zainteresowało nas przede wszystkim.

1. Helikony i rezonans spinowy

Jak wiemy, materiały o wysokim przewodnictwie nie przepuszczają fal elektromagnetycznych z uwagi na efekt naskórkowy. Jednak materiały posiadające nośniki ładunku o wysokiej ruchliwości stanowią ciekawy wyjątek. W obecności pola magnetycznego B taki ośrodek przewodzący staje się przezroczysty dla fal spolaryzowanych kołowo w kierunku ruchu cyklotronowego ładunków przy spełnieniu warunków:

$$\begin{aligned} \omega_c &= eB/m^* \gg \omega; & \omega_c &\gg 1/\tau; \\ (\omega_p)^2 &= ne^2/(m^*\epsilon) \gg \omega\omega_c, \end{aligned} \quad (1)$$

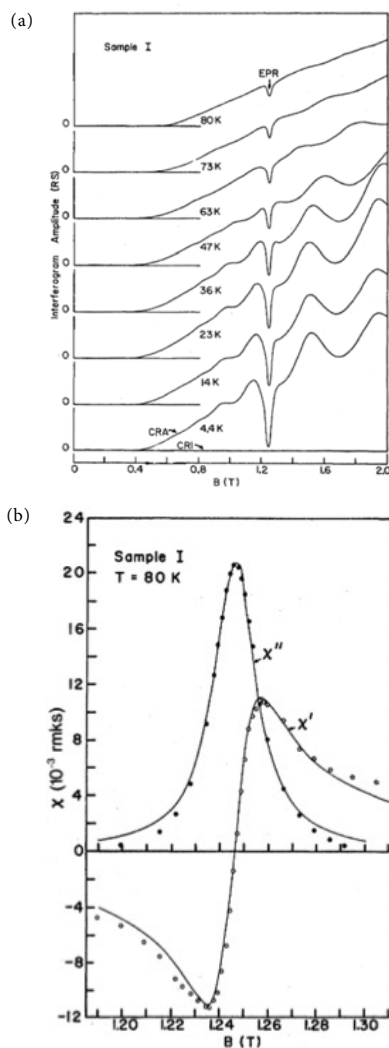
gdzie e = ładunek elektronu, m^* = masa efektywna, τ = charakterystyczny czas rozpraszania elektronów, n = koncentracja elektronów, ϵ = przenikalność dielektryczna, ω = częstotliwość fali elektromagnetycznej [5].

W obszarze opisanym równaniem (1) przewodnik staje się przezroczysty, a więc fala o częstotliwości ω może „docierać” do jonów Mn wewnątrz ośrodka jako helikon. Kiedy $\omega = \omega_S$, gdzie ω_S jest częstotliwością precesji spinów Mn, pole magnetyczne fali sprzęga się z precesją spinu i następuje rezonans spinowy.

Na rys. 1 pokazane są pomiary transmisji fal helikonowych łącznie z silną absorpcją dla częstości $\omega = \omega_S$. A więc nasze marzenia o helikonowym rezonansie spinowym zostały spektakularnie spełnione, dzięki wysokiej jakości kryształów $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ uzyskanych przez Roberta Gałązkę i mojego doktoranta Ronalda Holma. Omówiliśmy wyniki tych pomiarów po raz pierwszy na IV Ogólnokrajowym Seminarium Związków Półprzewodnikowych (Jaszowiec, 1973) [6], a później rozszerzyliśmy te badania również na inne materiały półmagnetyczne, np. $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ [7].

2. Oddziaływanie $sp-d$ i gigantyczne rozszczepienie spinowe

Chciałbym podkreślić, że to co naprawdę motywowało nas do rozpoczęcia badań takich związków jak $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, to świadomość że bardzo ruchliwe elektrony (lub dziury) poruszające się w obecności spinów Mn rozsianych w danym ośrodku muszą jakoś odczuwać



Rys. 1. (a) Transmisja helikonów przez płytkę $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ domieszkowaną indem w różnych temperaturach. CRA oznacza polaryzację kołową zgodną z ruchem cyklotronowym elektronów; CRI – polaryzację odwrotną, której próbka nie przepuszcza. Absorpcja oznaczona strzałką EPR – absorpcję rezonansową jonów Mn^{2+} . (b) Część rzeczywista i urojona podatności magnetycznej systemu Mn^{2+} otrzymanego z rezonansu EPR

magnetyczny wpływ tych spinów. Robert Gałązka i ja spotkaliśmy się z teoretykiem, prof. Jerzym Mycielskim, w celu uzyskania jakiegoś przynajmniej modelowego obrazu, w jaki sposób takie „pole spinów” wpływa na własności (tj. na stany elektronowe) ośrodka. Profesor Mycielski bardzo się tym tematem zainteresował i zaproponował go swojemu doktorantowi – obecnie profesorowi – Jackowi Kossutowi, jako temat jego pracy doktorskiej.

Praca doktorska Jacka Kossuta jest w pełnym tego słowa znaczeniu punktem kluczowym w rozwoju tematyki półmagnetyków. Choć jej centralnym punktem jest rozważenie rozpraszania elektronów przez momenty magnetyczne, to naturalną konsekwencją jest pokazanie, że same stany elektronowe w półprzewodnikach półmagnetycznych typu $\text{II}_{1-x}\text{Mn}_x\text{VI}$ są silnie modyfikowane w obecności tych momentów magnetycznych i opisane

1. Helikon (zwany też falą helikonową) – termin wprowadzony przez Henri Aigraina dla określenia fal elektromagnetycznych rozchodzących się w ośrodkach o wysokim przewodnictwie, w obecności pola magnetycznego (zob. [https://en.wikipedia.org/wiki/Helicon_\(physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Helicon_(physics))).

hamiltonianem w postaci [8]:

$$H_T = H_0 + H_{ex} = H_0 + \sum_i J^{sp-d} (r - R_i) S_i \cdot \sigma. \quad (2)$$

Na tej podstawie można wyprowadzić czynnik określający rozszczepienie spinowe stanów elektronowych (tzw. czynnik g) jako

$$g_{eff} = g^* + CM, \quad (3)$$

gdzie g^* jest normalnym czynnikiem g wynikającym z własności pasmowych ośrodka, M jest jego namagnesowaniem, a C stałą. Wyprowadzenie wzoru (3) czytelnik znajdzie na przykład w pracy [9]. Na potrzeby niniejszego artykułu jest ważne, że człon proporcjonalny do namagnesowania CM może być o rzędy wielkości większy od czynnika g^* , co oznacza, że (jak zobaczymy na przykładach poniżej) rozszczepienia spinowe wynikające z hamiltonianu (2) dominują własności fizyczne półprzewodników typu $II_{1-x}Mn_xVI$ zupełnie zmieniając fizykę tych materiałów.

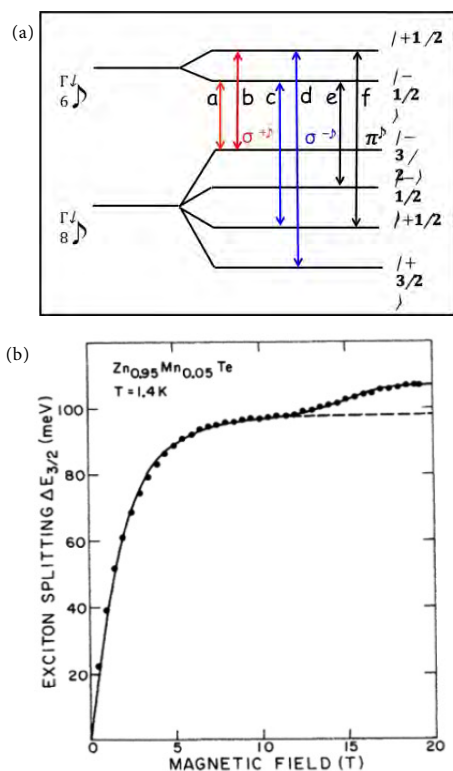
3. Oddziaływanie $sp-d$ i własności magnetoptyczne

Zjawiska magnetoptyczne wynikające z oddziaływania $sp-d$ zostały opisane w pięknym artykule przeglądowym w *Postęпах Fizyki* przez prof. Jana Gaję [10], napisanym z wyjątkową erudycją i znajomością tematu, więc tu ograniczę się tylko do jakościowego wskazania dwóch „sztandarowych” wyników w tej dziedzinie.

3.1. Przejścia międzypasmowe i ekscytonowe

Wykorzystując rezultaty teoretyczne Jacka Kossuta, zmotywowani wyjątkowo ciekawymi zjawiskami magnetoptycznymi otrzymanymi przez Komarowa i Ryabczenkę w Kijowie dla szerokoprzerwowego $Cd_{1-x}Mn_xTe$ [11], jak również w celu wyjaśnienia własnych obserwacji Jan Gaj, Jerzy Ginter i Robert Gałązka wyprowadzili model optycznych przejść międzypasmowych i ekscytonowych w półmagnetykach w obecności pola magnetycznego [12]. Model ten, potocznie nazywany modelem GGG od nazwisk autorów, jest kamieniem milowym w rozwoju fizyki tych materiałów i został użyty w setkach prac dotyczących własności optycznych półmagnetyków. Model można streścić jak na rys. 2(a), gdzie widzimy, że dozwolone przejścia między pasmami (a więc i wzbudzenie ekscytonu) dla fal o różnej kołowej polaryzacji są – dzięki rozszczepieniu spinowemu stanów na krawędziach pasm przewodnictwa i walencyjnego – względem siebie silnie przesunięte. Przesunięcie to, *nota bene*, jest zgodne z równaniem (3) proporcjonalne do namagnesowania ośrodka. Jako przykład, na rys. 2(b) pokazuję pomiar przejścia ekscytonowego zmierzony w $Zn_{0.95}Mn_{0.05}Te$ [13]. Należy zwrócić uwagę na to, że kształt zależności dokładnie odzwierciedla zachowanie się namagnesowania

w funkcji pola magnetycznego. Widzimy więc nasycanie



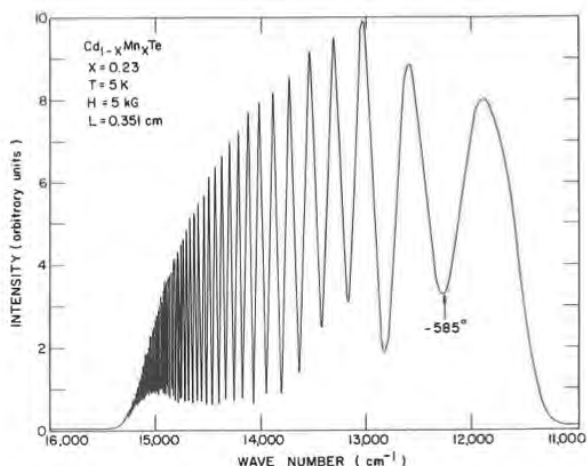
Rys. 2. (a) Rozszczepienie spinowe stanu podstawowego pasma przewodnictwa (Γ_6) i pasma walencyjnego (Γ_8) w $Cd_{1-x}Mn_xTe$ (wg [12]). (b) Energia przejścia ekscytonowego w pokrewnym materiale $Zn_{1-x}Mn_xTe$ w funkcji pola magnetycznego. Na rysunku widać, że energia przejścia (tzn. rozszczepienie spinowe) zachowuje się dokładnie tak, jak namagnesowanie materiału, łącznie ze schodkiem w polu ok. 12 T pochodzącym z rozpręgnięcia antyferromagnetycznie sprzężonych par Mn-Mn [13]

namagnesowania i nawet (w najwyższych polach) charakterystyczny „schodek” związany z przkształceniem przez pole antyferromagnetycznie związanej pary Mn-Mn (której wypadkowy moment magnetyczny zeruje się i nie daje wkładu do całkowitego namagnesowania) w dwa paramagnetyczne momenty magnetyczne [13].

3.2. Efekt Faradaya

Na podstawie rys. 2(a) można by powiedzieć, że foton o kołowej polaryzacji σ_+ „widzi” przerwę energetyczną materiału określoną przez przejście „a”, a przerwa dla fotonu o odwrotnej polaryzacji σ_- jest przesunięta do dużo wyższej energii „d”. Ponieważ współczynnik załamania dla fotonu o danej energii zależy od tego, jak jego energia jest bliska energii jakiegoś przejścia optycznego, więc współczynnik załamania dla tych dwóch polaryzacji będzie różny. Ze względu na to, że fale o różnych kołowych polaryzacjach rozchodzą się z różnymi prędkościami, powstaje tzw. skręcenie Faradaya, czyli skręcenie płaszczyzny polaryzacji liniowej promieniowania przechodzącego przez płytkę półprzewodnika, określone równaniem

$$\theta = (n_- - n_+)d, \quad (4)$$



Rys. 3. Gigantyczna rotacja Faradaya w $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$. Światło padające na próbkę jest spolaryzowane liniowo i po przejściu przez próbkę pada na drugi liniowy polaryzator (tzw. analizator). Kolejne minima odpowiadają skręceniu płaszczyzny polaryzacji o 180° . Kąt skręcenia wzrasta, kiedy energia fotonu zbliża się do przerwy energetycznej; w efekcie próbka skręca polaryzację fali o tysiące stopni [14]

gdzie n_- i n_+ są współczynnikami załamania dla polaryzacji σ_+ i σ_- , a d jest grubością płytki. A więc analiza GGG daje nam piękny opis wyników Komarova i in. [11]. Rysunek 3 przedstawia wyniki pomiaru efektu Faradaya wykonanego przez grupę prof. Ramdasa [14], pokazujące skręcenie płaszczyzny polaryzacji liczące kilka tysięcy stopni!

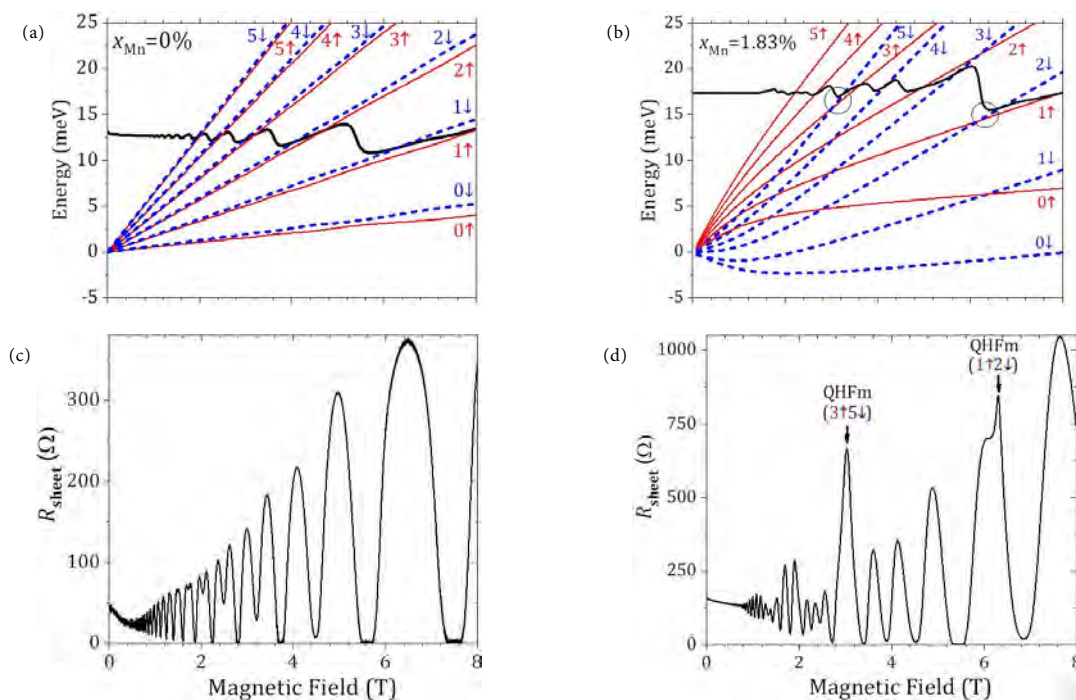
4. Oddziaływanie $sp-d$ i własności elektryczne

4.1. Oscylacje kwantowe

W polu magnetycznym stany elektronowe podlegają tzw. kwantyzacji landauowskiej, określonej równaniem

$$E_n = \hbar \omega_c (n + 1/2), \quad (5)$$

gdzie \hbar jest stałą Plancka, $\omega_c = eB/m^*$ jest częstotliwością cyklotronową, a n określa kolejne stany Landaua. Praca GGG nie uwzględnia tej kwantyzacji, gdyż opisane tam przejścia optyczne dotyczą stanów podstawowych na krawędzi pasm o dużej masie m^* , a więc rozszczepienia landauowskie są małe w porównaniu do rozszczepienia spinowego. Kwantyzacja Landaua okazuje się natomiast wyjątkowo ważnym narzędziem służącym do badań własności elektrycznych ośrodków przewodzących, prowadząc do oscylacji kwantowych oporu (efekt Szubnikowa-de Haasa), dzięki którym możemy zrozumieć cały szereg własności nośników prądu, począwszy od otrzymania obrazu powierzchni Fermiego, na jakiej te nośniki się poruszają. Na rys. 4(a, b) widzimy na przykładzie niemagnetycznego CdTe, że w miarę wzrostu pola magnetycznego, odległość między poziomami Landaua powiększa się zgodnie z równaniem (5), a kiedy poziom przecina energię Fermiego E_F , elektrony z tego poziomu obsadzają kolejny poziom poniżej E_F , zmieniając liczbę



Rys. 4. (a, c) Symulacja rozszczepienia stanu podstawowego dwuwymiarowego gazu elektronowego w studni kwantowej $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ dla $x = 0$ (a) oraz $x = 0,0183$ (c) na podpoziomy Landaua z uwzględnieniem spinu. Liczba oznacza numer poziomu Landaua, a strzałkami $\uparrow \downarrow$ oznaczono odpowiednio podpoziomy ze spinem równoległym (linie ciągłe) i antyrównoległym (linie przerywane) do pola magnetycznego przyłożonego prostopadle do powierzchni. Gruba pofalowana linia ciągła przedstawia poziom Fermiego; (b, d) eksperymentalnie obserwowana zależność oporu studni kwantowej $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ od pola magnetycznego. Przy wartościach pól, dla których na rysunku (b) kółkami zaznaczono miejsca przecinania się podpoziomów z odwrotnym spinem, pojawiają się dodatkowe piki na wykresie oporu związane z formowaniem się stanu kwantowego ferromagnetyka Halla (oznaczone QHFm) (dzięki uprzejmości Zbigniewa Adamusa)

poziomów Landaua poniżej E_F (a więc poziomów zajętych) i prowadząc jednocześnie do oscylacji oporu. Ponadto widzimy na rys. 4(a), że każdy poziom Landaua jest rozszczepiony spinowo (strzałki \uparrow oraz \downarrow oznaczają kierunek spinu w stosunku do kierunku pola), choć rozszczepienie to nie jest specjalnie duże. Natomiast w półmagnetykach rozszczepienie spinowe jest ogromne, co z kolei prowadzi do szeregu nowych zjawisk w transporcie elektrycznym, np. niemonotoniczne zachowanie się amplitudy oscylacji oraz przecinanie się kolejnych poziomów Landaua z różnym spinem, jak na rys. 4(b). Oba te przypadki widzimy na rys. 4(c) i 4(d): pierwszy w postaci *złudnień* oscylacji dla pól poniżej 3 T, drugi w postaci dodatkowych pików dla pól $B \sim 3$ T i $B \sim 6,3$ T, dla których w okolicy poziomu Fermiego przecinają się odpowiednio poziomy $3\uparrow 5\downarrow$ oraz $1\uparrow 2\downarrow$. Te dodatkowe piki związane są z powstawaniem tzw. kwantowego ferromagnetyka Halla [15].

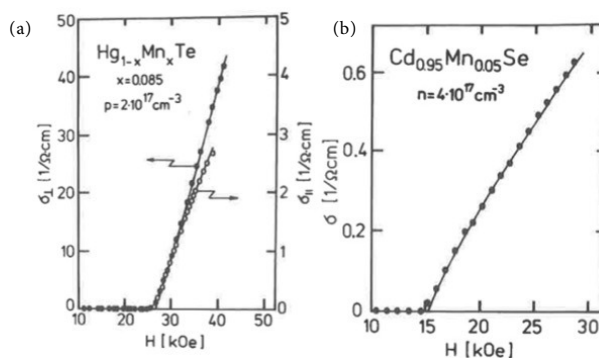
Ciekawym przykładem wyjątkowego zachowania oporu w półmagnetykach są też termooscylacje. Jak pamiętamy, rozszczepienie spinowe wynika z wartości czynnika g , który w tych materiałach jest ogromny i jest proporcjonalny do namagnesowania. Ponieważ namagnesowanie zmienia się wraz z temperaturą, Małgorzata Dobrowolska, wówczas doktorantka prof. Gałązki, pokazała w swojej pracy doktorskiej, że oscylacje kwantowe w półmagnetyku można zaobserwować nie tylko w funkcji pola magnetycznego, lecz także w funkcji temperatury [16]. Wynik ten podkreśla niezwykle własności materiałów półmagnetycznych, nieistniejące w innych materiałach.

Nie ma miejsca w tym krótkim artykule na opisanie innych zjawisk, jakie związane są z kwantowaniem landauowskim w półmagnetykach – ograniczę się jedynie do wskazania zainteresowanemu czytelnikowi kilku ciekawych wyników tych badań: ułamkowy kwantowy efekt Halla [17] oraz nowy typ tranzystora spinowego wykorzystującego przestrzennie zmienne pole magnetyczne działające na półmagnetyk [18].

4.2. Przejście izolator-metal

Ciekawym i nieoczekiwanym zjawiskiem badanym przez Tomasza Wojtowicza (którego promotorem rozprawy doktorskiej był Robert Gałązka), Andrzeja Mycielskiego i innych [19, 20] jest przejście izolator-metal w $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ i $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$. Wyobraźmy sobie $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ domieszkowany pewną koncentracją akceptorów, np. $p = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Domieszki te są rozrzucone chaotycznie po sieci kryształu, a w niskiej temperaturze dziury pozostają przywiązane do macierzystej domieszki i nie oddziałują ze sobą ze względu na ich przestrzenną separację. Ośrodek jest wtedy izolatorem i jego przewodnictwo σ w zerowej temperaturze

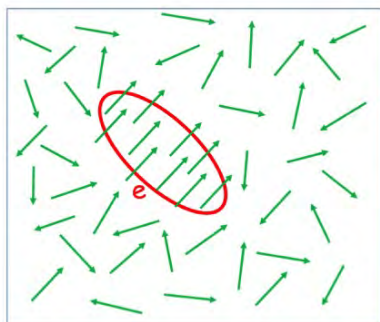
jest zerowe. Na skutek oddziaływania $sp-d$ funkcje falowe dziur, zlokalizowanych w położeniach akceptorów, rosną na skutek przyłożonego pola magnetycznego (po prostu „puchną”, w odróżnieniu od sytuacji w niemagnetycznych półprzewodnikach, gdzie funkcje falowe się kurczą) i przy pewnej wartości pola, zależnej od koncentracji akceptorów, zaczynają się stykać i nakładać. Powstaje wtedy pasmo domieszkowe, w którym nośniki mogą się poruszać, tak jak poruszają się w normalnym paśmie, a więc ośrodek zmienia fazę z izolatora na metal. Można to zobaczyć w pięknych rezultatach eksperymentalnych pokazanych na rys. 5(a), na którym widzimy, że w pewnym polu materiał dotychczas izolujący (tj. którego $\sigma = 0$) nagle staje się przewodzący, z $\sigma > 0$ [21]. Analogiczne, indukowane polem magnetycznym przejście izolator-metal zachodzi też w $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ typu n (rys. 5(b)).



Rys. 5. Przejście ze stanu izolującego do stanu przewodzącego występujące wskutek rozszczepienia stanów dziurowych w $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ (a) oraz stanów elektronowych w $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ (b) [21]

5. Związany polaron magnetyczny

Omawiając dotychczas oddziaływanie $sp-d$ rozważaliśmy je jako działające w „jednym kierunku”, tzn., jako wpływ namagnesowania ośrodka (który naturalnie wynika z wprowadzonych do sieci jonów magnetycznych) na stany elektronowe. Oddziaływanie $sp-d$ może jednak działać w obydwie strony, tzn. obecność elektronu może również wpływać na namagnesowanie. Pięknym przykładem tego jest *związany polaron magnetyczny*, przewidziany teoretycznie przez profesorów Dietla i Spałka [22] i wielokrotnie potwierdzony eksperymentalnie. Wyobraźmy sobie donora (np. atom Ga w lub $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$) w niskiej temperaturze. Elektron przywiązany do donora można w przybliżeniu opisać w ten sposób, że porusza się po wodoropodobnej orbicie Bohra. W półmagnetyku $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ wewnątrz orbity Bohra znajduje się pewna liczba jonów Mn. Elektron oddziałuje wtedy ze spinami tych jonów zgodnie z mechanizmem $sp-d$, a ponieważ sam ma określony spin, ustawia spiny manganowe, jeden po drugim, w tym samym kierunku, podobnie jak to ma miejsce w ferromagnetyku, i całość zachowuje się



Rys. 6. Schematyczny obraz polaronu magnetycznego związanego z donorem w półmagnetycznym półprzewodniku, takim jak $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ typu n. Elektron „organizuje” spiny manganu w swojej orbicie bohrowskiej przez oddziaływanie *sp-d*, tworząc w ten sposób mikroskopijny magnes

jak wiązka momentów magnetycznych manganu, a więc jak nanomagnes (rys. 6), co daje również wkład do namagnesowania, jak zostało pokazane z wykorzystaniem efektu *fotopamięci* w pracy [23].

6. Nowe metody hodowania kryształów i ich wpływ na dalszy rozwój badań nad półmagnetykami

Postępy w metodach hodowania kryształów odegrały ogromną rolę w rozszerzeniu badań półmagnetyków, a przede wszystkim w obszarze nanostruktur wykorzystujących te materiały. Rozważmy możliwości, jakie dała nowoczesna metoda epitaksji² z wiązek molekularnych, znana pod angielską nazwą *molecular beam epitaxy* (MBE).

Metodą MBE można hodować cienkie warstwy o różnych składach chemicznych, jak również układy wielowarstwowe, takie jak studnie kwantowe i supersieci, a dodatkowo metoda ta otwiera drogę do badań płaszczyzny styku dwóch warstw. Co więcej, metoda MBE pozwala także na wytwarzanie obiektów kwazi-, jedno- i zerowymiarowych, takich jak nanodruły lub kropki kwantowe.

Rozważmy więc kilka przykładów począwszy od studni kwantowej. Struktura zwana studnią kwantową powstaje, kiedy warstwa półprzewodnika o mniejszej przerwie energetycznej (studnia) znajduje się między warstwami o przerwie większej, które nazywamy barierami. Elektrony i dziury są wtedy zlokalizowane w warstwie pomiędzy barierami (a więc w studni). Stany tych elektronów (lub dziur) w takiej studni podlegają kwantyzacji wynikającej ze stosunku rozmiaru studni do długości fali de Broglie’a elektronu czy dziury. Głębokość studni oraz wysokość barier wynika z wartości przerw energetycznych materiałów tworzących studnię. Jak już pokazaliśmy, przerwy energetyczne „widziane” przez

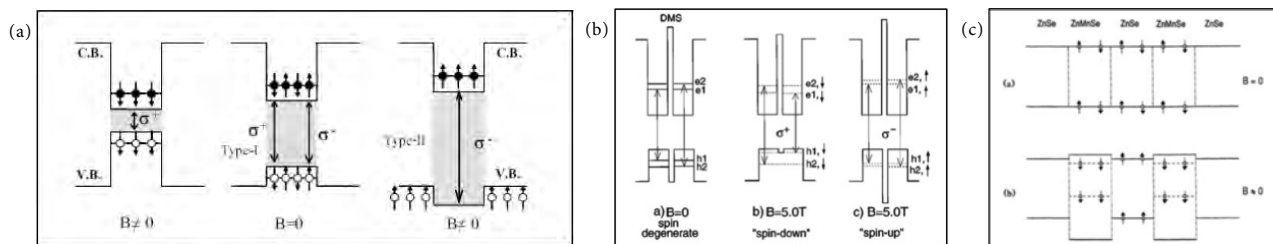
światło w półmagnetyku w obecności pola magnetycznego są różne dla światła spolaryzowanego lewo- lub prawoskrętnie i ta różnica jest wielka. Tak więc, jeżeli materiał studni jest półmagnetykiem, w polu magnetycznym głębokość studni „widziana” przez światło zwiększa się dla jednej polaryzacji kołowej, a zmniejsza się dla odwrotnej. Jeżeli natomiast mamy półmagnetyczne bariery, rosną one w pomiarach wykonanych jedną polaryzacją, a maleją dla odwrotnej.

Opiszę teraz kilka przykładów, w których warstwy półmagnetyczne odgrywają rolę w identyfikowaniu funkcji falowych lub są istotne dla synchronizacji stanów w celu umożliwienia tunelowania między studniami, czy też dla przelewania się nośników prądu z jednej warstwy do sąsiedniej. Wyobraźmy sobie kwantową studnię półmagnetyczną (np. $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$) między niemagnetycznymi barierami (np. $\text{Cd}_{1-y}\text{Mg}_y\text{Te}$). Jak już wspomniano, w polu magnetycznym krawędzie pasm przewodnictwa i walencyjnego przesuwają się (rys. 7 (a)) zupełnie zmieniając własności studni, a w dodatku zmieniając je inaczej dla jednego spinu i inaczej dla drugiego. Jak pokazano po lewej stronie rysunku, dla spinu „minus” studnia robi się głębsza zwiększając koncentrację obydwu nośników, przesuwając przejście optyczne do niższej energii i zwiększając jego intensywność. Natomiast dla spinów „plus” studnia robi się płytsza, a nawet (jak pokazano dla dziur po prawej stronie rysunku) zmiany takie mogą prowadzić do przesunięcia krawędzi pasma walencyjnego tak, że nośniki znajdują się jest poza studnią.

Wyobraźmy sobie teraz dwie niemagnetyczne studnie kwantowe oddzielone magnetyczną barierą (rys. 7(b)) [24]. W tej sytuacji możemy magnetycznie „dostrajać” sprzężenie stanów w sąsiadujących studniach. Inny ciekawy przykład pokazany jest na rys. 7 (c): mając materiał składający się z wielu warstw o takiej samej przerwie energetycznej, w tym przypadku $\text{ZnSe}/\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$, i przyłożony pole magnetyczne, osiągamy sytuację, kiedy warstwa $\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ dla jednego spinu staje się studnią, a dla drugiego barierą. Następuje wtedy periodyczna separacja nośników o różnych spinach, czyli supersieć spinowa [25]. Taka możliwość strojenia przerwy energetycznej i ekscytonów w półmagnetykach jest bez precedensu, umożliwiając tworzenie wielu interesujących sytuacji i pozwalając m.in. na kontrolowanie lokalizacji ekscytonów, badanie położenia funkcji falowej, badanie własności obszaru, gdzie materiały się stykają i innych. Podobne badania stosować można również w takich nanostrukturach, jak kropki i druty kwantowe.

Metoda MBE nie jest, oczywiście, jedyną metodą wytwarzania nanostruktur półprzewodnikowych. W szczególności wśród chemików popularne są koloidalne kropki kwantowe otrzymywane z roztworów odpowiednio przygotowanych mieszanin związków chemicznych

2. Epitaksja (*epi* – na, *taxis* – uporządkowanie) to nakładanie warstw monokrystalicznych na monokrystaliczne podłoże, wymuszające strukturę krystaliczną warstwy (przyp. red.)



Rys. 7. (a) półmagnetyczna studnia kwantowa między niemagnetycznymi barierami [24]; (b) dwie studnie niemagnetyczne oddzielone półmagnetyczną barierą [24]; (c) supersieć spinowa [25]

zwanych prekursorami. Takimi metodami można także otrzymać półmagnetyczne kropki, ale ze względu na szczupłość miejsca pominiemy w tym artykule badania nad takimi obiektami.

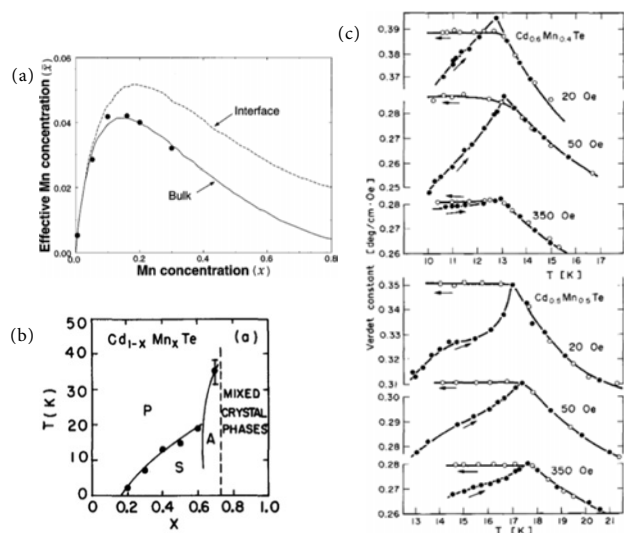
7. Własności magnetyczne półmagnetyków

Własności opisane powyżej, wynikające z oddziaływania *sp-d*, występują najsilniej, kiedy gęstość momentów magnetycznych (a więc np. Mn) jest względnie mała (5% do 20%). W takim magnetycznie „rozcieńczonym” obszarze jony Mn zachowują się niezależnie i reagują na przyłożone pole magnetyczne jak zwyczajny paramagnetyk. Namagnesowanie półmagnetyka jednak nie wzrasta, kiedy przekraczamy ten obszar, a raczej – paradoksalnie – maleje. Powodem tego jest fakt, że jony Mn mają tendencję ustawiania się antyferromagnetycznie jeden względem drugiego. Na przykład para jonów Mn w sąsiednich węzłach sieci kryształu ustawia swoje momenty magnetyczne w odwrotnych kierunkach kasując swój wkład do namagnesowania ośrodka, tzn. zmniejszając

efektywne namagnesowanie (rys. 8(a)). Tak więc, z jednej strony zwiększanie koncentracji Mn prowadzi do malenia ciekawych efektów *sp-d* diskutowanych powyżej [24], z drugiej jednak strony wtedy pojawiają się bardzo ciekawe własności interesujące badaczy magnetyków.

7.1. Szkoło spinowe

Punktem zwrotnym w badaniach własności magnetycznych półmagnetyków są prace rozpoczęte przez prof. Gałązkę z kolegami na uniwersytecie Purdue, które pokazały, że kiedy zwiększamy koncentrację jonów Mn w ośrodkach takich jak $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, pojawia się nowe zjawisko, tj. powstaje szkło spinowe. Ten stan magnetyczny można opisać następująco. Wyobraźmy sobie paramagnetyk, gdzie momenty magnetyczne są rozrzucone chaotycznie, każdy moment skierowany niezależnie od sąsiadów. W paramagnetyku kierunki momentów magnetycznych „tańczą” pod wpływem temperatury. Jeżeli więc moglibyśmy zrobić dwa kolejne zdjęcia tego ośrodka, będą one zupełnie inne. Poprzez skomplikowane oddziaływania Mn-Mn, na omówienie których niestety nie ma tu miejsca, przy obniżaniu temperatury następuje sytuacja, kiedy takie chaotyczne ustawienie momentów magnetycznych zamara. To znaczy, że te dwa kolejne zdjęcia rozkładu momentów magnetycznych w przypadku szkła spinowego będą identyczne – spiny są „zamrożone” na stałe. Pojawienie się takiego stanu przy obniżaniu temperatury materiału w obecności pola magnetycznego objawia się jako załamanie temperaturowej zależności ciepła właściwego, jak również namagnesowania. Z kolei po schłodzeniu materiału bez pola i w trakcie jego podgrzewania pojawia się pik temperaturowych zależnościach tych wielkości. Takie właśnie zjawiska odkrył po raz pierwszy prof. Gałązka z kolegami w szeregu kryształów półmagnetycznych, obserwując w nich maksima ciepła właściwego, namagnesowania lub innych efektów pośrednio zależnych od namagnesowania ośrodka [26]. Diagram fazowy z tej pracy pokazany jest na rys. 8(b). Pamiętajmy, że zjawiska wynikające z oddziaływania *sp-d*, jak na przykład efekt Faradaya, stanowią *de facto* miernik namagnesowania. Na rys. 8(c) widzimy pomiary efektu Faradaya wykazujące pik w temperaturowej zależności faradayowskiego kąta skręcenia, pięknie pokazując przej-



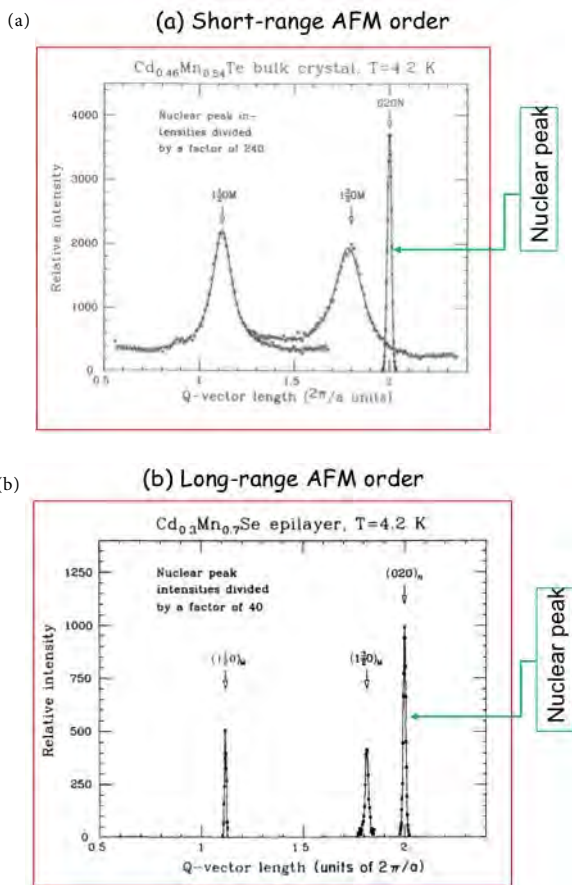
Rys. 8. (a) Zależność efektywnego namagnesowania od koncentracji manganu. Zauważmy, że po przekroczeniu ok. 20% koncentracji Mn namagnesowanie maleje z dalszym wzrostem koncentracji, w pobliżu miejsca, gdzie zaczynają dominować antyferromagnetyczne korelacje momentów Mn; (b) magnetyczny diagram fazowy zaproponowany przez R. R. Gałązkę dla $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, oddzielający fazę szkła spinowego (S) od fazy paramagnetycznej (P) oraz sugerujący początek fazy antyferromagnetycznej (A); (c) charakterystyczne piki namagnesowania w funkcji temperatury zmierzone efektem Faradaya ((a) [24], (b) [26], (c) [27])

ście do szkła spinowego, ilustrując przy tym również niezwykle ważną specyfikę półmagnetyków, w których zjawiska wynikające z oddziaływania *sp-d* naprawdę mierzą namagnesowanie [27].

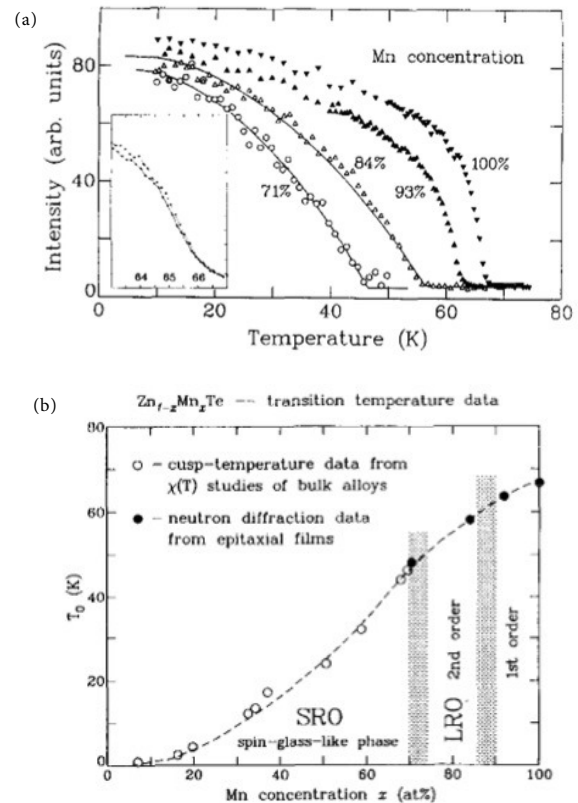
7.2. Uporządkowanie antyferromagnetyczne i ferromagnetyczne

Kiedy koncentracja manganu w sieci pierwiastków grup II i VI dalej się zwiększa, ośrodek wykazujący własności szkła spinowego powoli przekształca się w uporządkowany antyferromagnetyk, w którym początkowo uporządkowanie występuje w ograniczonych obszarach, ale obszary te powiększają się wraz z rosnącą koncentracją jonów Mn, aż w końcu obejmują całą objętość kryształu. Postęp dalekozasięgowego uporządkowania widać pięknie na rys. 9. W zidentyfikowaniu rodzajów uporządkowania i ich dogłębnym badaniu metodą dyfrakcji neutronów wiodącą rolę odegrał mój kolega, prof. Tomasz Giebułtowicz, którego poznałem dzięki prof. Gałążce [28, 29]. Wyniki otrzymane przez prof. Giebułtowicza (rys. 10 (a)) pokazują przejście do uporządkowania anty-

ferromagnetycznego: temperatura Néela wzrasta ze wzrostem koncentracji manganu. Te badania z kolei prowadzą do wykreślenia diagramu fazowego półmagnetyków dla całego obszaru koncentracji Mn (od zera do 100%), poczynając od obszaru paramagnetycznego, poprzez szkło spinowe, obszar uporządkowania krótkiego zasięgu, aż po klasyczny obszar antyferromagnetyczny osiągnięty dla najwyższych koncentracji (rys. 10(b)).



Rys. 9. (a) Piki dyfrakcji neutronowej dla litego kryształu $Cd_{1-x}Mn_xTe$, $x = 0,54$, oraz (b) dla kryształu $Cd_{1-x}Mn_xSe$ hodowanego metodą MBE. Szerokość pików jest miarą uporządkowania antyferromagnetycznego (AFM): czym węższy pik, tym większy zasięg uporządkowania. Zwróćmy uwagę, że przy $x = 0,70$ uporządkowanie AFM jest już zupełnie porównywalne z uporządkowaniem krystalicznym, oznaczonym na rysunkach przez „nuclear peak” [31].



Rys. 10. (a) Zależność dyfrakcji neutronowej od temperatury dla $Zn_{1-x}Mn_xTe$, ukazująca zależność temperatury Néela (tzn. temperatury zanikania porządku AFM) od składu próbki. Dane otrzymane dla próbek hodowanych metodą MBE, która pozwala na otrzymanie składów o x od 0,0 do 1,0; (b) pełny diagram fazowy dla $Zn_{1-x}Mn_xTe$, określający przechodzenie materiału od szkła spinowego, poprzez obszar o krótkim uporządkowaniu AFM (oznaczony SRO), do uporządkowania AFM o dalekim zasięgu [30]

Tu należy wspomnieć że, podobnie jak w przypadku zjawisk wykorzystujących oddziaływanie *sp-d*, postępy w epitaksjalnym hodowaniu kryształów odegrały ogromną rolę w rozszyfrowywaniu własności magnetycznych z dwóch powodów. Po pierwsze, metody epitaksjalne oparte są na wzroście kryształów bez równowagi termodynamicznej, to znaczy, że kiedy atom wbudowuje się w kryształ, epitaksja nie pozwala mu na znalezienie najlepszego dla siebie miejsca, wymuszając w ten sposób formowanie się kryształów niewystępujących w naturze. W wyniku tego możemy uzyskać związki $II_{1-x}Mn_xVI$ w całym przedziale wartości x od 0,0 do 1,0. Po drugie, epitaksja pozwala nam też na kontrolowanie naprężenia w warstwach hodowanych tą metodą, np. hodując

supersieć ZnTe/MnTe, wprowadzamy naprężenie w obydwu warstwach wynikające z różnicy stałych sieci sąsiednich warstw, wpływając w ten sposób na własności magnetyczne zależne od naprężenia w warstwach MnTe [30, 31, 32].

Nawiasem mówiąc, pełne uporządkowanie magnetyczne w materiałach typu $\text{II}_{1-x}\text{Mn}_x\text{VI}$ zostało wykazane w badaniach neutronowych, które udowodniły, że materiały te są magnetykami w pełnym tego słowa znaczeniu. W wyniku tych badań, na określenie tego rodzaju materiałów powstała alternatywna nazwa – rozcieńczone półprzewodniki magnetyczne (ang. *diluted magnetic semiconductors*).

W końcu nie można nie wspomnieć o fakcie, że w materiałach $\text{II}_{1-x}\text{Mn}_x\text{VI}$ możliwe jest również indukowanie stanu ferromagnetycznego zarówno w kryształach litych, jak i studniach kwantowych, w których sprzężenie ferromagnetyczne Mn-Mn jest „mediowane” przez dziury [33] i z sukcesem opisywane modelem Zenera [34]. Tego typu ferromagnetyzm zaobserwowany został po raz pierwszy w innym rodzaju półmagnetykach, w związkach $\text{IV}_{1-x}\text{Mn}_x\text{VI}$, przez prof. Gałązkę i jego ówczesnego doktoranta, obecnie profesora Tomasa Storego [35].

8. Posłowie

Osiągnięcia polskich fizyków w dziedzinie półmagnetyków, zainicjowanej w Polsce przez prof. Roberta Gałązkę, odbiły się głośnym echem na całym świecie. Miarą tego są setki publikacji naukowych na ten temat, w tym wyjątkowo duża liczba prac obcokrajowców – fizyków z całego świata, które powstały w wyniku współpracy z polskimi fizykami. Począwszy od współpracy z ośrodkami francuskimi i amerykańskimi, po dzisiejsze wspólne badania półmagnetyków na całym świecie, wykorzystujące w dużej mierze materiały pochodzące z polskich pracowni oraz pomiary doświadczalne wykonywane w polskich laboratoriach, jak też prace polskich teoretyków, badania dotyczące półmagnetyków przynoszą polskiej nauce wyjątkowy rozgłos w skali międzynarodowej. Co więcej, badania w tej dziedzinie – tak w Polsce jak i za granicą – mimo że zaczęły się w latach 70. XX w., cieszą się dzisiaj takim samym zainteresowaniem co pół wieku temu.

Literatura

- [1] R. T. Delves, B. Lewis „Zinc blende type HgTe-MnTe solid solutions”, *J. Chem. Phys. Solids* **24**, 549 (1963).
- [2] W. Giriat „Struktura energetyczna chalcogenidków rtęci” *Postępy Fizyki* **21**, 591 (2001).
- [3] A. Mycielski „Witold Giriat 1927 – 2001” *Postępy Fizyki* **52**, 192 (1970).
- [4] R. R. Gałązka, L. Sosnowski „Conduction Band Structure of $\text{Cd}_{0.1}\text{Hg}_{0.9}\text{Te}$ ” *Phys. Status Solidi B* **20**, 113 (1967).
- [5] R. T. Holm, J. K. Furdyna „Microwave helicon propagation and helicon-excited electron paramagnetic resonance in $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ” *Phys. Rev. B* **15**, 844 (1977).
- [6] R. T. Holm i J. K. Furdyna „Pobudzenie rezonansu spinowego falami helikonowymi w $\text{Hg}_{1-k}\text{Mn}_k\text{Te}$ ”, *Materiały IV Ogólnokrajowego Seminarium Związków Półprzewodnikowych A^{II}B^{VI}* (Jaszowiec 1973) p. 185.
- [7] D. P. Mullin, R. R. Gałązka, J. K. Furdyna „Microwave helicon propagation and the dynamic magnetic susceptibility in $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ” *Phys. Rev. B* **24**, 355 (1981).
- [8] J. Kossut „Scattering of Conduction Electrons by Magnetic-Impurities in Semiconductors of InSb-Type and HgTe-Type Band-Structure” *Phys. Status Solidi B* **72**, 359 (1975).
- [9] J. K. Furdyna „Diluted Magnetic Semiconductors” *J. Appl. Phys.* **64**, R29 (1988).
- [10] J. A. Gaj „Półprzewodniki polmagnetyczne – przystępna historia mojego życia (naukowego)” *Postępy Fizyki* **45**, 125 (1994).
- [11] A. V. Komarov, S. M. Ryabchenko, O. V. Terletskii „Magneto-optical investigations of the exciton band in CdTe: Mn^{2+} ” *J. Exp. Teor. Phys.* **46**, 606 (1977).
- [12] J. A. Gaj, R. R. Gałązka, J. Ginter „Exchange Interaction of Manganese $3d^5$ States with Band Electrons in $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ” *Phys. Status Solidi B* **89**, 655 (1978).
- [13] R. L. Aggarwal, S. N. Jasperson, P. Becla, J. K. Furdyna „Optical determination of the antiferromagnetic exchange constant between nearest neighbor Mn⁺ ions in $\text{Zn}_{0.95}\text{Mn}_{0.05}\text{Te}$ ” *Phys. Rev. B* **34**, 5894 (1986).
- [14] D. V. Bartholomew, J. K. Furdyna, A. K. Ramdas „Interband Faraday Rotation in Diluted Magnetic Semiconductors - $\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ and $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ” *Phys. Rev. B* **34**, 6943 (1986).
- [15] J. Jaroszyński, T. Andrearczyk, G. Karczewski, J. Wróbel, T. Wojtowicz, E. Papis, E. Kamińska, A. Piotrowska, D. Popovic, T. Dietl „Ising quantum Hall ferromagnet in magnetically doped quantum wells” *Phys. Rev. Lett.* **89**, 266802 (2002).
- [16] M. Dobrowolska, W. Dobrowolski, R. R. Gałązka J. Kossut „Thermo-Oscillations of Magnetoresistance in $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ” *Solid State Commun.* **28**, 25 (1979).
- [17] C. Betthausen, P. Giudici, A. Iankilevitc, C. Preis, V. Kolkovsky, M. Wiater, G. Karczewski, B. A. Piot, J. Kunc, M. Potemski, T. Wojtowicz, D. Weiss „Frac-

- tional quantum Hall effect in a dilute magnetic semiconductor" *Phys. Rev. B* **90**, 1153021 (2014).
- [18] C. Betthausen, T. Dollinger, H. Saarikoski, V. Kolkovsky, G. Karczewski, T. Wojtowicz, K. Richter, D. Weiss „Spin-Transistor Action via Tunable Landau-Zener Transitions" *Science* **337**, 324 (2012).
- [19] T. Wojtowicz, A. Mycielski "Magnetic field induced nonmetal-metal transition in the open-gap $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ " *Physica B+C* **117-118**, 476 (1983).
- [20] T. Wojtowicz, T. Dietl, M. Sawicki, W. Plesiewicz, J. Jaroszynski "Metal-insulator transition in semimagnetic semiconductors" *Phys. Rev. Lett.* **56**, 2419 (1986).
- [21] T. Wojtowicz „Wpływ oddziaływania wymiennego na zjawiska transportu w $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ " praca doktorska, Instytut Fizyki PAN (1987), s. 97.
- [22] T. Dietl J. Spałek „Effect of Fluctuations of Magnetization on the Bound Magnetic Polaron – Comparison with Experiment" *Phys. Rev. Lett.* **48**, 355 (1982).
- [23] T. Wojtowicz, S. Kolesnik, I. Miotkowski, J. K. Furdyna „Magnetization of bound magnetic polarons: direct determination via photomemory effect" *Phys. Rev. Lett.* **70**, 2317 (1993).
- [24] S. Lee, M. Dobrowolska, J. K. Furdyna, H. Luo, L. R. Ram-Mohan „Magneto-optical study of interwell coupling in double quantum wells using diluted magnetic semiconductors" *Phys. Rev. B* **15**, 16939 (1996).
- [25] N. Dai, H. Luo, F. C. Zhang, N. Samarth, M. Dobrowolska, J. K. Furdyna „Spin Superlattice Formation in $\text{ZnSe}/\text{ZnMnSe}$ Multilayers" *Phys. Rev. Lett.* **67**, 3824 (1991).
- [26] S. Nagata, R. R. Gałazka, G. D. Khattak, C. D. Amarasekara, J. K. Furdyna, P. H. Keesom „Spin Glass Transition in a diluted Frustrated Lattice: $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$, and $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ " *Physica B* **107**, 311 (1978).
- [27] E. Kierzek-Pecold, W. Szymańska R. R. Gałazka, „Dynamical behavior of spin-glass $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ from low field Faraday rotation measurements", *Solid State Commun.*, **50**, 685 (1984).
- [28] T. Giebultowicz, W. Minor, B. Buras, B. Lebech, R. R. Gałazka, „Neutron Diffraction Study of Magnetic Ordering in $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ", *Solid State Commun.* **40**, 499 (1981).
- [29] T. Giebultowicz, H. Kepa, B. Buras, K. Clausen, R. R. Galazka, „Neutron Scattering Studies of the Antiferromagnetic Phase of $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ", *Phys. Scr.* **25**, 731 (1982).
- [30] T. M. Giebultowicz, P. Kłosowski, N. Samarth, H. Luo, J. K. Furdyna, J. J. Rhyne „Neutron-diffraction studies of zinc-blende MnTe epitaxial films and MnTe/ZnTe superlattices: The effect of strain and dilution on a strongly frustrated fcc antiferromagnet" *Phys. Rev. B* **48**, 12817 (1993).
- [31] J. K. Furdyna, M. Dobrowolska, H. Luo, „Semiconductors, Diluted Magnetic", *Encyclopedia of Applied Physics* vol. 17, p. 373, VCH Publishers (1996).
- [32] N. Samarth, H. Luo, J. K. Furdyna, T. M. Giebultowicz, D. D. Awschalom „Static and Dynamic Spin Organization in Magnetic Semiconductor Nanostructures" *APP A* **82**, 573 (1992).
- [33] A. Hauray, A. Wasiela, A. Arnoult, J. Cibert, S. Tarentenko, T. Dietl, Y. Merle d'Aubigné, „Observation of a Ferromagnetic Transition Induced by Two-Dimensional Hole Gas in Modulation-Doped CdMnTe Quantum Wells" *Phys. Rev. Lett.* **79**, 511 (1997).
- [34] T. Dietl, H. Ohno, F. Matsukura, J. Cibert, D. Ferrand „Zener Model Description of Ferromagnetism in Zinc-Blende Magnetic Semiconductors" *Science* **287**, 1019 (2000).
- [35] T. Story, R. R. Gałazka, R. B. Frankel, P. A. Wolff „Carrier-concentration-induced ferromagnetism in PbSnMnTe " *Phys. Rev. Lett.* **56**, 777 (1986).



Z prof. Krzysztofem Meissnerem
i prof. Mariuszem Dąbrowskim, Świnoujście,
2011

Dekoracja Krzyżem Oficerskim Orderu
Odrodzenia Polski z prof. Tadeuszem
Skośkiewiczem i Henrykiem Wujcem, 2013



Świnoujście, 2011

Na Zjeździe Fizyków w Lublinie, 2011



Z bratem Pawłem, Serock 2014



W Warszawskich Łazienkach, 2014

Z żoną Lidią Goettig, Warszawa 2010

W Bibliotece na Jasnej Górze z żoną Lidią, 2013





Profesor
Robert Rafał Gałązka
1937–2021



Kwiecień 2021
Powązki wojskowe, kwatera K-6a-19

Robert Rafał Gałązka (1937–2021)

Tomasz Story*

Instytut Fizyki PAN, Warszawa

Moje wspomnienia ze współpracy z profesorem Robertem Rafałem Gałązką obejmują okres blisko 40 lat, od początku moich studiów doktoranckich w Instytucie Fizyki PAN do 14.04.2021 – dnia, w którym Profesor odszedł ciągle jeszcze jako aktywny naukowiec. Mam też przywilej bycia jedną z 15 osób, których prof. R. R. Gałązka był promotorem pracy doktorskiej. Sześcioro spośród nas zostało już profesorami fizyki.

Na początku naszej współpracy profesor-promotor/doktorant otrzymałem od Niego to, co na tym etapie kariery naukowej jest najważniejsze: (i) propozycję znakomitego, jak pokazała przyszłość, tematu pracy doktorskiej, (ii) niezbędne do realizacji tego zadania kryształy półprzewodnikowe wyhodowane na zamówienie przez Andrzeja Szczerbakowa i (iii) skierowanie do zespołu Andrzeja Jędrzejczaka na szkolenie w zakresie doświadczalnej fizyki półprzewodników. Moje doktorskie zadanie było jasno sformułowane: pokazać doświadczalnie, że w półprzewodnikach półmagnetycznych możliwe jest sterowanie właściwościami magnetycznymi poprzez zmianę parametrów półprzewodnikowych. Profesor Gałązka konsekwentnie, acz wtedy jeszcze bez sukcesu, poszukiwał takich efektów w różnych materiałach półprzewodnikowych. Wszystkie te działania odegrały kluczową rolę w moim dalszym rozwoju naukowym. Umiejętne połączenie możliwości technologicznych samodzielnego wytwarzania nowych materiałów półprzewodnikowych, wszechstronnych prac doświadczalnych i współpracy w tworzeniu modeli teoretycznych cechowały zarówno ten pierwszy, jak i wszystkie kolejne nasze wspólne projekty badawcze. Profesor bardzo cenił sobie współpracę z teoretykami, poszukiwanie nowych modeli czy wskazywanie na konieczność rewizji dotychczasowych poglądów.

Ze względu na dyrektorskie obowiązki prof. Roberta Gałązki nasze robocze spotkania odbywały się zwykle późnymi popołudniami, tak często jak było trzeba, ale w praktyce niezbyt często, co odpowiadało nam obu. Poza głównym tematem dotyczącym prowadzonych badań zwykle podnoszone były także inne zagadnienia: lekkie (ciekawostki ze świata nauki i życia codziennego,

o których Profesor lubił opowiadać) i poważniejsze (np. miejsce nauki w społeczeństwie czy rola PAN w nauce polskiej). Na przykład pamiętam, że na coroczne październikowe dociekania dziennikarzy czy ówczesnych politycznych decydentów „dlaczego znowu nie mamy polskiego Nobla z nauk przyrodniczych?” odpowiadał krótko: „Nobel kosztuje”, bezpośrednio nawiązując do niezmiennie kulejącego w Polsce finansowania badań naukowych. W kontaktach personalnych prof. Gałązka był bezpośredni i unikał tworzenia barier. Nie udało nam się natomiast nigdy namówić go do wygłoszenia pełnego cyklu wykładów dla doktorantów czy napisania monografii.

Robert Rafał Gałązka urodził się w Warszawie, ale w związku ze zniszczeniami wojennymi część dzieciństwa spędził w podwarszawskim Piasecznie, do Warszawy zaś powrócił jako licealista, by z tym miastem związać większość swojej kariery zawodowej. Po ukończeniu (1960) studiów na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, w 1961 r. Robert Gałązka podjął pracę w Instytucie Fizyki PAN szybko pokonując kolejne etapy kariery naukowej: doktorat (1966), habilitacja (1972), tytuł profesora (1980) i członkostwo PAN (1989). Przez wiele lat pełnił w IF PAN szereg funkcji kierowniczych: Dyrektora, Zastępcy Dyrektora ds. Naukowych, Kierownika Oddziału Fizyki Półprzewodników, Kierownika Zespołu oraz Przewodniczącego Rady Naukowej.

Bardzo sobie cenił doświadczenie zawodowe zdobyte podczas staży naukowych w Stanach Zjednoczonych, w szczególności na Uniwersytecie Purdue. Współpracował ze znakomitymi naukowcami, w szczególności profesorami Jackiem K. Furdyną, Davidem G. Seilerem i Williamem M. Beckerem, a pomiarów ciepła właściwego i namagnesowania w ultra niskich temperaturach uczył się od Pieta H. Keesoma. Uważał odbycie takiego stażu za bardzo ważny etap w rozwoju młodych naukowców i korzystając ze swoich rozległych kontaktów międzynarodowych w Stanach Zjednoczonych, Francji, Niemczech, Austrii, Holandii czy Japonii, aktywnie i skutecznie działał na rzecz umożliwienia odbycia staży naukowych wielu swoim współpracownikom. Byłem jednym z beneficjentów takich działań i odbyłem swój podoktorski staż na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Technicznego

*ORCID: 0000-0001-5428-9602

w Eindhoven. Rozpoczęło to naszą dalszą blisko 15-letnią, bardzo owocną współpracę z tym ośrodkiem.

Od początku kariery naukowej zainteresowania badawcze Profesora dotyczyły fizyki półprzewodników – dziedziny fizyki, w której polskie środowisko naukowe z jego ówczesnym liderem prof. Leonardem Sosnowskim (promotorem pracy doktorskiej Roberta Gałązki) miało światowej klasy osiągnięcia, szczególnie w dziedzinie półprzewodników wąskoprzerwowych (warszawska szkoła fizyki półprzewodników). Międzynarodowym dowodem uznania dla tych osiągnięć była organizacja w Polsce kilku najważniejszych konferencji z tej dziedziny, w tym światowej konferencji fizyki półprzewodników ICPS 1988 w Warszawie, której Profesor przewodniczył.

W pierwszym okresie badania prof. Gałązki dotyczyły struktury elektronowej nowych związków półprzewodnikowych pierwiastków grup II i VI układu okresowego: związków półprzewodnikowych o zerowej przerwie energetycznej (HgSe i HgTe) oraz półprzewodnikowego roztworu stałego $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ – kluczowego materiału optoelektroniki w zakresie podczerwieni. W tym materiale przerwa energetyczna kontrolowana jest składem chemicznym, co stwarza unikatową możliwość uzyskania materiału z liniową (typu Diraca) relacją dyspersji energii elektronów przewodnictwa.

Największym osiągnięciem naukowym Profesora jest odkrycie i zbadanie półprzewodników półmagnetycznych – nowej klasy materiałów, której był współtwórcą i której nadał nazwę. Materiały te, w postaci podstawieniowych roztworów stałych znanych związków półprzewodnikowych pierwiastków grup II i VI lub IV i VI z jonami magnetycznymi, znakomicie łączą dobre właściwości półprzewodnikowe i magnetyczne. W półprzewodnikach półmagnetycznych oddziaływania wymienne pomiędzy elektronami pasmowymi i jonami magnetycznymi modyfikują strukturę pasmową namagnesowanego półprzewodnika stwarzając warunki do obserwacji szeregu nowych efektów fizycznych wywołanych gigantycznym rozszczepieniem spinowym i polaryzacją stanów pasmowych, np. silny magnetoopór w $\text{Hg}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ i efekt Faradaya w $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ czy ferromagnetyzm indukowany nośnikami prądu w $\text{Pb}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{Mn}_y\text{Te}$. Sformułowany wówczas, z kluczowym udziałem prof. Roberta Gałązki, program badawczy poszukiwania nowych materiałów i efektów półmagnetycznych był i jest realizowany na całym świecie.

Profesor był przede wszystkim fizykiem – eksperymentatorem z dużym doświadczeniem w badaniach kwantowych oscylacji magnetooporu, efektów termoelektrycznych, ciepła właściwego i namagnesowania różnych materiałów. Był jednak także w pełni samodzielnym fizykiem-technologiem i przez całą swoją karierę naukową aktywnie działał na rzecz rozwoju bazy tech-

nologicznej IF PAN i wytwarzania nowych materiałów półprzewodnikowych zarówno masywnych monokryształów, jak i cienkich warstw epitaksjalnych. Warta odnotowania jest podjęta wspólnie z Marianem Hermanem inicjatywa budowy pierwszego polskiego stanowiska technologicznego do wytwarzania heterostruktur półprzewodnikowych metodą epitaksji z wiązek molekularnych.

Ciekawym aspektem tej aktywności naukowej Profesora był projekt technologiczny wytwarzania kryształów $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ w warunkach nieważkości. Rozpoczęło to Jego długą współpracę z agencjami badań kosmicznych. Przez szereg lat prof. Gałązka przewodniczył delegacji Polski w Komitecie ONZ ds. pokojowego wykorzystania przestrzeni kosmicznej.

Choć wiele z Jego pomysłów naukowych przyniosło znakomite rezultaty to były i takie, których realizacja napotkała na silne ograniczenia technologiczne, np. Profesor wielokrotnie wracał do idei wytworzenia nowej grupy półprzewodników półmagnetycznych z metalami przejściowymi 5d (ren jako analog manganu z konfiguracją elektronową d^5). Zadanie to pozostawił już jednak swoim następcom.

Będąc przez sześć dekad aktywnym naukowcem prof. Robert Gałązka był świadkiem ponownego wzrostu zainteresowania półprzewodnikowymi materiałami HgTe-CdTe, którymi zajmował się na początku swojej kariery naukowej. Trwająca obecnie nowa fascynująca odłona badań nad tymi materiałami związana jest z odkryciem nowej klasy materiałów kwantowych – izolatorów topologicznych. W strukturze elektronowej tego rodzaju układów kluczową rolę odgrywają silne efekty relatywistyczne prowadzące do tzw. odwrotnego układu pasm elektronowych z nowymi stanami elektronowymi o dyspersji Diraca na brzegach (krawędziach lub powierzchniach) układu.

Lata 90. przyniosły natomiast ogólnosiwiatowy wzrost zainteresowania półprzewodnikami półmagnetycznymi na bazie najważniejszej rodziny związków półprzewodnikowych pierwiastków grup III i V z Mn, przede wszystkim $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$. Inicjatorzy tego kierunku badań, japońscy profesorowie Hideo Ohno i Hiro Munekata, często podkreślali bezpośrednią inspirację jaką czerpali z pionierskich prac prof. Roberta Gałązki i Jego współpracowników nad półprzewodnikami półmagnetycznymi.

Wybitne osiągnięcia naukowe i organizacyjne Profesora zostały uhonorowane licznymi prestiżowymi nagrodami naukowymi: Nagrodą PAN im. Marii Skłodowskiej-Curie (1987), Nagrodą Premiera Rządu RP (1996) i Medalem Mariana Smoluchowskiego PTF (2007), a także otrzymał szereg odznaczeń państwowych, w tym Krzyż Oficerski Orderu Odrodzenia Polski (2013).

Przez kilka dekad Profesor był także aktywnym uczestnikiem życia naukowego środowiska fizyków polskich, w szczególności w ramach Komitetu Fizyki PAN, któremu przez kilka lat przewodniczył. Angażował się także np. w organizację europejskiego konkursu dla młodzi i często z dumą podkreślał jak zdolnych młodych ludzi tam spotkał. Przez długi okres i dużym nakładem pracy prof. Gałązka realizował zadania członka ówczesnej Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów Naukowych. Jego duży, ogólnopolski autorytet powodował, że często powierzano mu rozstrzyganie w sprawach trudnych do oceny, a ważnych dla indywidualnych karier naukowców.

Przez szereg lat prof. Robert R. Gałązka przewodniczył Radzie Naukowej Instytutu Fizyki PAN bardzo anga-

żując się w wypracowywanie strategicznych dla Instytutu decyzji i utrzymanie wysokich standardów w procesie szkolenia kadr oraz awansów naukowych na wszystkich poziomach.

Wybór tematyki badawczej o dużej randze naukowej, jasne formułowanie doświadczalnie weryfikowalnych celów i zadań badawczych, silny nacisk na samodzielne wytwarzanie nowych materiałów półprzewodnikowych oraz trafny dobór współpracowników, także teoretyków, były kluczem do sukcesów Profesora w pracy naukowej. Profesor Robert Rafał Gałązka chciał i umiał dzielić się z innymi swoją wiedzą i doświadczeniem zarówno naukowym, jak i życiowym. Jego kariera naukowa jeszcze długo będzie źródłem inspiracji i przykładem godnym naśladowania.

Bernard Jancewicz (1943–2021)

E. Dębowska

Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Wrocławski



(fot. Tomasz Hołod, Polska Press)

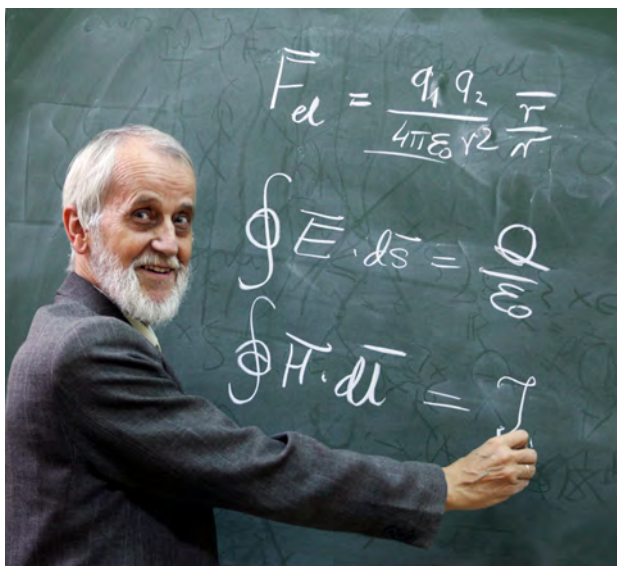
Według aktu urodzenia Bernard Jancewicz urodził się 15 maja 1943 r. we Wrocławiu, jednak nie jest tajemnicą, że prawdopodobnie urodził się w centralnej Polsce i został przez Niemców odebrany rodzicom i skierowany na Dolny Śląsk w celu germanizacji. Pierwsze trzy powojenne lata spędził w sierocińcu w Świdnicy, a potem został adoptowany przez polską rodzinę z Wrocławia i z tym miastem był związany przez całe swoje życie. Tu chodził do szkoły i tu także narodziła się jego naukowa pasja, której poświęcił całe życie – fizyka teoretyczna. Jeszcze jako uczeń II Liceum Ogólnokształcącego we Wrocławiu brał udział w zajęciach fotograficznych prowadzonych przez znanych fotografów, odwiedzał wystawy znanych fotografików i z sukcesem brał udział w wielu konkursach fotograficznych. Jako licealista angażował się ponadto w działalność Związku Harcerstwa Polskiego, był także członkiem samorządu szkolnego. Lubił wyprawy krajoznawcze po Dolnym Śląsku, chodził też po górach.

Na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego studiował w latach 1961-1966. W opinii swoich nauczycieli był jednym z najzdolniejszych studentów. Przez całe swoje zawodowe życie związany był z Instytutem Fizyki Teoretycznej UWr, gdzie podjął pracę w 1966 roku, zaraz po uzyskaniu tytułu magistra fizyki. Bernard był uczniem profesora Jana Łopuszańskiego, jednego z założycieli IFT UWr, twórcy szkoły fizyki matematycznej. Wzorem swego mistrza zajmował się metodami matematycznymi fizyki. W 1974 roku obronił pracę doktorską *Operatory położenia i ich wektory*

własne w relatywistycznej teorii kwantowej. Bernard interesował się fizyką w szerokim zakresie jednak jego pasją były formy różniczkowe i algebry Clifforda w zastosowaniu do elektrodynamiki. Zaowocowała ona monografiami *Multivectors and Clifford Algebra in Electrodynamics* (ed.) World Scientific, Singapore 1989 oraz *Wielkości skierowane w elektrodynamice* Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego 2000. Habilitował się w roku 1990 na podstawie rozprawy *Wielowektory i algebra Clifforda w elektrodynamice*. Stanowisko profesora Uniwersytetu Wrocławskiego uzyskał w roku 2002. W jego dorobku publikacyjnym znajduje się 71 pozycji, których jest autorem lub współautorem. Wspólnie z Janem Łopuszańskim i Lorą Nikolową opisał strukturę matematyczną ładunków, a wraz z Arkadiuszem Jadczykiem wykazał, że fotony można w ścisłym sensie lokalizować na pętłach. Swoje oryginalne wyniki prezentował na licznych konferencjach zagranicznych. Oprócz wielu krótkich wizyt w ośrodkach naukowych i wyjazdów konferencyjnych przebywał też na dłuższych stażach za granicą, na Uniwersytecie w Getyndze (prof. Christian Roos), Uniwersytecie w Helsinkach (prof. Pertti Lounesto) i Uniwersytecie Windsor w Toronto (prof. Frank Baylis).

Był niezrównanym dydaktykiem i wręcz uwielbianym wykładowcą; kilkanaście lat temu został wybrany najzyczliwszym wykładowcą we Wrocławiu. Studenci cenili Go nie tylko za profesjonalizm, ciepłe i wyrozumiałe podejście, ale także cierpliwość oraz naukowe poczucie humoru. Perfekcyjnie przygotowane notatki, rozdawane studentom, były gotowymi skryptami wielu kursów takich jak: analiza matematyczna, mechanika teoretyczna, mechanika kwantowa czy elektrodynamika. Był zaangażowany w popularyzację fizyki. Wygłaszał wykłady w szkołach, podczas dni otwartych Wydziału Fizyki i Astronomii UWr oraz Dolnośląskiego Festiwalu Nauki. Aktywnie uczestniczył w seminariach dla nauczycieli fizyki organizowanych przez Zakład Nauczania Fizyki Instytutu Fizyki Doświadczalnej UWr. Brał udział w Jesiennych Szkołach *Problemy dydaktyki fizyki* organizowanych przez ten Zakład.

Bernard był pomysłodawcą i organizatorem Przedszkoleń Fizyki Teoretycznej – studenckiej imprezy naukowej towarzyszącej Zimowym Szkołom Fizyki Teoretycz-



(fot. Paweł Relikowski, Polska Press)

nej, których historia zaczęła się w 1965 roku i trwa nieprzerwanie do dzisiaj. Przedszkola łączyły poważną naukę (umożliwiały studentom spotkania z naukowcami należącymi do światowej czołówki) ze sportem i zabawą studencką. Sport w czasie Przedszkola to były narty i sanki, a w tych ostatnich Bernard się lubował. Wtedy na głowę wkładał nieodzowną czapkę krasnała z pomponem. Wieczorami nie stronił od zabaw studenckich; chętnie, z animuszem brał udział w chóralnych śpiewach piosenek rajdowych. Nieliczni mieli okazję zobaczyć, jak tańczył charlestona, a robił to znakomicie.

W czasie pracy na uczelni pełnił wiele funkcji, w tym kierownika Zakładu Metod Matematycznych Fizyki (1992, 2002), zastępcy dyrektora ds. dydaktyki w Instytucie Fizyki Teoretycznej (1993-1997) oraz prodziekana ds. ogólnych i studenckich na Wydziale Fizyki i Astronomii (2002-2005). Był ponadto przedstawicielem Wydziału w Komisji Bibliotecznej Uniwersytetu Wrocławskiego (1999-2002) oraz członkiem komisji dyscyplinarnej dla studentów (2005-2008). Za swoją wieloletnią pracę otrzymał Złoty Krzyż Zasługi (1987) oraz medal Komisji Edukacji Narodowej (1998).

Po przejściu na emeryturę w 2008 roku podjął pracę w Instytucie Matematyki Politechniki Wrocławskiej. Tam szybko dał się poznać jako nauczyciel z powołania, który lubi uczyć. Zbierał entuzjastyczne pochwały, w pełni zasłużone. Był częstym gościem w Instytucie Fizyki Teoretycznej przy pl. Maxa Borna. Nadal regularnie pracował w swoim gabinecie na 4. piętrze, uczestniczył w życiu naukowym i organizacyjnym Wydziału Fizyki i Astronomii UWr, spotykał się nie tylko ze współpracownikami, ale i studentami, pomagając im w nauce i pracach dyplomowych, pracował nad nowymi publikacjami. Ostatnio pochłonięty był pracą nad korektą przygotowywanej do wydania swojej książki *Directed Quantities in Electro-*

dynamics dla renomowanego wydawnictwa Birkhauser. Niestety nagła śmierć przerwała tę pracę.

Był człowiekiem wyjątkowym, o wielkiej kulturze osobistej, bardzo subtelnym i wrażliwym, życzliwym, pozbawionym zawiści, lojalnym, skromnym, zaangażowanym we wszystko co robił, ceniącym dobrą robotę. Jak sam mówił, współpracownicy uważali go za pedanta, ponieważ lubił, gdy wszystko było uporządkowane. Właśnie dlatego od młodości pociągała go fizyka, bo była ona dla Niego synonimem ładu i porządku.

Nie sposób nie napisać o jego zaangażowaniu w działalność Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Bernard był wieloletnim członkiem Zarządu Głównego PTF. Znany był ze swojego zamiłowania do języka polskiego. Jego polszczyzna była wręcz wzorowa, miał bogatą wiedzę w tym zakresie, a niuanse języka polskiego były Jego pasją, dlatego od wielu lat należał do Komisji Nazewnictwa Fizycznego PTF, której od 1995 roku przewodniczył. Dzięki Jego zaangażowaniu uporządkowano i usystematyzowano polskie nazewnictwo z zakresu fizyki. On sam – zawsze uważając, że obcojęzyczne sformułowania w języku polskim powinny mieć polskie odpowiedniki – był autorem wielu polskich nazw. Dzięki Niemu znajdujący się w Europejskim Ośrodku Badań Jądrowych CERN Large Hadron Collider, zyskał obowiązującą do dziś polską nazwę – Wielki Zderzacz Hadronów.

Przez wiele lat pełnił funkcję korespondenta *Postępów Fizyki* z ramienia Oddziału Wrocławskiego PTF. W latach 2008-2011, a więc przez dwie kadencje oraz w latach 2014-2015 przewodniczył Zarządowi Oddziału Wrocławskiego. Był członkiem Zarządu naszego Oddziału także w bieżącej kadencji, pozostawaliśmy w kontakcie z Nim prawie do ostatniej chwili Jego życia. W ubiegłym roku, Roku Fizyki, w 100 rocznicę powstania PTF, podczas Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków w Warszawie został Mu przyznany Medal Stulecia PTF za pracę na rzecz Towarzystwa.

Bernard zamiłowanie do fizyki dzielił z umiłowaniem do swojego rodzinnego Wrocławia. Przez wiele lat był członkiem Zarządu i Prezydium Towarzystwa Miłośników Wrocławia, do którego wstąpił w 1967 roku. W tym samym roku przyłączył się do Komisji Nazewnictwa Ulic działającej w ramach TMW i został jej sekretarzem a od października 1983 roku przewodniczącym i pozostawał nim aż do śmierci, zapewniając tej instytucji szacunek, autorytet i uznanie w różnych kręgach. Nie ujmując nic historykom i językoznawcom, to właśnie Bernard Jancewicz był wybitnym znawcą powojennej historii miejskiego nazewnictwa we Wrocławiu. Sam był autorem przynajmniej kilkudziesięciu nazw wrocławskich ulic i innych ciągów komunikacyjnych, które obowiązują do dzisiaj. W sumie ok. 85% aktualnych nazw wrocławskich ulic, placów, osiedli, parków, mostów i innych obiektów

topograficznych powstało z inicjatywy lub przy merytorycznym wsparciu Komisji. Od 2005 roku był przewodniczącym Kapituły Odznaczeń TMW przyznającej najwyższe odznaczenia Towarzystwa m.in. Laur Wrocławia i Diament Wrocławia. W 1999 roku został Honorowym Członkiem TMW. Przyznano Mu także Wawrzyn Wrocławia – nagrodę dla członków Towarzystwa za szczególnie zaangażowanie na rzecz miasta. Także i władze miejskie Wrocławia doceniły Jego działalność, przyznając Mu w styczniu 2021 roku medal Zasłużony dla Wrocławia – Merito di Wratislavia.

Działalność w TMW to nie jedyna forma społecznego zaangażowania Bernarda. W 2015 roku był jednym z członków założycieli Uniwersyteckiego komitetu ds. opieki nad grobami osób zasłużonych dla Uniwersytetu Wrocławskiego. Od tego czasu każdego roku, bez względu na pogodę, z ogromnym zaangażowaniem uczestniczył w akcji Akademički Znicz Pamięci, sprzątając dziesiątki grobów pracowników uczelni na wielu wrocławskich cmentarzach.

Jesienią 2020 roku o Bernardzie zrobiło się głośno w całym kraju, gdy w mediach społecznościowych pojawiło się Jego zdjęcie z komentarzem internauty: „Przypadkowo szedłem dziś za tym nieznanym panem ulicą Szybowcową na osiedlu Kosmonautów [...]. Widziałem, jak po drodze zbierał porzucone na trawniku papiery i puszki po napojach, po czym wyrzucał je do koszy na śmieci”. Bernard został natychmiast rozpoznany, po czym pojawiła się lawina wpisów na temat jego niezwykle obywatelskiej postawy. „Po co ten cały raban, to przecież jest normalna rzecz” – mówił przed kamerą w programie TVN, dodając, że w wielu kręgach jest uważany za pedanta.

W niedzielę, 16 maja 2021 roku, prof. Bernard Jancewicz po dwóch tygodniach przegrał walkę z COVID-19. Utraciliśmy wspaniałego Kolegę, osobę zawsze służącą pomocą i dobrym słowem, oddaną całym sercem Wrocławowi, Uniwersytetowi Wrocławskiemu i Polskiemu Towarzystwu Fizycznemu. **Beno, na zawsze pozostaniesz w naszych sercach.**

Korzystałam z informacji umieszczonych na stronach (dostęp 24 czerwca 2021):

<https://uni.wroc.pl/odszedl-prof-bernard-jancewicz/>
http://www.ift.uni.wroc.pl/news/356/Zmar%C5%82_profesor_Bernard_Jancewicz

Naukowiec dociekliwy i poszukujący

Wojciech Cegła

Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Wrocławski

Doktor hab. Bernard Jancewicz, profesor Uniwersytetu Wrocławskiego odszedł nagle, zupełnie niespodziewanie

dla otoczenia, wprawiając je w szok. Covid-19 pokazał, że nie jest fantasmagorią. Jako niegdysiejszy student, później kolega i wieloletni współlokator pokoju do pracy oraz współautor artykułów naukowych chciałem przybliżyć Jego postać innym, podzielić się swoimi wspomnieniami.

Bernard jako naukowiec był dociekliwy i poszukujący głębokiego zrozumienia. Jego zainteresowania naukowe dotyczyły praw fundamentalnych od podstaw mechaniki kwantowej po teorię względności, ze szczególnym uwzględnieniem elektrodynamiki. Właśnie w elektrodynamice zostawił swój ślad naukowy w postaci opisu tej teorii przy użyciu wielowektorów. Jego książka *Clifford Algebra in Electrodynamics* (World Scientific Publications, 1989) była pionierska w tej dziedzinie. Nad kolejną monografią zatytułowaną *Directed Quantities in Electrodynamics*, przygotowywaną do wydania w wydawnictwie Birkhauser, pracował jeszcze w szpitalu, do ostatnich dni. Niestety korekty tej książki już nie zdołał dokończyć.

W zebranych przez siebie materiałach naukowych utrzymywał znakomity porządek, wymagający olbrzymiej pracy. Artykuły były starannie posegregowane tematycznie w teczkach. Wiele oryginalnych prac miało odręczne uwagi na marginesach (zawsze ołówkiem). Chętnie wypożyczał te swoje skarby skrzętnie zapisując datę i personalia pożyczającego. Przy zwracaniu zawsze miał czas na chwilę dyskusji.

Jako nauczyciel akademicki był wzorem do naśladowania. Świetnie przygotowane wykłady i ćwiczenia dawały studentom jasny przekaz wiedzy i mogły być gotowymi skryptami, od analizy matematycznej po mechanikę kwantową. Był zawsze dostępny dla studentów, również dla tych, których aktualnie nie uczył. Przekazywał im swój entuzjazm, dyskutował z nimi, nie tylko o fizyce. Nigdy nie wykorzystywał przewagi nauczyciela. Każdy student mógł liczyć na indywidualne korepetycje daleko wykraczające poza tradycyjne konsultacje. Proszony o opinie i uwagi na temat artykułu lub pracy licencjackiej czy magisterskiej potrafił zakończyć pytaniem „czy autor naprawdę to wszystko rozumie?”

Domagał się jasnych prezentacji od uczestników Przedszkoli Fizyki Teoretycznej – studenckich obozów naukowych towarzyszących Zimowym Szkołom Fizyki Teoretycznej w Karpaczu, których był inicjatorem i przez wiele lat opiekunem naukowym. Obozy te doczekały się 57. edycji!

Regularnie uczestniczył w seminariach Instytutu Fizyki Teoretycznej UWr, ale także bywał gościem seminariów prowadzonych w Instytucie Fizyki Doświadczalnej. Z inicjatywy Bernarda ogólne seminarium Instytutu Fizyki Teoretycznej doczekało się anonimowej ankiety oceniającej sposób prezentacji i atrakcyjność przedstawianej

tematyki. Był to bodziec do przygotowywania jasnych, ciekawych referatów. Potrafił zadać najprostsze pytanie, które czasami wprawiało referującego w zakłopotanie. Wszyscy ustępowali pola Bernardowi, gdy chodziło o polskie nazewnictwo lub jednostki fizyczne.

Bernard był bardzo aktywnym członkiem Polskiego Towarzystwa Fizycznego, wiernym czytelnikiem *Postępów Fizyki* oraz krakowskiego *Fotonu*. Kiedyś powiedział, że artykuły w *Postęпах Fizyki* o odkryciu fal grawitacyjnych są pasjonujące, jedne z lepszych jakie czytał ostatnio.

Nieinwazyjny ład wewnętrzny

Ludwik Turko

Instytut Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Wrocławski

Bernarda poznałem jesienią 1967 roku, obaj byliśmy pierwszorocznymi doktorantami w Instytucie Fizyki Teoretycznej. Ja przyjechałem z Łodzi, po studiach fizyki na Uniwersytecie Łódzkim, natomiast Bernard był absolwentem Uniwersytetu Wrocławskiego.

Pierwszą, rzucającą się w oczy cechą Bernarda Jancewicza, cechą, która pozostawała w niezmiennym stanie przez ponad półwieczny okres naszej znajomości, była wręcz niesamowita Jego wewnętrznego potrzeba uporządkowania. Każda kupiona przez Niego książka była na drugiej stronie okładki dokładnie opisana – gdzie i kiedy kupiona, marginesy były upstrzone uwagami, łącznie z datą lektury, w wszystko to czynione było słynnym, dobrze znanym, zawsze precyzyjnie naostrzonym ołówkiem. Wszelkie spotkania, seminaria, doktoraty trafiały do notatnika, podobnie jak wycinki co istotniejszych dla Niego materiałów prasowych.

Drugą charakterystyczną cechą Bernarda, zauważalną na etapie bliższej znajomości, był absolutny brak ambicji urządzania świata na obraz i podobieństwo swoje. W przeciwieństwie do wielu pedantów oczekujących tego samego od otoczenia, Bernard wszystko to robił wyłącznie z wewnętrznej potrzeby ładu, który był nieodłącznym

składnikiem Jego osobowości. Miał, ale tylko dla siebie, jakąś wizję dobrze opisanego świata, przypominającego dobrze prowadzone archiwum, którego był wyłącznym twórcą i kustoszem.

Uderzająca była życzliwość i szacunek Bernarda wobec innych ludzi. Był jednym z najlepszych wykładowców jakich miałem okazję spotkać, a z pewnością najstaranniejszym – zarówno w sposobie przygotowania wykładów, jak i stosunku do studentów. Wydawał się być niezmiernie wytrwały w wyznaczaniu kolejnych terminów zaliczeń i egzaminów, starając się wydobyć na powierzchnię, niczym w kopalni odkrywkowej, nawet głęboko zalegające pokłady wiedzy. Na Jego ostateczną ocenę niedostateczną trzeba było naprawdę „porządnie się napracować i zasłużyć”.

Profesor Bernard Jancewicz był jednym z tych, którzy tworzyli klimat i atmosferę miejsca, w którym się znajdowali. Zostaje po Nim trudna do zapelnienia pustka.

Dawid Halbersztadt

Bernardzie,

W kalendarzu to już lat sześćdziesiąt
 Prawo to fizyki? wydaje się miesiąc
 Wykłady, pracownie, ćwiczenia
 Egzaminy, wakacje, studiów wspomnienia
 Różne drogi wyznaczył nam los
 Fizyka pękaty zawodów otwiera trzos
 Profesor, w równaniach płątałeś kwanty
 Inni uczyli, w kopalni chodników równałem kanty
 Zakładaliśmy rodziny, zmieniali ustroje
 A spotkań jednakże były nastroje
 Duszę nam dawałeś i serce
 Wspomożeniem byłeś w rozterce
 Jutro nie staniesz znów na Borna placu
 Nie do Instytutu, do innego poszedłeś Pałacu
 Nie nadasz już nazwy wrocławskiej ulicy
 Pusto nam, żegnaj, z rocznika Fizycy.

WSPOMNIENIA

Fizyka na pierwszym miejscu! O Profesorze Lucjanie Jarczyku w pierwszą rocznicę śmierci

Maria Pawłowska

Biblioteka WFAIS UJ

Roman Płaneta

WFAIS UJ



Profesor dr hab. Lucjan Jarczyk (1927–2020) (fot. Krzysztof Magda)

6 maja 2021 r. odbyło się Czwartkowe Konwersatorium Krakowskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Fizycznego, poświęcone pamięci Lucjana Jarczyka – wybitnego uczonego, wspaniałego nauczyciela akademickiego i dydaktyka, profesora fizyki jądrowej w Uniwersytecie Jagiellońskim.

Na początek w specjalnej prezentacji przygotowanej przez mgr Marię Pawłowską, kierowniczkę Biblioteki WFAIS UJ, przypomniano sylwetkę Profesora Jarczyka, jego dzieciństwo, młodość, ścieżkę kariery naukowej, zainteresowania zawodowe i pasje pozanaukowe.

Kolejnym punktem programu była relacja filmowa z przekazania do Muzeum Uniwersytetu Jagiellońskiego

statuetki nagrody Minerva-Preis Jülich, którą przyznało prof. Jarczykowi w 2000 roku Towarzystwo Kulturalne Miasta Jülich. Autorem tej relacji był pan Bogusław Sławiński z Muzeum UJ.



Przekazanie statuetki Minerva-Preis Jülich do Muzeum UJ. Na zdjęciu po lewej stronie: Krystyna Szalkowska (żona prof. L. Jarczyka) i prof. Roman Płaneta (WFAIS UJ), po prawej stronie: prof. Krzysztof Stopka (dyrektor Muzeum UJ) i dr Natalia Bahlwan (główny inwentaryzator Muzeum UJ) (fot. M. Pawłowska)

Znalazł się również czas na wspomnienia. O Profesorze opowiadali Jego uczniowie i współpracownicy z IF UJ: prof. Kazimierz Bodek, prof. Bogusław Kamys, prof. Paweł Moskal, a także prof. Antoni Szczurek z IFJ PAN.



Kadr z filmu *Iskra, która zapala do działania* w reżyserii Macieja Zboroka

Podczas konwersatorium miał swoją premierę film o Profesorze Lucjanie Jarczyku, w reżyserii pana Macieja Zborka z Archiwum UJ *Iskra, która zapala do działania*. Film ten zrealizowano w 2019 roku w ramach programu *Pamięć Uniwersytetu*.

Profesor Lucjan Jarczyk (9.11.1927–15.02.2020)

Lucjan Jarczyk urodził się 9 listopada 1927 roku w Chorzowie jako syn Józefa i Jadwigi z domu Fik. Jego rodzice byli zaangażowani w działalność na rzecz polskości Śląska i aktywnie uczestniczyli w pracach polskich organów plebiscytowych. Za tę działalność Mama Lucjana została wyróżniona nadaniem stopnia podporucznika Wojska Polskiego. Natomiast Ojciec za działalność na rzecz polskości Śląska i udział w kampanii wrześniowej 1939 r. trafił do niemieckiego obozu koncentracyjnego w Dachau, skąd został przewieziony do Mauthausen. Po wojnie był pełnomocnikiem ds. organizacji Zakładu Ubezpieczeń Społecznych na Śląsku, gdzie pracował do 1950 r.

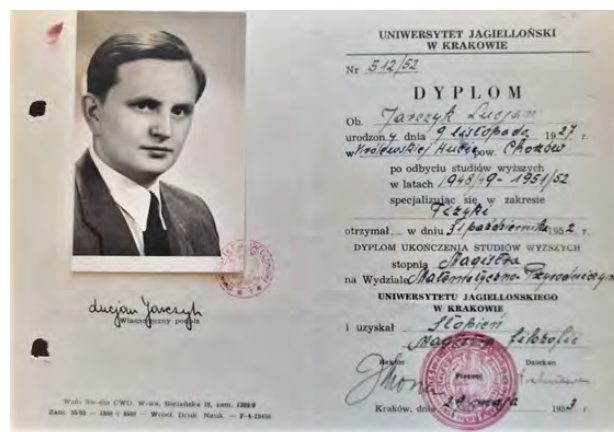


Państwo Jarczykowie z dziećmi – Lucjanem i Antoniną (ok. 1935) (archiwum rodzinne)

Lucjan rozpoczął naukę w szkole podstawowej w 1934 roku, a od roku 1941, już w trakcie niemieckiej okupacji, uczęszczał do 2-letniej Zawodowej Szkoły Handlowej. Po jej ukończeniu został księgowym w Fabryce Związków Azotowych w Chorzowie.

Po zakończeniu wojny równocześnie z pracą w Zakładach Azotowych podjął naukę w Gimnazjum, a później w Liceum dla Pracujących, gdzie w czerwcu 1948 roku uzyskał świadectwo dojrzałości. We wrześniu tego roku rozpoczął studia fizyki na Wydziale Przyrodniczym Uniwersytetu Jagiellońskiego i po czterech latach uzyskał tytuł magistra filozofii w zakresie fizyki.

Jeszcze w trakcie studiów, we wrześniu 1951, został zatrudniony na stanowisku asystenta w Instytucie Fizyki. W roku 1962 otrzymał stopień doktora nauk matematyczno-fizycznych, zaś w roku 1968 doktora habilitowanego. W grudniu 1972 roku objął stanowisko docenta w Zakładzie Fizyki Jądrowej Instytutu Fizyki UJ. Od 1980 roku pracował na stanowisku profesora nadzwyczajnego, a w 1989 został profesorem zwyczajnym.



Dyplom ukończenia studiów (archiwum rodzinne)

W 1998 r. przeszedł na emeryturę, ale wciąż brał udział w pracach naukowych i dydaktycznych realizowanych w Instytucie Fizyki UJ.

Młody Lucjan w początkowym okresie swojej kariery naukowej pracował pod opieką profesora Henryka Niewodniczańskiego, a po jego śmierci w 1968 r. pod kierunkiem prof. Andrzeja Hrynkiwicza. Jego badania w dziedzinie fizyki jądrowej w kolejnych latach skoncentrowane były na reakcjach sprężystego i niesprężystego rozpraszania, reakcjach transferu, reakcjach z utworzeniem jądra złożonego wywołanych przez cząstki α oraz jądra ${}^9\text{Be}$, procesach rozszczepienia jąder deuteru wywołanych protonami i neutronami, coulombowskim rozszczepieniu jąder deuteru i ${}^9\text{Be}$. Profesor Jarczyk zaangażowany był także w badania procesów spalacji wywołanych przez wysokoenergetyczne protony (1–2,5 GeV).

W późniejszym okresie zainteresowania naukowe Profesora skierowane były w stronę fizyki mezonów i baryonów. Można tutaj wymienić: badania przyprogowej produkcji mezonów π , η , η' , KK, K Λ w procesach elementarnych p+p, p+d przy energiach do 2,5 GeV oraz badania produkcji i rozpadu hiperjader produkowanych w reakcjach z protonami o energiach do 2,5 GeV.

Według współpracowników Profesora można wymienić kilka bardzo ważnych cykli Jego publikacji. Wśród nich jest seria prac o mechanizmie oddziaływania jąder ${}^9\text{Be}$ z jądrami atomowymi. Doświadczenia pokazały, że reakcje wywołane przez ${}^9\text{Be}$ przebiegają inaczej niż te wywołane przez silnie związane jądra ${}^{12}\text{C}$ czy ${}^{16}\text{O}$. To zgadzało się z przewidywaniami teorii, ale zaskoczeniem był fakt, że wyniki doświadczeń jednoznacznie wykluczyły w układzie ${}^9\text{Be}+{}^{12}\text{C}$ możliwość pojawiania się tzw. rezonansów molekularnych obserwowanych w układzie ${}^{12}\text{C}+{}^{12}\text{C}$. Ta obserwacja była w sprzeczności z przewidywaniami teoretycznymi, które za najbardziej sprzyjającym takim rezonansom uważały układ ${}^9\text{Be}+{}^{12}\text{C}$.

Swoje badania naukowe Profesor Jarczyk prowadził we współpracy międzynarodowej. Ważnym wydarzeniem w początkowym okresie pracy Profesora był dwu-

letni pobyt w Instytucie Fizyki Politechniki Federalnej w Zurichu, którym kierował wówczas prof. Paul Scherrer. W późniejszych latach Profesor zainicjował współpracę naukową także z innymi ośrodkami naukowymi w Europie. Można tu wymienić Centrum Badawcze Jülich w Niemczech, Uniwersytet w Groningen w Holandii, Uniwersytety w Katanii oraz Mesynie we Włoszech. W ramach tej współpracy wielu doktorantów, asystentów i profesorów z Uniwersytetu Jagiellońskiego mogło prowadzić badania naukowe na najwyższym poziomie w prestiżowych ośrodkach naukowych.

Profesor Jarczyk wychował kilka pokoleń fizyków jądrowych. Był promotorem w szesnastu przewodach doktorskich. Wśród jego doktorantów są dzisiejsi profesorowie: Kazimierz Bodek, Bogusław Kamys, Andrzej Magiera, Paweł Moskał, Antoni Szczurek i Henryk Wiśla. Profesor do końca życia dbał o wysoką jakość badań naukowych prowadzonych w Zakładzie Fizyki Jądrowej UJ w Krakowie, zawsze zabierał głos w dyskusjach prowadzonych podczas seminariów poświęconych fizyce jądrowej.

W ostatnim okresie swojej działalności naukowej Lucjan Jarczyk skupił się na takich zagadnieniach jak wczesny rozwój Wszechświata i symetrie w procesach elementarnych. Jego zainteresowanie historią rozwoju Wszechświata, a zwłaszcza najwcześniejszą fazą tego rozwoju, zaowocowało przygotowaniem publikacji zatytułowanej *Wczesny rozwój Wszechświata. Model Wielkiego Wybuchu – Big Bang* (Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010).

Profesor Lucjan Jarczyk był także organizatorem badań naukowych w dziedzinie fizyki jądrowej na nowo powstałym Uniwersytecie Śląskim w Katowicach, a w latach 1975–1981 był tam kierownikiem Zakładu Fizyki Jądrowej i Jej Zastosowań.

Profesor zainicjował organizowanie w Krakowie Międzynarodowych Konferencji MESON i był przewodniczącym komitetu organizacyjnego tych konferencji w latach 1996, 1998, 2000, 2002. Konferencje te odbywają się nieprzerwanie co dwa lata do dzisiaj i z biegiem lat stały się bardzo ważnym forum dyskusji naukowych.

W tym roku odbędzie się już szesnasta konferencja MESON 2021.

Profesor Jarczyk nie unikał zaangażowania w działalność organizacyjną. Był kierownikiem Pracowni Jądrowej (1963–1981) oraz kierownikiem Zakładu Techniki Obliczeniowej (1978–1981) w Instytucie Fizyki UJ. Był także organizatorem badań naukowych w dziedzinie fizyki jądrowej na nowo powstałym Uniwersytecie Śląskim w Katowicach, a w latach 1975–1981 kierownikiem tamtejszego Zakładu Fizyki Jądrowej i Jej Zastosowań. W latach 1995–1997 pełnił funkcję przewodniczącego Oddziału Krakowskiego Polskiego Towarzystwa Fizycznego.

Za swoją działalność naukową Profesor Jarczyk otrzymał wiele nagród. Wśród nich można wymienić: nagrodę zespołową III stopnia Państwowej Rady ds. Wykorzystania Energii Atomowej (1976); nagrodę zespołową I stopnia Ministra Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki (1979); nagrodę zespołową II stopnia Ministra Edukacji Narodowej (1989).

Natomiast za wkład w rozwój nauki i organizację międzynarodowej współpracy naukowej został uhonorowany między innymi Złotym Krzyżem Zasługi, Krzyżami Kawalerskim i Oficerskim Orderu Odrodzenia Polski, Krzyżem Zasługi Pierwszej Klasy Republiki Federalnej Niemiec. Jako jedyny Polak otrzymał prestiżowe odznaczenie Minerva-Preis Jülich za rozwój wymiany kulturalnej i naukowej pomiędzy Jülich i Krakowem. Uniwersytet Jagielloński uhonorował Profesora Jarczyka medalem Plus ratio quam vis.



Kadr z filmu *Iskra*, która zapala do działania w reżyserii Macieja Zboraka

NAGRODY POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

W 2021 roku Polskie Towarzystwo Fizyczne przyznało nagrody i wyróżnienia następującym osobom

Medal Mariana Smoluchowskiego:

prof. dr hab. Iwo Białynicki-Birula

za wybitny wkład do elektrodynamiki kwantowej i rozwoju fizyki w Polsce

Nagroda Naukowa PTF im. Wojciecha Rubinowicza:

prof. dr hab. Antoni Szczurek

za zaproponowanie oraz przeprowadzenie pionierskich badań dotyczących reakcji wywołanych fotonami, a w szczególności badań zderzeń foton-foton przy bardzo wysokich energiach

Wyróżnienie PTF dla autora prac naukowych:

prof. dr hab. Piotr Magierski

za cykl prac dotyczących dynamiki reakcji jądrowych, fizyki kwantowych gazów atomowych, fizyki gwiazd neutronowych oraz metod opisu kwantowych układów wielu ciał

Nagroda PTF im. Zygmunta Florentego Wróblewskiego dla autora rozprawy doktorskiej:

dr Tomasz Raducha

za rozprawę *Statistical physics of coevolving networks* przygotowaną pod kierunkiem prof. dr. hab. Ryszarda Kutnera

Wyróżnienie PTF dla autora rozprawy doktorskiej: dr inż. Mateusz Szatkowski

za rozprawę *Fine Structures of Light Generation with Spatial Light Modulators* napisaną pod kierunkiem prof. dr. hab. Jana Masajdy

Nagroda PTF im. Arkadiusza Piekary dla autora pracy magisterskiej: mgr Michał Lipka

za pracę magisterską *Generation of polarization entanglement in wavevector-multiplexed atomic quantum memory* przygotowaną pod kierunkiem dr. hab. Wojciecha Wasilewskiego, prof. UW

Wyróżnienie PTF dla autora pracy magisterskiej: mgr Marcin Kalinowski

za pracę magisterską *Exotic Phenomena in Cold Rydberg Atoms: Strongly Interacting Photons and Nonequilibrium Kondo Cloud* napisaną pod kierunkiem dr. Michała Tomzzy

Indywidualna Nagroda PTF za popularyzację fizyki i Medal Krzysztofa Ernsta:

dr Izabela Skwira-Chalot

za długoletnią, różnorodną działalność popularnonaukową

Równorzędna, zespołowa nagroda PTF za popularyzację fizyki i Medal Krzysztofa

Ernsta: prof. dr hab. Adam Maj z zespołem (dr hab. Jerzy Grębosz i p. Józef Skrzek)

za spektakl multimedialny i film *Na styku dwóch nieskończoności*

Nagroda PTF dla autora artykułu popularnonaukowego: p. Konstanty Kostrzewski (student Wydziału Matematyki, Informatyki i Mechaniki UW)

za artykuły „Pitagorejczycy i matematyczne początki muzyki” (*Delta* 07/2020) i „Jak dobrze nastroić klawesyn” (*Delta* 08/2020)

■ W 2021 roku Kapituła Nagród PTF dla Nauczycieli przyznała wyjątkowo dwie równorzędne nagrody i dwa Medale Grzegorza Białkowskiego

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

(Zespół Szkół Ogólnokształcących nr 7 w Szczecinie) za wybitne osiągnięcia w pracy z uczniami zdolnymi i wychowanie kilku pokoleń fizyków

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

(XIV Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica w Warszawie)

za wieloletnie kształtowanie zainteresowania fizyką oraz spektakularne sukcesy w pracy z uczniami zdolnymi

Nagroda PTF II stopnia dla wyróżniających się nauczycieli: mgr Barbara Szymańska-Markowska

(Szkoła Podstawowa nr 5 im. Króla Jana III Sobieskiego w Zabrze i Szkoła Podstawowa nr 25 im. Jana Pawła II w Zabrzu)

za odkrywanie uczniowskich talentów i rozbudzanie zainteresowań fizyką i astronomią

Nagroda PTF III stopnia dla wyróżniających się nauczycieli:

mgr inż. Ewelina Agnieszka Kędzierska

(Niepubliczne Liceum Ogólnokształcące Fundacji Nauka i Wiedza w Warszawie i Szkoła Podstawowa nr 12 im. Powstańców Śląskich w Warszawie)

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

Wyróżnienia PTF dla nauczycieli:

mgr Jolanta Konstańczuk

(Zespół Szkół im. gen. Nikodema Sulika w Dąbrowie Białostockiej)

za rozbudzenie zainteresowania fizyką wśród uczniów oraz aktywne działania na rzecz środowiska lokalnego

mgr Marta Młyńczyk

(Zespół Szkół Politechnicznych „ENERGETYK” w Wałbrzychu)

za bardzo aktywną i zróżnicowaną pracę w zakresie nauczania i popularyzacji fizyki

■ Dyplomy uznania za organizację 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich w Warszawie w 2020 roku

prof. dr hab. Katarzyna Chałasińska-Macukow

za cenne rady i wielkie zaangażowanie na rzecz organizacji 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich

mgr Maria Dobkowska

za wielkie zaangażowanie na rzecz organizacji 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich, a w szczególności Bazaru dydaktycznego i Sesji „Sto lat dydaktyki fizyki w Polsce”

dr hab. Aneta Drabińska

za wszechstronne zaangażowanie w organizację 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich

dr inż. Przemysław Duda

za wielkie zaangażowanie i bezpośrednie wsparcie organizacji 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich, w szczególności na terenie Wydziału Fizyki PW

prof. dr hab. Jerzy Garbarczyk

za wielkie zaangażowanie na rzecz organizacji 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich, a w szczególności sesji historycznej Zjazdu

dr hab. Katarzyna Grabowska

za ofiarną pracę przy przygotowaniu wniosku o dofinansowanie oraz wszechstronne zaangażowanie w organizację 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich

dr Jan Grabski

za ofiarną pracę przy przygotowaniu wniosku o dofinansowanie oraz prowadzenie finansów 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich

prof. dr hab. Maciej Kolwas

za cenne rady i wsparcie merytoryczne organizacji 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich

prof. dr hab. Ryszard Kutner

za ofiarną pracę przy przygotowaniu wniosku o dofinansowanie oraz prowadzenie finansów 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich

dr hab. inż. Michał Makowski

za bezpośrednie wsparcie organizacji 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich, w szczególności na terenie Wydziału Fizyki PW, w szczególności instalacji holograficznej

prof. dr hab. Jan Mostowski

za wielkie zaangażowanie na rzecz organizacji 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich, a w szczególności sesji „100 plakatów na stulecie”

dr inż. Krzysztof Petelczyk

za wielkie poświęcenie i wszechstronne zaangażowanie w organizację 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich, w szczególności oprawę medialną, przygotowanie transmisji on-line, oprawy graficznej plakatów, promocji w mediach społecznościowych oraz wielu innych działań związanych ze Zjazdem

dr inż. Tomasz Pietrzak

za wielkie poświęcenie i nieocenione wsparcie informatyczne 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich

dr Piotr Rączka

za cenne rady i wsparcie merytoryczne organizacji 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich

dr Izabela Skwira-Chalot

za wielkie zaangażowanie w organizację Konkursów Roku Fizyki: fotograficznego i filmowego *Fizyka to lubię* oraz literackiego *Mój nauczyciel fizyki*

prof. dr hab. Tadeusz Stacewicz

za ofiarną pracę na rzecz 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich, a w szczególności sesji „100 plakatów na stulecie”

prof. dr hab. Andrzej Wymśolek

za wielkie poświęcenie w kierowaniu pracami Komitetu Organizacyjnego i wszechstronne zaangażowanie w koordynację przygotowań do 46. Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich, w szczególności za skuteczne stworzenie i wdrożenie hybrydowej formuły zjazdu w obliczu pandemii COVID-19

Serdecznie gratulujemy wszystkim nagrodzonym i wyróżnionym!

Kronika Polskiego Towarzystwa Fizycznego

KWIECIEŃ 2021

Kraków. Grupa studentów Instytutu Informatyki Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie dołączyła do projektu *J/ψ Under Observation* (w ramach projektu Global Classroom Initiative), który ma za zadanie przedstawić historię odkrycia cząstki J/ψ z 1974 r. Rezultatem tego ma być gra edukacyjna *JUNO*, działająca na smartfonach i przeznaczona dla uczniów. Będzie ona umożliwiać zagłębienie się w świat fizyki cząstek elementarnych z wykorzystaniem *Google Cardboard* i dowolnego smartfonu. Dzięki grze będzie można zapoznać się z eksperymentami, które doprowadziły do odkrycia cząstki J/ψ .

Projekt został zaprezentowany 18.04.2021 na Zjeździe Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego (American Physical Society, APS), a panel o *J/ψ Under Observation* współprowadzili studenci Instytutu Informatyki UP w Krakowie: Michał Pogwizd i Adrian Gaborek. Opiekunem polskiej grupy jest dr inż. Łukasz Bibrzycki z Instytutu Informatyki UP w Krakowie. Oprócz studentów z UP w projekcie JUNO uczestniczą studenci Uniwersytetu w Bonn, Uniwersytetu Indiany, Uniwersytetu Barcelońskiego i Uniwersytetu Complutense w Madrycie. (<https://www.up.krakow.pl/universytet/aktualnosci/4522-projekt-studentow-z-institutu-informatyki-zostal-zaprezentowany-na-kwietniowym-zjeździe-amerykańskiego-towarzystwa-fizycznego>).

MAJ 2021

Białystok. Wznowienie działalności Młodzieżowego Uniwersytetu Przyrodniczego



Po kilkumiesięcznej przerwie epidemicznej wznowił działalność Młodzieżowy Uniwersytet Przyrodniczy. *Cztery żywioły Ziemi – poznaję i mądrze korzystam* to oferta Wydziałów Biologii, Chemii i Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku skierowana do uczniów szkół podstawowych (klasy V-VIII).

W czasie zajęć omawiane są zagadnienia dotyczące wody, powietrza, ziemi i ognia. Studenci MUP przeprowadzają liczne eksperymenty laboratoryjne, mikroskopowe, uczestniczą w zajęciach terenowych i minikonferencji. Kolejna edycja projektu startuje już w październiku br. Szczegóły na stronie: <https://biologia.uwb.edu.pl/podstrony/mlodziejowy-universytet-przyrodniczy/>

Białystok. Spotkania z nauką 2021 Na Wydziale Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku odbył się cykl wykładów i warsztatów pod hasłem Spotkania z nauką. Celem przedsięwzięcia jest popularyzacja oraz budowanie pozytywnego obrazu nauk przyrodniczych poprzez kontakt z naukowcami w przestrzeni uniwersyteckiej. Niestety ze względu na obecną sytuację epidemiczną tegoroczne spotkania odbyły się w formie zdalnej. Słuchacze mogli zapoznać się m.in. z percepcją dźwięków rejestrowanych przez implanty ślimakowe, słonymi i słodkimi strukturami krystalicznymi oraz „ostateczną” odpowiedzią na pytanie: Jak grać, aby wygrać? Kolejne Spotkania z nauką już za rok.

CZERWIEC 2021

Białystok. 15.06.2021 – otwarcie wystawy „Dziesięciu fizyków stulecia PTF” Na Wydziale Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku otwarta została wystawa „Dziesięciu fizyków stulecia PTF”. Prezentowane są tu portrety i krótkie opisy dokonań wybitnych polskich naukowców, którzy tworzyli w okresie formowania się Polskiego Towarzystwa Fizycznego i przyczynili się do rozwoju fizyki w Polsce i na świecie.

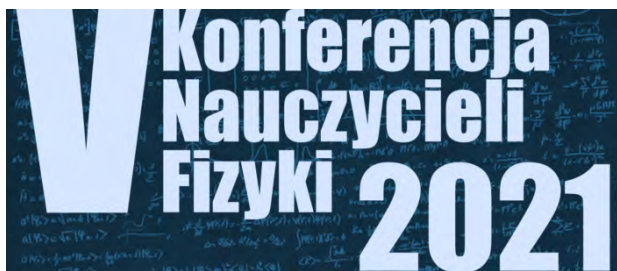
Białystok. Uniwersytet w Białymstoku w *Global Ranking of Academic Subjects* Dzięki osiągnięciom naukowców z Wydziału Fizyki Uniwersytet w Białymstoku jako

jedyna podlaska uczelnia znalazł się w prestiżowym gronie 25 polskich uczelni akademickich odnotowanych w corocznym rankingu Global Ranking of Academic Subjects (GRAS). W dyscyplinie fizyka uczelnia uplasowała się w pierwszej pięćsetce najwyższej sklasyfikowanych uczelni z całego świata.

Białystok. Wysoka lokata Wydziału Fizyki w rankingu Perspektyw W tegorocznym Rankingu Szkół Wyższych wydawnictwa Perspektywy Wydział Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku zajął trzecie miejsce wśród kierunków studiów w kategorii fizyka. Awans o trzy miejsca w stosunku do analogicznego rankingu z roku ubiegłego pokazuje dynamizm rozwoju badań naukowych prowadzonych na naszym wydziale.

V Konferencja Nauczycieli Fizyki

W sobotę 25.09.2021 na Wydziale Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku odbędzie się V Konferencja Nauczycieli Fizyki. Jest to kolejne spotkanie, które organizuje Wydział Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku we współpracy z Oddziałem Białostockim Polskiego Towarzystwa Fizycznego oraz Polską Akademią Nauk (oddział w Olsztynie i w Białymstoku z siedzibą w Olsztynie). Konferencja ma na celu integrację i poszerzenie kompetencji środowiska akademickiego i nauczycieli przedmiotów przyrodniczych, a także prezentację nowości na rynku wydawniczym i pomocy naukowych. Zapraszamy do zapo-



znania się ze szczegółowymi informacjami na stronie <https://physics.uwb.edu.pl/wf/knf2021/>.

WRZESIEŃ 2021

Warszawa. 100 lat fizyki – od Hożej do Pasteura Od roku 2014 siedzibą Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego jest budynek przy ul. Pasteura 5. Korzenie Wydziału sięgają lat 20. ubiegłego stulecia, kiedy w styczniu 1921 roku Zakład Fizyczny UW rozpoczął użytkowanie budynku przy ul. Hożej 69 w Warszawie. Wspomniane wydarzenie stanowi szczególnie punkt odniesienia dla wielu pokoleń fizyków związanych z Wydziałem Fizyki UW. W jego setną rocznicę, w dniach 10-12.09.2021 odbyło się hybrydowe (ze względu na obostrzenia epidemiczne), tj. stacjonarne i transmitowane online spotkanie pod hasłem *100 lat fizyki – od Hożej do Pasteura*. Patronatem honorowym objęli tę uroczystość JM Rektor Uniwersytetu Warszawskiego, Burmistrz Dzielnicy Ochota m.st. Warszawy oraz Burmistrz Dzielnicy Śródmieście m.st. Warszawy.

Podczas dwudniowych obrad absolwenci Wydziału Fizyki UW z kraju i zagranicy podsumowali dokonania warszawskiej fizyki rodem z Hożej na przestrzeni ostatniego stulecia. Obchody wzbogaciły wydarzenia towarzyszące: zwiedzanie nowej siedziby, wystawy, odsłonięcie tablicy pamiątkowej, pokazy filmów, zasadzenie pamiątkowego drzewa oraz niekończące się spotkania, rozmowy, dyskusje uczestników.

Obecnie Wydział Fizyki UW jest najlepszym wydziałem w tej dyscyplinie w Polsce i liczącym się ośrodkiem naukowym na świecie. W 2020 roku uplasował się w pierwszej setce Akademickiego Rankingu Uniwersytetów Świata (zwanego też szanghajskim), uchodzącego za jeden z najbardziej znanych i miarodajnych rankingów akademickich. Więcej informacji o obchodach: <https://hozapasteura100lat.fuw.edu.pl/>

100 lat FIZYKI

od Hożej do Pasteura
Księga wspomnień



100 LAT FIZYKI od Hożej do Pasteura Księga wspomnień

Książka dotycząca historii fizyki na Uniwersytecie Warszawskim, związanej przez blisko stulecie z pierwszą siedzibą – gmachem przy ulicy Hożej 69. Swoją pracę naukową wspominają uczestnicy wielu ważnych zdarzeń związanych m.in. z tak wybitnymi polskimi fizykami, słynnymi ze swoich odkryć o randze międzynarodowej, jak Aleksander Jabłoński, Marian Danysz, Jerzy Pniewski, Andrzej Trautman czy Marek Pfützner, uwzględniając przy tym szeroko tło historyczne. Tom pod redakcją naukową Andrzeja Kajetana Wróblewskiego zawiera teksty czterdziestu czterech autorów i obejmuje okres od początków istnienia fizyki na Hożej do czasów dzisiejszych, które biegną już w nowej siedzibie na warszawskiej Ochocie przy ulicy Pasteura 5.

Józef Szudy

100 LAT OPTYKI na Uniwersytecie Warszawskim 1921–2021

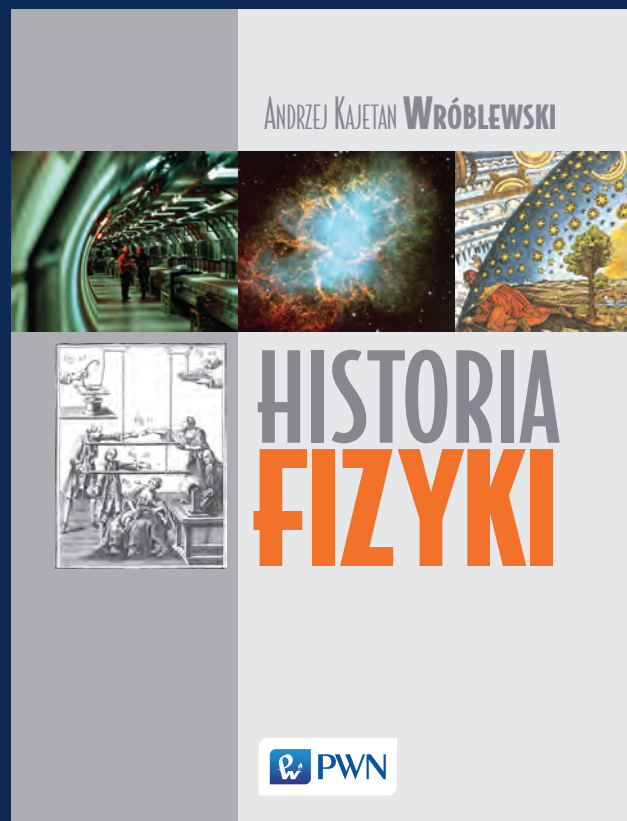
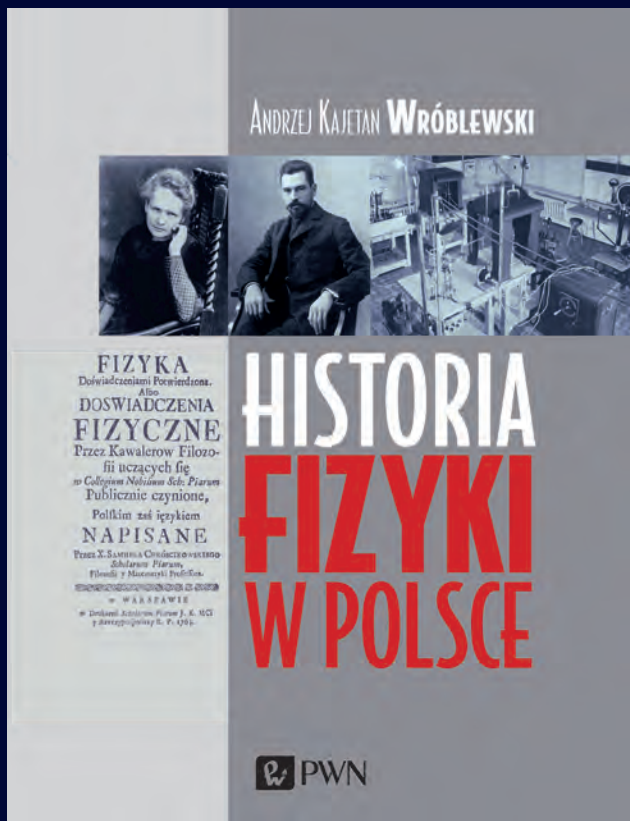
Książka związana z jubileuszem stulecia fizyki na Uniwersytecie Warszawskim. Autor – Józef Szudy opisuje dzieje optyki na tej uczelni od roku 1921, kiedy to Stefan Pieńkowski założył przy ul. Hożej 69 w Warszawie Zakład Fizyczny UW. Relacjonuje gwałtowny rozwój badań i znaczące odkrycia w tej dziedzinie w okresie międzywojennym, kiedy ośrodek ten zdobył sławę jako światowe centrum luminescencji molekularnej i spektroskopii atomowej przyciągające do Warszawy uczonych z całego świata. Reaktywowany po II wojnie światowej zyskał nowe oblicze, gdy do badań struktury atomów i cząsteczek oraz zderzeń atomowych zastosowano lasery i stał się obecnie cenionym na świecie nowoczesnym centrum fizyki optycznej, w tym optyki nieliniowej, optyki fourierowskiej, plazmoniki i technologii kwantowych.

JÓZEF SZUDY

100 lat OPTYKI

na Uniwersytecie Warszawskim
1921–2021





HISTORIA FIZYKI W POLSCE to kompleksowy opis rozwoju fizyki od początków naszej państwowości, aż do czasów współczesnych. Autor prezentuje rozwój polskich badań w dziedzinie fizyki na tle historii nauki europejskiej, a także historii szkolnictwa uniwersyteckiego w Europie. Publikacja składa się z czterech części: pierwsza obejmuje okres do utraty niepodległości w roku 1795, druga poświęcona jest rozwojowi fizyki na ziemiach polskich w okresie zaborów, trzecia dotyczy polskiej fizyki w okresie międzywojennym, czwarta zaś to historia fizyki w Polsce po 1945 roku.

Czytając tę książkę:

- poznajemy mało znane fakty z życia polskich uczonych mających wpływ na rozwój rodzimej, jak i światowej fizyki,
- uświadamiamy sobie, z jakimi trudnościami i ograniczeniami technologicznymi oraz geopolitycznymi musieli zmagać się polscy fizycy,
- dowiadujemy się, jak polska nauka wyglądała na tle rozwiązań światowych oraz jaki był wkład polskich fizyków w rozwój nauki i kultury światowej.

Całość wzbogacono o biogramy fizyków oraz nierzadko humorystyczne cytaty z ich opracowań naukowych.

Publikacja skierowana jest do studentów nauk ścisłych i przyrodniczych oraz pracowników naukowo-dydaktycznych w tych dziedzinach. Polecamy ją także profesjonalistom i pasjonatom historii nauki, filozofii i kultury.



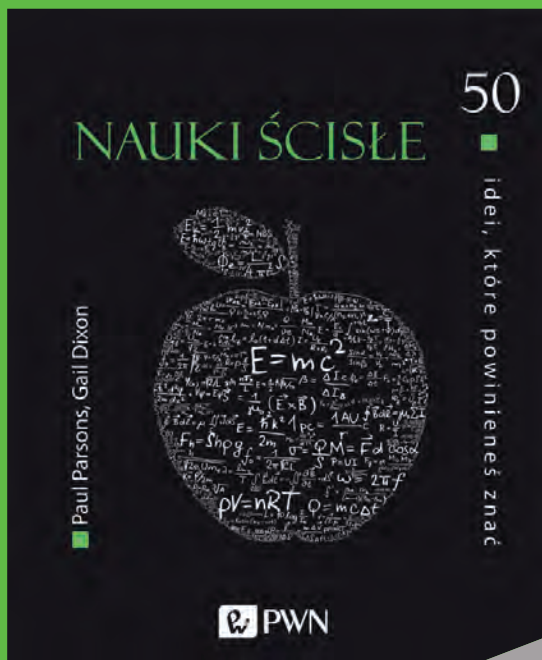
Profesor dr hab. Andrzej Kajetan Wróblewski

fizyki i historyk fizyki, absolwent Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie pracuje od roku 1954, obecnie jako profesor emerytowany. W latach 1986–1989 pełnił funkcję dziekana Wydziału Fizyki, a w latach 1989–1993 był rektorem Uniwersytetu Warszawskiego.

- Członek: Polskiej Akademii Nauk, Polskiej Akademii Umiejętności, Towarzystwa Naukowego Warszawskiego, Polskiego Towarzystwa Fizycznego i Polskiego Towarzystwa Astronomicznego.
- Laureat: Nagrody Marii Skłodowskiej-Curie, Medalu Mariana Smoluchowskiego.
- Doktor honoris causa uniwersytetów: Chapmana (Orange, USA), Glasgow (Szkocja), Siegen (Niemcy), Politechniki Warszawskiej, Uniwersytetu Jana Kochanowskiego.
- Autor wielu prac naukowych z fizyki wielkich energii i historii fizyki, w tym *Historii fizyki* (PWN 2006) cieszącej się ogromnym uznaniem Czytelników, a także książek popularnonaukowych *Prawda i mity w fizyce* (Iskry 1987) oraz *300 uczonych prywatnie i na wesoło t. 1, 2* (Prószyński Media).
- Współautor wraz z prof. Januszem A. Zakrzewskim dwutomowego, nowatorskiego podręcznika akademickiego *Wstęp do fizyki* (wydawanego przez PWN w latach 1976–1991).

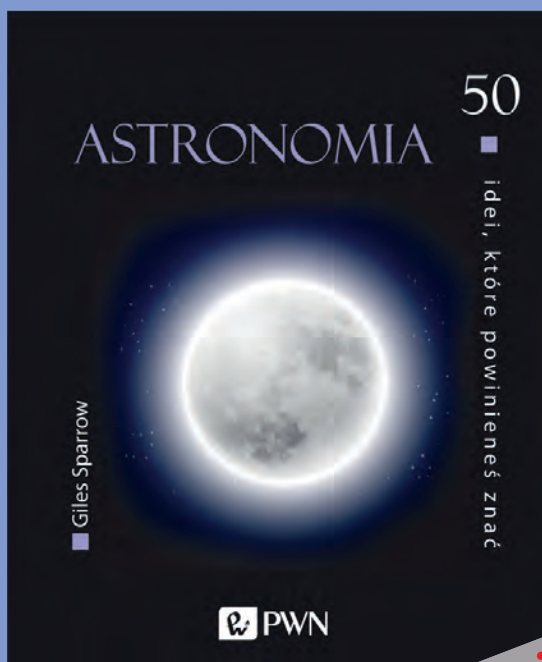
50 idei, które powinieneś znać

Seria książek wprowadzających w fascynujący świat pytań i zagadnień – tych trudnych i tych zupełnie podstawowych – które od dawna towarzyszą ludzkości w procesie zrozumienia świata. Seria prezentuje najważniejsze teorie oraz idee głównych dziedzin wiedzy, stanowiąc świetny punkt wyjścia do dalszej nauki.



Autor prezentuje 50 najważniejszych idei, które uczeni sformułowali na przestrzeni lat. Nie mogło w niej zabraknąć opisu zasad dynamiki Newtona, szczególnej teorii względności Einsteina, mechaniki kwantowej czy promieniotwórczości, ale także kluczowych odkryć, które zapoczątkowały rozwój nanotechnologii i biologii syntetycznej. Podstawowe informacje na temat tych teorii uzupełniono krótkimi biografiami ich odkrywców.

I wydanie



Czytelnik znajdzie tu 50 idei astronomicznych – najważniejszych odkryć i zjawisk w tej dziedzinie, począwszy od najróżniejszych planet i innych wszechświatów, poprzez życie i śmierć gwiazd, strukturę i pochodzenie naszego Wszechświata, aż po ciemną materię. Niektóre z opisanych teorii mają wielowiekową historię, inne są zaskakująco współczesne, a jeszcze inne – w trakcie tworzenia. Jedną z najpiękniejszych cech astronomii jako nauki jest to, że nigdy nie stoi w miejscu.

I wydanie

Obowiązkowa lektura dla każdego!