

Postępy Fizyki

CZASOPISMO NAUKOWE POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO
POŚWIĘCONE UPOWSZECHNIANIU WIEDZY FIZYCZNEJ



ISSN 0032-5430



9 770032 543042

Jak (nie) uczyć fizyki?
J. Gondek

Rola mediów w edukacji
i popularyzacji wiedzy fizycznej
E. Rydygier

Danuta Kiełczewska (1945–2016)
Czesław Lewa (1937–2016)



POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYCZNE

ZARZĄD GŁÓWNY

Katarzyna Chałasińska-Macukow (prezes)
Bogdan Kowalski (sekretarz generalny)
Piotr Rączka (skarbnik)
Mariusz P. Dąbrowski
Maria Dobkowska
Henryk Figiel
Adam Gadomski
Jan Grabski
Dariusz Grech
Bernard Jancewicz
Andrzej Ślebarski
Zbigniew Trybuła
Witold Zawadzki
Andrzej Zięba
Elżbieta Zipper

ADRES BIURA ZARZĄDU

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

PRZEWODNICZĄCY ODDZIAŁÓW

Krzysztof Szymanski (Białystok)
Adam Gadomski (Bydgoszcz)
Stanisław Tkaczyk (Częstochowa)
Jarosław Rybicki (Gdańsk)
Jerzy Bodzenta (Gliwice)
Janusz Gluza (Katowice)
Małgorzata Wysocka-Kunisz (Kielce)
Józef Spatek (Kraków)
Jerzy Żuk (Lublin)
Tadeusz Wibig (Łódź)
Ewa Pawelec (Opole)
Alina Dudkowiak (Poznań)
Andrzej Wal (Rzeszów)
Mirosław Brozis (Słupsk)
Mariusz P. Dąbrowski (Szczecin)
Franciszek Rozpłoch (Toruń)
Radosław Przeniosło (Warszawa)
Włodzimierz Salejda (Wrocław)
Van Cao Long (Zielona Góra)

RADA REDAKCYJNA

Andrzej Kajetan Wróblewski (przewodniczący)
Mieczysław Budzyński
Andrzej Dobek
Witold Dobrowolski
Zofia Gołąb-Meyer
Józef Szudy

REDAKTOR HONOROWY

Adam Sobiczewski

ZESZYT ZREDAGOWAŁ ZESPÓŁ W SKŁADZIE

Wawrzyniec Kaszub
Joanna Szutta
Krzysztof Turzyński

KORESPONDENCI ODDZIAŁÓW PTF

Anna Matwiejczyk (Białystok)
Beata A. Pietrewicz (Bydgoszcz)
Wojciech Gruhn (Częstochowa)
Tomasz Wąsowicz (Gdańsk)
Roman Bukowski (Gliwice)
Monika Richter (Katowice)
Aldona Kubala-Kukuś (Kielce)
Małgorzata Nowina-Konopka (Kraków)
Elżbieta Jartych (Lublin)
Michał Szanecki (Łódź)
Halina Pięta (Opole)
Arkadiusz Ptak (Poznań)
Małgorzata Pociask-Biały (Rzeszów)
Anna Kamińska (Słupsk)
Janusz Typek (Szczecin)
Michał Pawlak (Toruń)
Bernard Jancewicz (Wrocław)
Lidia Najder-Kozdrowska (Zielona Góra)

INFORMACJE DLA AUTORÓW

Czekamy na przystępnie napisane artykuły przeglądowe i monograficzne. Układ pracy powinien odpowiadać formie przyjętej w *Postęпах Fizyki* (patrz artykuły w ostatnich zeszytach). Prace złożone w systemie $\text{\LaTeX}$ (Microsoft Office, OpenOffice) z ilustracjami o rozdzielczości co najmniej 300 dpi w osobnych plikach prosimy nadsyłać e-mailem pod adresem j.szutta@ptf.net.pl. Redakcja zastrzega sobie prawo do skracania tekstów, ich opracowywania oraz niezbędnych zmian terminologicznych. Autorzy powinni wykonać korektę autorską złożonego artykułu. Publikowanie w *Postęпах Fizyki* wiąże się z nieodpłatnym udostępnieniem utworu autorskiego na stronie *Postępów Fizyki* na podstawie licencji Creative Commons.

Prenumeratę dla osób/instytucji niebędących członkami Polskiego Towarzystwa Fizycznego prowadzi Ruch (<http://www.prenumerata.ruch.com.pl>). Prenumeratorzy, którzy nie chcą korzystać z usług pośredników, powinni wpłacić odpowiednią kwotę na konto główne PTF w Banku Handlowym: 74 1030 0019 0109 8530 0046 3033, a następnie przesłać e-mailowo kopię potwierdzenia wpłaty ZG PTF i do redakcji *Postępów Fizyki*, podając adres, pod który mają być przesyłane *Postępy Fizyki*. Proszę też określić, jakie numery lub jaki rocznik obejmuje wpłata. Pojedynczy numer kosztuje 12 zł, a rocznik 48 zł. Koszty przesyłki pokrywa redakcja.

Czasopismo ukazuje się od 1949 roku.
Wydawca: Polskie Towarzystwo Fizyczne
Skład i łamanie: TeXtura (dtg-art.pl)
Druk i oprawa: Moś i Łuczak, Poznań
Nakład: 850 egzemplarzy

ISSN 0032-5430

Szanowni Czytelnicy!

Ukazywanie postępów fizyki wymaga namysłu nad przeszłością, wiedzy o teraźniejszości i planowania przyszłości. Mam nadzieję, że znajdą Państwo wszystkie te elementy w bieżącym numerze. Wspominamy ważne wydarzenia z historii fizyki polskiej, wspominamy Koleżanki i Kolegów, których już z nami nie ma, a także cieszymy się współczesnymi sukcesami naukowymi.

Trudno jednak snuć prognozy na przyszłość polskiej fizyki. W chwili, gdy numer ten znajdzie się w Państwa rękach, wielką niewiadomą pozostawać będzie konkretny sposób, w jaki fizyka będzie nauczana w szkole. W grudniu 2016 roku Ministerstwo Edukacji Narodowej przedstawiło projekt podstawy programowej z fizyki. Na jego temat padło wiele słów, także krytycznych. W opinii, jaką przesłałem do MEN, pisałem m.in., że nauczanie fizyki w szkole podstawowej powinno wpoić uczniowi przekonania, że fizyka jest nauką eksperymentalną, która daje się objąć rozumem i tłumaczy zjawiska zachodzące w otaczającym nas świecie, a zasadnicze wnioski wyciąga się na podstawie analizy ilościowej, a nie jakościowej. Wyraziłem przy tym obawę, że zaprzepaszczona zostaje szansa na istotną zmianę w nauczaniu treści fizycznych, jaka mogła dokonać się wraz z wprowadzaną reformą szkolnictwa. Ilustrację tej tezy znajdziecie Państwo w niniejszym numerze w artykule Joanny Gondek, która krytycznie przygląda się sposobowi omawiania w obecnym gimnazjum drugiej zasady dynamiki Newtona, który pozostał niezmienny w obecnym projekcie.

Pozostaje wszakże mieć nadzieję, że – również dzięki głosom płynącym z naszego środowiska – ostateczne zmiany będą mimo wszystko, przynajmniej w tej mierze zmianami na lepsze. Zachęcam Państwa do dzielenia się swoimi opiniami i doświadczeniami, w szczególności w przestrzeni do dyskusji oferowanej przez Polskie Towarzystwo Fizyczne.

Ciekawe lektury!

Krzysztof Turzyński
redaktor naczelny

Rola mediów w edukacji i popularyzacji wiedzy fizycznej wśród społeczeństwa

E. Rydygier 154

Wstęp do interferometrii atomowej

J. Chwedeńczuk 162

Jak (nie) uczyć fizyki?

J. Gondek 167

Neutrino – cząstki duchy, czy na pewno aż tak nieuchwytnie?

J. Zalińska 173

Droga do najniższych temperatur. Mało znane fakty z powojennej historii fizyki wrocławskiej

Z. Kletowski 178

Biografia Czesława Bazana

..... 187

Czesław Lewa (1937–2016)

B. B. J. Linde 188

Danuta Kielczewska (1945–2016) – twórczyni doświadczalnej fizyki neutrin w Polsce

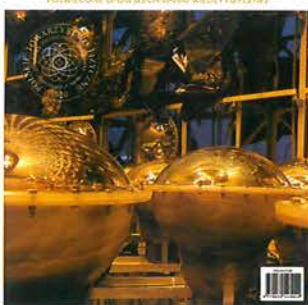
Warszawska Grupa Neutrinowa 189

Michał (Mojsej) Żyw (1905–1943)

L. Maligranda, J. G. Prytuła 194

Kronika Polskiego Towarzystwa Fizycznego 166, 172, 177, 200, 201

Postępy Fizyki



Na okładce:
Fotopowielacze detektora
Super-Kamiokande, Japonia
Fot. Piotr Mijakowski

Rola mediów w edukacji i popularyzacji wiedzy fizycznej wśród społeczeństwa

Edward Rydygier

1. Wstęp

W wyniku reformy systemu edukacji znacznemu ograniczeniu uległy treści fizyczne w programach nauczania, zredukowana została też liczba godzin lekcyjnych. Jednocześnie twórcy reformy zakładali zdobywanie wiedzy przez uczniów poza szkołą: za pomocą mediów, programów popularyzatorskich w telewizji, zajęć organizowanych przez uczelnie wyższe, przez uczestnictwo w festiwalach i piknikach naukowych oraz poprzez uczestnictwo w ekspozycjach i warsztatach interaktywnych organizowanych przez muzea nauki. Skutki założonego w reformie pozaszkolnego pozyskiwania wiedzy fizycznej przez uczniów i ludzi dojrzałych okazały się niezadowolające. Społeczeństwo cechuje analfabetyzm fizyczny, co wykazały badania zachodnich firm edukacyjnych nad pozyskiwaniem wiedzy naukowej przez społeczeństwo.

Hiszpańska fundacja BBVA przeprowadziła sondaż w 10 krajach Europy i w USA w 2012 roku w celu zbadania, czy obywatele w dorosłym życiu pozyskują wiedzę naukową. Wyniki sondażu wykazały, że tylko co drugi Polak wie, że pierwsi ludzie nie żyli w epoce dinozaurów. Ponad połowa Polaków wierzy, że atomy są mniejsze od elektronów i że zwykłe pomidory nie mają genów, a mają je tylko te modyfikowane genetycznie; jedna czwarta nie zna żadnego uczonego światowej sławy. Tylko w Polsce i w USA jest więcej osób twierdzących, że to Bóg stworzył człowieka takiego, jak wygląda on dziś, niż sądzących, że to wynik ewolucji. Wygląda na to, że mimo powszechnego dostępu do Internetu, powstawania centrów nauki, organizowania różnorodnych festiwali i pilników naukowych ludzie mają trudności w pozyskiwaniu wiedzy z zakresu nauk przyrodniczych. Trudności te są skutkiem reformy systemu edukacji, gdyż absolwenci nie zostali nauczeni w szkole selekcji materiału i korzystania z wielu źródeł wiadomości. Sam zasób uzyskanej w szkole wiedzy został znacznie okrojony, a programy przedmiotów przyrodniczych są nadal sukcesywnie redukowane.

Reforma edukacji nie uwzględniła zmian kulturowych w społecznym odbiorze nauki i traktowaniu naukowców. Naukowcy i nauczyciele stracili swój dotychczas wysoki prestiż społeczny. Obecnie ignorant w zakresie wiedzy ogólnej, a zwłaszcza fizycznej i technicznej, nie traci na poważaniu w kontaktach towarzyskich, a także w zakładzie pracy, gdzie od pracowników wymagana jest tylko wiedza specjalistyczna. Są to bardzo niekorzystne dla rozwoju społeczeństwa zjawiska społeczne, a przecież znajomość fizyki przydaje się inżynierom, lekarzom i innym profesjonalistom. Ignorancja w zakresie wiedzy fizycznej utrudnia funkcjonowanie człowieka we współczesnym świecie z uwagi na to, że wszelkie urządzenia techniczne, także te domowego użytku, wykorzystują prawa fizyki.

2. Informacje naukowe w mediach

Media traktują doniesienia naukowe tak jak ciekawostki lub sensacje, a z odkrywców robią celebrytów. Organizowane są nawet konkursy dla naukowców na ciekawe przedstawienie swoich osiągnięć w ciągu kilku minut. Przykładem jest konkurs Fame-Lab, tzw. bitwa na opowieści, podczas której każdy naukowiec ma tylko trzy minuty, by porwać publiczność. Z kolei przykładem na robienia na siłę sensacji może być relacja o akcji odzyskania radioaktywnego kobaltu, który został skradziony z magazynów firmy serwisowej urządzeń pomiarowych w Poznaniu na początku marca 2015 roku. Złodzieje ukradli 22 pojemniki ołowiane służące do przechowywania promieniotwórczego izotopu kobaltu. W pojemnikach tych znajdował się kobalt-60, który może stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka i dlatego policja w pierwszej kolejności rozpoczęła poszukiwanie tej substancji – podejrzewając, że złodzieje pozbyli się kobaltu z pojemników, które następnie sprzedali na złom. Tymczasem redaktorów interesowała głównie sprawa zagrożenia życia i zdro-

wia od kontaktu z promieniotwórczym kobaltem. Gdy specjaliści dozymetryści ujawnili, że kobalt był zużyty i nie stwarzał bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia, redakcje postanowiły zakończyć ten temat. Już pierwsze znalezisko zakopanego kobaltu prasa uznała za sukces policji i zakończenie poszukiwań. Tymczasem, jak się okazało, znaleziono zakopane w parku tylko cztery kapsuły z promieniotwórczym kobaltem, a potem jeszcze dwie. Śledząc dociekliwie doniesienia mediów, można było natrafić na informacje z innego źródła o znalezieniu ośmiu kapsuł z kobaltem (por. „Wciąż szukają skradzionego kobaltu. Dwa kolejne źródła promieniowania w Poznaniu”, Portal TVN24 z dn. 11.04.2015 r., <http://www.tvn24.pl/>):

„Policja znalazła kolejne źródła promieniowania w Poznaniu. Jedno z nich znajduje się w garażu, w którym złodzieje rozcinali pojemniki z niebezpiecznym kobaltem. Dwaj mężczyźni, którzy są podejrzani o kradzież, nie mają objawów choroby popromiennej. Przebywają już na wolności. Jak informuje Andrzej Borowiak, rzecznik wielkopolskiej policji, nad sprawą kradzieży pojemników z kobaltem cały czas pracuje grupa dochodzeniowo-śledcza. Policja korzysta z pomocy straży pożarnej, jednostki chemiczno-ratowniczej oraz Zakładu Utylizacji Odpadów Promieniotwórczych ze Świerku. Zidentyfikowaliśmy kolejne źródła promieniowania. W sumie odkryliśmy już 8 źródeł (jeszcze w piątek rano policja mówiła o 6 – red.). Siedem z nich znajdowało się w pobliżu odnalezionych wcześniej kapsuł z kobaltem, na terenie poznańskiej Kopaniny. Ósme źródło to posesja, gdzie ołowiane pojemniki były rozcinane – wylicza w rozmowie z portalem tvn24.pl Andrzej Borowiak. Śledczy ustalili, że tam złodzieje kobaltu pozbywali się ołowianych pojemników, które stanowiły ochronę przed promieniowaniem. Podczas rozcinania jednego z nich, doszło do rozdrobnienia izotopu kobaltu. – Leży on w garażu utarty, ubity. Zbierane jest całe podłoże garażu, gdzie występuje źródło promieniowania – mówi Borowiak. Wszystko wskazuje na to, że skradziony kobalt nie trafił w inne części miasta. Miejsca, sprawdzane wcześniej przez policję, okazały się fałszywymi tropami. – Nie stwierdzono tam promieniotwórczości. Prawdopodobnie cały kobalt porzucono na Kopaninie – podaje Borowiak.”

Czy odnaleziono jednak cały skradziony kobalt? Firma, z której skradziono pojemniki z kobaltem twierdzi, że skradzionych pojemników było 22, złodzieje z kolei twierdzą, że skradli tylko kilkanaście pojemników, a odnaleziono osiem kapsuł z kobaltem. Z wcześniejszych doniesień prasowych można się było dowie-

dzieć, że prokuratura sprawdza dokumentację składowania zużytego kobaltu, bo dopatrzono się uchybień w jej prowadzeniu. Zatem nie wiadomo ile kapsuł z kobaltem złodzieje ukradli. Nie odnaleziono ani jednego skradzionego ołowianego pojemnika. Kradzież pojemników z kobaltem przekształciła się w sprawę niewłaściwego składowania i ewidencjonowania substancji promieniotwórczych. Ale ten wątek nie interesował już redaktorów, gdyż zorientowali się, że nie da się z kradzieży kobaltu zrobić sensacji związanej z możliwością pozyskania przez terrorystów materiału promieniotwórczego do brudnej bomby atomowej.

Podobnie prasa zamierzała zrobić sensację z wiadomości o pożarze na rosyjskim atomowym okręcie podwodnym. Ogień zresztą został szybko ugaszony, a straty okazały się niewielkie, gdyż pożar wybuchł w czasie, gdy okręt był remontowany w stoczni „Zwiesdoczka” w Siewierodwińsku w obwodzie archangielskim (por. „Pożar na remontowanym okręcie podwodnym z napędem atomowym w Rosji”, portal Wirtualna Polska z 8.04.2015 r., <http://www.wp.pl/>):

„Jednostka typu Orzeł (w nomenklaturze NATO Oscar-II) przechodzi od 2013 roku remont w obwodzie archangielskim. Agencja Interfax powołując się na rzecznika stoczni podaje, że ugaszono źródło ognia. Wcześniej w rozmowie z rosyjską telewizją prezes Zjednoczonej Korporacji Stoczniowej Aleksiej Rachmanow zapewniał, że ogień nie wyrządził poważnych szkód jednostce, a na czas akcji gaśniczej jej załoga została ewakuowana. Rachmanow dodał, że nikomu nic się nie stało, a sytuacja na okręcie jest cały czas monitorowana. Agencja RIA Nowosti informowała wcześniej, powołując się na rzecznika stoczni, że na okręcie nie ma broni. Według źródeł, na które powołała się agencja TASS, reaktor okrętu był wyłączony, i to już kilka lat temu, gdy rozpoczął się remont rosyjskie agencje prasowe informowały, że pożar wybuchł podczas prac spawalniczych. Zapaliły się podobno materiały izolacyjne.”

Analizując inne źródła wiadomości, można wywnioskować, że pożar na rosyjskim okręcie podwodnym wydaje się sprawą poważniejszą, a nie tylko spalaniem „materiałów izolacyjnych”, lecz na pewno nie zagraża jakąś katastrofą jądrową (por. „Pożar na okręcie atomowym”, dziennik „Metro” z dn. 8.04.2015 r.):

„Rosyjskie agencje podawały sprzeczne informacje: raz, że ogień został ugaszony, drugi raz, że pożar trwa i rozpowszechnia się po całym okręcie i że postanowiono go zatopić. Biuro prasowe stoczni uspokaja, że na okręcie nie było broni, a paliwo jądrowe zostało z niego wypompowane przed remontem.”

Prawdopodobnie ze względu na utajnienie informacji przez rosyjskie źródła wojskowe, nie dowiemy się więcej szczegółów o skali pożaru, a tym bardziej o ewentualnym zatopieniu okrętu. Natomiast warto zwrócić uwagę na to, że wiadomości zamieszczone w dzienniku „Metro” opierają się na informacji PAP i w stosunku do wiadomości portalu Wirtualna Polska zawierają dodatkowo opis technologii usunięcia paliwa jądrowego („zostało wypompowane przed remontem”). Dziwna wydaje się informacja PAP o wypompowaniu paliwa jądrowego, które przecież nie jest cieczą, tylko ma postać stałą. W Internecie chociażby można sprawdzić, jak przebiega proces wymiany paliwa w reaktorze okrętu podwodnego (por. <http://www.energijadrowa.pl/>):

„Przeładunek paliwa jądrowego elektrowniach może odbywać się na bieżąco, a kampania paliwowa trwa od 1 roku do 2 lat. Natomiast w przypadku okrętu atomowego skomplikowana operacja wymiany paliwa w zaczyna się od wychłodzenia rdzenia, od momentu wyłączenia napędu i trwa około 90 dni. Następnie wycinany jest właz w poszyciu łodzi i inne prace polegające na umożliwieniu dostępu do rdzenia oraz wyciągnięciu kaseta po kasecie całego paliwa. Proces ten trwa około 30 dni. Następnie załadowywane jest świeże paliwo i prace remontowe związane z zamknięciem reaktora i uszczelnieniem poszycia, co trwa od 60 do 90 dni. Podsumowując cała operacja wymiany paliwa może przebiegać nawet 7 miesięcy, stąd najnowocześniejsze reaktory jądrowe dedykowane dla okrętów podwodnych wymagają wymiany paliwa po 30–40 latach, co odpowiada całemu czasowi eksploatacji jednostki. Niestety likwidacja reaktora, po zakończeniu eksploatacji jest bardzo kosztowna i trudna za względu na dużą ilość produktów rozszczepienia.”

Dodatkowe wiadomości o wymianie paliwa jądrowego zawarte są w opisie demontażu reaktora okrętu podwodnego:

„Na samym początku demontowany jest reaktor i wypompowana jest ciecz z pierwotnego obiegu chłodzenia, następnie odcinana jest sekcja kadłuba, w której był zamontowany reaktor. Pozostała część kadłuba jest cięta na kawałki i złomowana. Skażone promieniotwórczo części reaktora, sekcji kadłuba, w której znajdował się reaktor jak i instalacja do chłodzenia reaktora muszą być składowane.”

A zatem to nie paliwo jądrowe zostało wypompowane, ale skażony promieniotwórczo płyn z pierwotnego obiegu chłodzenia. Dziennikarz zestawiający notatkę prasową wykazał się zupełnym niezrozumieniem

działania reaktora jądrowego, niestety nie uzupełnił swojej wiedzy, korzystając choćby z Wikipedii.

Na początku 2015 roku redakcja magazynu „Physics World” ogłosiła wybór 10 najbardziej przełomowych wydarzeń roku 2014 w dziedzinie fizyki i astrofizyki. Na pierwszym miejscu „Physics World” wyróżnił dokonanie, które przejdzie do historii podboju kosmosu. Chodzi tu o pierwsze lądowanie kosmicznego próbnika na komecie, w którym mieli udział także naukowcy z Polski. Polscy dziennikarze spróbowali przedstawić listę 10 najgłośniejszych doniesień z dziedziny fizyki w formie, która – według nich – może zostać zrozumiała przez przeciętnego czytelnika. W rezultacie powstał swoisty bełkot, który świadczy także o niezrozumieniu istoty odkryć naukowych przez autora zestawienia (por. Piotr Cieśliński, „Hity fizyki roku 2014: to już prawie science fiction”, portal <http://www.gazeta.pl/>):

„Milowy krok do ujarzmnienia energii gwiazd: Od lat naukowcy marzą o tym, by na Ziemi w sposób kontrolowany powtórzyć reakcje fuzji jądrowej, które zachodzą we wnętrzu Słońca, i dzięki nim produkować czystą energię (na razie potrafimy uwalniać ją wybuchowo – w postaci bomby wodorowej). Naukowcy z Narodowego Laboratorium Lawrence’a Livermore’a donieśli w *Nature*, że po trzech latach niepowodzeń udało im się zbliżyć do tego celu za pomocą potężnej laserowej instalacji National Ignition Facility (NIF) w Kalifornii. W tym eksperymencie impuls lasera trafia i rozpala niewielką pastylkę, zawierającą izotopy wodoru (mieszaninę deuteru i trytu), zmuszając te izotopy do reakcji jądrowej, w wyniku której powstaje hel oraz wydziela się energia. Po raz pierwszy z jądrowych reakcji, które zaszły w wodorowej pastylce, uzyskano więcej energii niż sama pastylka pochłonęła. To przełom, choć całkowity bilans energii, niestety, wciąż nie jest dodatni. Jeśli się uwzględni całość energii użytej do uruchomienia laserowej instalacji, to nadal jesteśmy nisko pod progiem. Wyniki eksperymentu opublikowało *Nature*.”

Inne próbki kuriozalnego opisu osiągnięć nauki w 2014 roku zawierają fragmenty poświęcone „magnetyzmowi elektronów” i „supernowej w laboratorium” zamodelowanej „pręcikiem z plastiku”:

„Magnetyzm elektronów: Naukowcy z Instytutu Weizmanna w Izraelu po raz pierwszy zmierzili się oddziaływania magnetycznego między dwoma elektronami. Każdy elektron oprócz tego, że ma ładunek elektryczny, posiada także magnetyczny spin, tj. jest małym magnesikiem. Ale do tej po-

ry nikt nie potrafił eksperymentalnie zmierzyć siły, z jaką się odpychają dwa spiny. Przede wszystkim dlatego, że trzeba by elektrony zbliżyć do siebie, ale wtedy odpychanie elektryczne między nimi na tyle przeważa nad siłą magnetyczną, że ta ostatnia jest prawie niedostrzegalna. Fizycy pokonali tę trudność, badając oddziaływanie elektronów, które znajdują się w tzw. kwantowym stanie splątania. Zainteresowani szczegółami eksperymentu mogą zajrzeć do tygodnika *Nature*. Supernowa w laboratorium: Międzynarodowy zespół naukowców wywołał mini-eksplozję w laboratorium, która jest dość wierną symulacją wybuchu supernowej w kosmosie. Zapalnikiem tej mini-eksplozji była wiązka lasera, a modelem gwiazdy – pręcik z plastiku. Wszystko działo się w komorze wypełnionej argonem. Więcej w piśmie *Nature Physics*.

3. Ułomności popularyzacji nauki

Także prasowe artykuły popularyzatorskie zawierają wiele błędów czy też pomyłek, świadczących o tym, że ich autorzy posiadają ograniczoną wiedzę na tematy naukowe. Niestety, z powodu oszczędności, redakcje nie korzystają z pomocy konsultantów naukowych. Na początku roku media rozpowszechniały wiadomość o tym, że naukowcy z Cambridge (USA) opublikowali komunikaty o zaobserwowaniu fal grawitacyjnych powstałych w okresie tzw. inflacji Wszechświata. Pomiary dokonane zostały za pomocą teleskopu BICEP2 umiejscowionego na biegunie południowym i miały stanowić dowód to, że Wielki Wybuch był początkiem Wszechświata. Redaktorzy zdążyli już napisać artykuły popularyzatorskie o udowodnieniu hipotezy Wielkiego Wybuchu, a tu okazało się, że badacze odwołali swoje doniesienia (por. Piotr Cieśliński, „Nobla nie będzie”, portal <http://wyborcza.pl>, z dn. 2.02.2015 r.)

„Chodzi o doniesienie z marca zeszłego roku o odkryciu śladu fal grawitacyjnych w kosmicznym promieniowaniu mikrofalowym, które dociera do Ziemi. Niestety, okazało się, że wykryty sygnał nie pochodził z fal grawitacyjnych, ale z pyłu międzygwiazdowego w Drodze Mlecznej. Pogłoski, że naukowcy z Centrum Astronomicznego Harvard–Smithsonian w Cambridge w USA pomylili się w analizie danych i pospieszili się z ogłoszeniem odkrycia, krążyły w środowisku fizyków już od pewnego czasu. Teraz jest to już oficjalna wiadomość: zespół przyznał się do błędu i wycofuje swoją sensacyjną pracę z zeszłego roku.”

Artykuł Piotra Cieślińskiego ukazał się w „Gazecie Wyborczej” w dziale „Nauka” i – pomimo tego, że

autor starał się w sposób zrozumiały dla czytelników wyjaśnić takie hermetyczne pojęcia naukowe jak: inflacja kosmiczna, Wielki Wybuch, a także fale grawitacyjne i ogólna teoria względności – sam porobił błędy w przytoczeniu jednostki, w której podawana jest temperatura w skali Kelvina:

„Niestety, na razie musimy obejść się smakiem. Wielu astrofizyków od początku wątpiło w to, że radioteleskop BICEP2 dostrzegł ślad fal grawitacyjnych z tego wczesnego okresu. Było to ekstremalnie trudne technicznie – wymagało mierzenia różnic w temperaturze kosmicznego promieniowania mikrofalowego rzędu jednej dziesiątej miliona stopnia Kelvina.”

Ale nie ma takiego pojęcia jak „stopień Kelvina”. Temperatura w stopniach podawana jest w skali Celsjusza, a nie w skali Kelvina (od nazwiska fizyka angielskiego lorda Kelvina). W skali Kelvina temperaturę podaje się w kelwinach (por. wikipedia.pl):

„W przeciwieństwie do skali Celsjusza, w skali Kelvina nie używa się pojęcia stopień, tj. temperatura 100 stopni Celsjusza to inaczej temperatura 373,15 kelwinów. Niepoprawne obecnie określenie stopień Kelvina zostało zastąpione nazwą kelwin na mocy 3. rezolucji XIII Generalnej Konferencji Miar i Wag.”

Jeszcze w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku od uczniów szkół średnich wymagano znajomości jednostek fizycznych w starym układzie jednostek (technicznym), gdyż zbiory zadań były opracowane w starych jednostkach, a podręczniki podawały już tylko nowe jednostki z układu SI. Ale kelwin to jednostka nowego układu SI, który obecnie jest wymagany w programie przedmiotów ścisłych, dlatego nie należy w dziale „Nauka” poczytnej gazety rozpowszechniać błędnych nazw jednostek, gdyż uczniowie mogą przyjąć je jako obowiązujące.

Podobnie dzieje się w redakcjach wydawnictw książek popularnonaukowych, zwłaszcza przy tłumaczeniach z obcego języka. Redakcje oszczędzają na wynagrodzeniu i najmują do tłumaczenia marnych specjalistów. W rezultacie czytelnicy otrzymują błędne wiadomości naukowe, których nie potrafią skorygować korzystając z innych źródeł, chociażby z Internetu. Ale uwaga, źródła internetowe są również obciążone błędami. W Internecie nie ma guzika „wycofaj”, nawet autor nie zawsze ma możliwość wycofania błędnej wiadomości, a często mu na tym nie zależy. I tak chwytliwe tematy zaczynają żyć własnym życiem. Jak wyjaśnia Wojciech Orliński (por. „Internet, czyli Wielki Zderzacz Głupoty”, dziennik „Metro”, 9.03.2015 r.):

„Twitter, YouTube czy Facebook biorą, owszem, kasę z reklam, ale odpowiedzialności nie biorą za nic.

Podobnie portale niby-to-informacyjne, które zawsze się mogą bronić, że wcale nie przekazały błędnej informacji naukowej, a tylko neutralnie przekazały wypowiedź celebrytki występującej w telewizji śniadaniowej, albo pana publicysty w porannej dyskusji publicystów. Podstawą dziennikarstwa internetowego, przypominam, jest agregacja – wiadomości się nie produkuje samemu, bo to kosztowne, tylko przekleja z innych portali, które to z kolei przekleiły z innych portali. Źródłem łańcuszka często jest zaś coś rozpaczliwie niepoważnego: czyjeś chlapnięcie w programie na żywo albo wpis na Twitterze. W ten sposób internet okazał się odpowiednikiem Wielkiego Zderzacza Hadronów. To Wielki Zderzacz Głupoty. Niczym cząstki elementarne w akceleratorze głupkowate michałki rozpędzane tu są od portalu do portalu, aż z ich zderzeń pojawiają się następne.”

Niestety nie da się objąć mediów internetowych odpowiedzialnością za publikowane treści. Firmy internetowe są dziś zbyt potężne, żeby ich lobbyści dopuścili do takiej zmiany prawa.

Pozytywną inicjatywą w zakresie popularyzacji nauki wydaje się program „Rzecznicy nauki”. Chodzi tu o to, aby rozszerzyć formułę konkursu Fame-Lab i częściej publikować czy pokazywać w telewizji ciekawe opowieści naukowe. Program „Rzecznicy nauki” stworzyli organizatorzy konkursu Fame-Lab – Centrum Nauki Kopernik i British Council. Do tego programu zaprosili dziennikarzy naukowych lub popularyzujących naukę z kilku redakcji oraz finalistów poprzednich edycji Fame-Lab. Chodzi o to, aby uczyć się od siebie, tak by razem opowiadać o tym, co jest w nauce ważne. Z redakcją „Metra” współpracuje już dwóch młodych naukowców – Adam Gągol i Damian Sojka. Adam Gągol jest informatykiem teoretycznym, doktorantem Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, zajmuje się m.in. matematyką dyskretną (kryptografią, kombinatoryką, teorią gier). Damian Sojka to biotechnolog, prowadzi badania w gliwickim oddziale Centrum Onkologii – Instytucie im. Marii Skłodowskiej-Curie. Zgłębia mechanizmy zachodzące w komórkach nowotworowych pod wpływem leków cytostatycznych. Współpracuje z nimi dziennikarka „Metra” Alicja Bobrowicz.

4. Analfabetyzm fizyczny

W kontaktach międzyludzkich i zawodowych ignorowanie wiedzy naukowej nie jest obecnie uznawane za ułomność: do pracy potrzebni są wąscy specjaliści, znajomość wiedzy ogólnej nie jest wymagana. Twórcy i realizatorzy reformy systemu edukacji,

zaniżając poziom nauczania i ograniczając nauczanie przedmiotów ścisłych, nie wzięli pod uwagę tendencji ogólnego obniżenia kondycji mentalnej współczesnego społeczeństwa, paradoksalnie nazywanego społeczeństwem informacyjnym, a nawet społeczeństwem wiedzy. Współcześnie obserwuje się rozwój zjawiska analfabetyzmu funkcjonalnego, a nawet wtórnego (por. Joanna Tańska, „Kraj wtórnych analfabetów”, „Przegląd” z 22.03.2006 r.). Powołując się na wyniki badań międzynarodowych organizacji, takich jak PISA (Międzynarodowy Program Oceny Umiejętności Uczniów) czy OECD (Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju), można stwierdzić, że blisko 40 % Polaków nie rozumie tego, co czyta, a kolejne 30 % rozumie w niewielkim stopniu. Jako powody tej degradacji intelektualnej podaje się: zanik nawyku czytania, bezrefleksyjne oglądanie telewizji oraz wzrastające ubóstwo znacznej części naszego społeczeństwa. Okazuje się jednak, że we współczesnym świecie wtórny analfabeta może bez większego wysiłku i bez przeszkód przejść przez życie, gdyż nie wymaga się od niego czytania gazet (informacji dostarczają mu telewizja i radio), nie musi pisać listów (listy zastąpiła rozmowa telefoniczna i SMS-y nadawane przez telefony komórkowe), życiorys czy podanie pisze rzadko, a i to według schematu, instrukcje obsługi, ulotki informacyjne dla ułatwienia zawierają przede wszystkim rysunki, a wiele czasopism dawniej starannie przygotowujących artykuły, obecnie ich pisanie sprowadza bardzo często do układania galerii zdjęć z podpisami. Analfabetyzmem wtórnym i funkcjonalnym zagrożeni są nawet absolwenci szkół wyższych. Z badań OECD wynika, że co szósty magister w Polsce to analfabeta funkcjonalny. W badaniach porównano zdolności rozumienia tekstu i radzenia sobie z wyczytanymi informacjami u mieszkańców siedmiu państw: USA, Kanady, Polski, Niemiec, Szwajcarii, Holandii i Szwecji. W każdym kraju obserwowano ok. 3 tys. osób. Okazało się, że Polacy gubili się przy zrozumieniu – wydawałoby się prostych – tekstów użytkowych, jak rozkład jazdy pociągów czy mapka pogody (40 %). Trzy czwarte z nich nie dostrzegało związku między dwoma wykresami (jeden dotyczył sprzedaży petard, drugi liczby wypadków). W rezultacie – na najwyższym piątym i czwartym poziomie znalazło się zaledwie 3 % Polaków. Do dwóch najsłabszych grup zaliczono natomiast prawie 80 % mieszkańców naszego kraju. Co trzeciego uznano za analfabetę wtórnego lub funkcjonalnego, tym samym Polska zajęła ostatnie miejsce w rankingu. W międzynarodowych testach na rozumienie czytanej treści nie lepiej wypada polska młodzież. W 2002 roku Międzynarodowy Program PISA przebadiał 265 tys. 15-latków z 31 państw. W Polsce do testów przystąpi-

ło 4 tys. uczniów, którzy mieli wykazać się zdolnością wyszukiwania informacji, interpretacji tekstu, refleksji i krytycznej oceny. Wyniki podzielono na pięć poziomów, tylko 6 % uczniów zakwalifikowało się do najwyższego poziomu, a 10 % nie spełniło wymogów najniższego poziomu. W rezultacie Polska zajęła 24. miejsce w rankingu, a w raporcie końcowym PISA znalazło się stwierdzenie, że co dziesiąty absolwent polskiej szkoły podstawowej nie potrafi czytać, a w szkołach zawodowych analfabeci wtórni stanowią jedną trzecią. Sytuacja w innych państwach zjednoczonej Europy nie wygląda lepiej. Badania te wykazały, że co trzeci mieszkaniec Unii Europejskiej jest „informatycznym analfabetą”. Tego typu analfabetów najwięcej jest w Grecji – 65 %, Włoszech – 59 %, na Cyprze i w Portugalii (54 %), a najmniej w krajach skandynawskich: Danii, Norwegii (po 10 %) i Szwecji (11 %). W Polsce jest ich 46 %.

W tle stwierdzonego przez socjologów analfabetyzmu funkcjonalnego szerzy się analfabetyzm fizyczny. Niestety na analfabetyzm fizyczny cierpią także dziennikarze. Do takiego wniosku można dojść analizując notatki prasowe o treściach naukowych. Portal „Wirtualna Polska” za „Politykę” bardzo chciał reklamować sukcesy licealistki z Gdańska, a wyszedł niezamierzenie humorystyczny komunikat o 18-latkę, która „uprawia naukę” siedząc w „kwantowej teorii pola w ciemnej piwnicy” i do tego „pod mecenatem prof. Kwieka” (por. „18-letnia Polka, która chce być noblistką”, portal wp.pl z dn. 10.09.2014 r.):

„18-letnia Nina Mazurewicz poprawia naukę. A przy okazji – całkiem realnie – chce odebrać nagrodę Nobla. Właśnie zrewolucjonizowała przemysł motoryzacyjny – czytamy w tygodniku «Polityka». W maju tego roku, w centrum handlowym w Tbilisi rozgrywa się finał Olimpiady Młodych Wynalazców. Nina Mazurewicz przez dwa dni opowiada o maszynie poruszanej dźwiękiem. Zwiedzający są pod wrażeniem. Radzą jej żeby przygotowała się na ataki koncernów paliwowych. Radio podaje w informacyjnym serwisie o złotym medalu dla Polki. Jako 17-latkę uczęszczała na uniwersyteckie wykłady z czwartym rokiem fizyki. Rodzice przyjęli to spokojnie. Sami nie mają z fizyką nic wspólnego. Doktorskie małżeństwo. On stomatolog, ona laryngolog. Za to ich córka jest nią zafascynowana. We wczesnym gimnazjum po raz pierwszy jest pod wrażeniem siebie samej. Zostaje członkiem Mensy z wynikiem IQ 156 plus. Tu kończy się skala, więc trudno powiedzieć, ile naprawdę. I wreszcie wie, czego chce – zostanie laureatką Nobla z fizyki. Ale najpierw postanawia zdobyć bazę, więc kilometry podręczników. Wy-

biera prestiżowe liceum w Gdyni. Poniekąd przez wzgląd na Uniwersytet Gdański. Nina nie marnuje umysłu nawet podczas wakacji. Każdego dnia między godz. 10 a 20 jest niedostępna. Siedzi w kwantowej teorii pola. Już nudzi się z czwartym rokiem na wykładach z mechaniki klasycznej i relatywistycznej. Podczepia się pod badania fizyków alternatywnych. Lubi ciemną piwnicę w Zakładzie Akustyki i Fizyki Laserów. Tu pod mecenatem prof. Piotra Kwieka buduje tamten pojazd na dźwięk. Siedzą z Niną do północy. Ale to dopiero początek.”

Przedstawiony przez portal Wirtualna Polska przypadek młodej licealistki z Gdańska jest niesłychanie fascynujący, biorąc pod uwagę upadek prestiżu fizyki i fizyków w Polsce. Wydziały fizyki na uniwersytetach i politechnikach mają kłopoty z naborem, mimo tego, że od dawna na tych wydziałach nie są wymagane egzaminy wstępne. A Nina po prostu „siedzi w kwantowej teorii pola” i „podczepia się pod badania fizyków alternatywnych”, lubi ciemną... materię? Niestety, nie materię, a ciemną piwnicę, w której siedzi do północy z profesorem Kwiekiem!!! A cóż to są ci „fizycy alternatywni”? W „minionym okresie PRL-u” za fizyków alternatywnych można uznać fizyków prześladowanych przez system, jak choćby „kontestatorów” energetyki jądrowej po katastrofie w Czarnobylu. A dzisiaj? Fizycy alternatywni to może tzw. „antyeinsteinowcy”, którzy kwestionują osiągnięcia Einsteina, a zwłaszcza postulat o stałej prędkości światła? Można też znaleźć wśród fizyków przeciwników mechaniki kwantowej dowodzących, że zjawiska w mikroskali można wyjaśnić w sposób klasyczny. No i wreszcie działają prężnie przedstawiciele pseudonauki na polu różdżkarstwa, astrologii, psychokinezy i jasnowidztwa. Do jakich zatem fizyków alternatywnych „podczepia się” młoda kandydatka do Nagrody Nobla? Z artykułu w „Polityce” wynika, że Nina „podczepia się” pod prof. Kwieka i to w ciemnej piwnicy (sic!). Prof. Kwiek jest alternatywny chyba z tego powodu, że przecież nie każdy profesor fizyki całe noce przesiaduje z nastolatką w ciemnej piwnicy!

Podobnym przykładem analfabetyzmu fizycznego jest przedstawienie w polskiej prasie osiągnięć amerykańskiej nastolatki Eshy Khare, która podobno wynalazła superkondensator, który błyskawicznie ładuje telefon komórkowy tylko przez 20 sekund (por. art. „Naładujesz komórkę w 20 sekund”, dziennik „Metro”, z dn. 21.05.2013 r.):

„Wynalazek Eshy to kondensator o bardzo dużej pojemności elektrycznej (tzw. superkondensator). Urządzenie jest małe, elastyczne i ładuje się ok. 20 sekund. Może wytrzymać aż 10 tys. ładowań (to 10 razy więcej niż baterie używane obecnie w te-

lefonach). Co więcej, wydłuży się żywotność baterii w urządzeniach korzystających z wynalazku Khare – podaje brytyjski dziennik Daily Mail.”

Prasa informowała, że nastolatka z Kalifornii za swoje odkrycie dostała grant w wysokości 50 tys. dolarów i nagrodę Intel Foundation Young Scientist przyznaną w trakcie odbywających się w Phoenix targów International Science and Engineering zorganizowanych przez firmę Intel. Podobno wynalazkiem Eshy Khare interesuje się Google, a także branża motoryzacyjna. Dziennikarze zrobili z osiągnięć naukowych amerykańskiej nastolatki wyjątkową sensację, tymczasem superkondensator jest znany w nauce od dawna i nie można go „odkryć”. Przesadzony opis osiągnięć naukowych młodocianej entuzjastki nie został zakwestionowany przez specjalistów, natomiast polscy naukowcy zareagowali ostro krytykując osiągnięcie naukowe 15-letniego licealisty Neila Ibata z Francji. Prasa przedstawiała jego odkrycie w dziedzinie astronomii (opublikowane w czasopiśmie „Nature”) jako przełomowe osiągnięcie naukowe za jednym zamachem obalające teorię Newtona i Einsteina. Dr Łukasz Badowski, fizyk pracujący w Centrum Nauki Kopernik w Warszawie, tak oto podsumował odkrycie młodego Francuza (por. wywiad Michała Stangreta z Łukaszem Badowskim pt. „Szukamy geniuszy, bo chcemy rewolucji”, „Metro” z dn. 8.01.2013 r.):

„Nie przesadzajmy z tym cudownym dzieckiem. Neil to jeden z kilkunastoosobowego zespołu naukowców, któremu szefował jego ojciec. Chłopak napisał na potrzeby badań prosty program komputerowy, z czym nie miałyby dużych problemów także wielu polskich 15-latków. Nie każdy ma jednak tatę wybitnego naukowca.”

Dr Badowski podał także w wątpliwość konsekwencje badań licealisty, a mianowicie wykazanie mankamentów teorii Einsteina i Newtona:

„To bzdura. Badania dotyczyły ruchu galaktyk. To ciekawe odkrycie. Może pogłębiać wiedzę o tym, jak powstawał wszechświat, ale w żaden sposób nie podważa teorii Einsteina i Newtona.”

Według dr. Badowskiego w ogóle nie należy 15-letniego badacza nazywać jakimś cudownym dzieckiem, bo przecież każdy może zostać astronomem i badać Kosmos w... Internecie:

„Astronomia stała się dziś nauką, którą uprawiać może każdy. Wystarczy dostęp do Internetu, gdzie na wyciągnięcie ręki jest ocean danych. Każdy ma dziś szansę na astronomiczne odkrycie, które może postawić świat do góry nogami.”

Deprecjonując osiągnięcia naukowe uzdolnionego licealisty z Francji, dr Badowski przedstawił Internet jako źródło wiedzy naukowej. Chociaż w dzisiej-

szym świecie do Internetu mają dostęp już przedszkolaki, to jednak nie można beztrudno obniżać prestiżu astronomii przez sugerowanie, że każdy może ją uprawiać. Oprócz specjalistycznej wiedzy, w tym matematyki wyższej i fizyki, trzeba znać się na programowaniu komputerowym i obsłudze nowoczesnych urządzeń pomiarowych. Biorąc pod uwagę specjalistyczną wiedzę z astronomii, astrofizyki, matematyki i informatyki, należy wysoko ocenić wyniki badań młodego francuskiego licealisty – wszak jest on współautorem zespołowej publikacji (wraz z profesjonalistami) w znanym na świecie czasopiśmie naukowym. Wypominanie, że jego ojcem jest wybitny naukowiec, sugeruje nepotyzm. Prawdą jest, że Neil Ibata zaczął uczyć się fizyki od ojca, gdy miał pięć lat, ale dlatego, że go to interesowało. A ilu z uczniów, których dr Badowski w Centrum Nauki uczy wylewania ciekłego azotu na podłogę, albo podnoszenia włosów na głowie podłączając ich do prądu, „obali” w wieku piętnastu lat teorię Einsteina? A jedyna chińszczyzna w Centrum Kopernika to rakieta z... kartofla (jak wiadomo to Chińczycy wynaleźli rakietę), natomiast nastoletni francuski astronom zna biegle chiński.

Dla dziennikarzy jeszcze bardziej niezrozumiałe od badań z zakresu fizyki są badania z dziedziny psychologii i socjologii. Nieznajomość metodologii badań w naukach o człowieku prowadzi ich do wniosków, że naukowcy są szaleni (por. „Ci szaleni naukowcy i ich odkrycia”, dziennik „Metro” z dn. 5.03.2014 r.):

„Dzieci w wieku 10–14 lat, które mają w swoim pokoju telewizor, ważą o pół kilo więcej niż te, które telewizora nie mają – wynika z badań naukowców z Geisel School of Medicine w Dartmouth w USA. Różnica w wadze jest niezależna od czasu, jaki dzieci spędzają przed telewizorem. Naukowcy z Tufts University w USA jeszcze przed przeprowadzeniem badań uważają, że jedzenie jajek wspomaga pamięć, co mają wykazać obserwacje dwóch grup ochotników przez pół roku. Natomiast naukowcom z Harvardu i Uniwersytetu Utah wydaje się, że udowodnili występowanie tzw. porannego efektu moralności. 327 mężczyzn i kobiet rozwiązywali zadania matematyczne. Jeśli powiedzieli, że otrzymali dobre wyniki to otrzymywali niewielkie wynagrodzenie. Nie powiedzieli jednak, że niektórych zadań nie da się rozwiązać, a większość kłamała po południu. Naukowcy z University of Quebec w Montrealu przebadali zespoły na 50 różnych wydziałach psychologii. Okazało się, że dużo rzadziej w pary badawcze dobierały się dwie kobiety o niższym i wyższym stanowisku, stąd wniosek, że kobiety nie lubią współpracować z innymi kobietami

znajdującymi się na wyższym stanowisku, bo boją się, że te utrudnią im wspięcie się po szczeblach kariery.”

Przestawiony powyżej zestaw można uzupełnić o nowe wyniki badań dotyczące psychologii rozwojowej, niestety przez dziennikarzy komentowane jako absurdalne (por. „Grzeczne dzieci jedzą pokrojone”, „Metro”, 25–27.04.2014 r.):

„Amerykańscy naukowcy z Cornell University przeprowadzili badania, z których wynika, że jeśli chcemy, aby nasze dzieci grzecznie zachowywały się przy stole, powinniśmy drobno pokroić im serwowany posiłek. Zdaniem badaczy dzieci, które podczas posiłku muszą używać przednich zębów – gryząc udko kurczaka lub jabłko – są bardziej niegrzeczne podczas obiadu niż te jedzące pokrojone pokarmy. By przeprowadzić ten epokowy eksperyment, naukowcy zaprosili grupę dzieci w wieku 6–10 lat. Pierwszego dnia połowie z nich dano do zjedzenia nóżkę kurczaka, drugiej połowie pokrojone kawałki mięsa. Drugiego dnia posiłki zamieniono. Każdy z obiadów został nagrany i dzięki temu wiemy, że gdy dzieci jadły kurczaka w całości, były dwa razy bardziej niegrzeczne, nie słuchały poleceń rodziców i częściej wstawiały od stołu.”

Wydaje się, że jednak według dziennikarzy najbardziej absurdalne badania szalonych naukowców zostały przeprowadzone na Uniwersytecie w Tel Awiwie, dotyczyły one związku między tuszą a siedzącym trybem życia (por. „Pupa rośnie od siedzenia”, „Metro”, z dn. 4.03.2014 r.):

„Naukowcy z Uniwersytetu w Tel Awiwie dowiedli tego, co wszyscy i tak już przeczuwaliśmy. Pupa rośnie nam od siedzenia. Im więcej siedzimy, tym więcej komórek tłuszczu zaczyna pokrywać «siedzenie». Zdaniem naukowców z Tel Awiwu najważniejszą rolę w produkcji tłuszczu ma «ekspansja komórek», która sprawia, że spędzanie dużej ilości czasu w pozycji siedzącej może zwiększyć grubość tkanki tłuszczowej nawet o 50 proc. Jest jeszcze jedna zła wiadomość – efektów długotrwałego siedzenia, wbrew twierdzeniom różnych mądrali, w całości nie zlikwiduje ani dieta, ani najbardziej forsowne ćwiczenia fizyczne.”

Dziennikarzom brakuje rzetelnej wiedzy nie tylko

z zakresu terminologii naukowej, ale także stosowanych w nauce metod badawczych. Korzystają z tego, że prestiż nauki i naukowców znacznie się obniżył w społeczeństwie, natomiast dziennikarza wzrósł.

5. Uwagi końcowe

Z uwagi na to, że media, a zwłaszcza telewizja, mają obecnie ogromny wpływ na społeczeństwo, Polskie Towarzystwo Fizyczne powinno wymóc na redakcjach utrzymywanie właściwego poziomu merytorycznego artykułów i programów naukowych, np. poprzez korzystanie z pomocy konsultantów naukowych. Oczywiście na zmiany postrzegania naukowców i nauczycieli przez społeczeństwo ma wpływ wiele czynników. Jednak biorąc pod uwagę skutki wdrożenia reformy systemu edukacji, należy podkreślić, że absolwenci nie zostali przygotowani do dalszego pozyskiwania wiedzy w dorosłym życiu. Zbytne nakierowanie ucznia na posiadanie umiejętności pozbawiło go znajomości wiedzy ogólnej, a przez to utrudniło mu elastyczność w poszukiwaniu zatrudnienia. Szkoła nie przygotowała absolwentów do selekcji pozyskiwanej wiedzy oraz porównywania informacji zdobytych z różnych źródeł. Należy ubolewać, że przedmiotem, który praktycznie został wyrugowany ze szkół, jest fizyka. A przecież fizyka jest dyscypliną dostarczającą wiedzy o otaczającym nas świecie i stanowi historyczną podstawę wszelkich nauk technicznych. Niestety, w powszechnym odbiorze fizyka traktowana jest jako przedmiot trudny i stresujący ucznia, niezależnie od wysiłków nauczycieli starających się pokazać uczniom piękno i przydatność fizyki w życiu codziennym. Zadania zachęcenia uczniów do docenienia zdobyczy nauki nie przejmą od szkół festiwale i centra nauki, gdzie nacisk kładziony jest na przyjemność i zabawę kosztem przekazywania rzetelnej wiedzy.

Literatura

- [1] E. Rydygier, *Reforma edukacji a nauczanie fizyki*, Fizyka w Szkole, 4 (2010) 50.
- [2] E. Pietras, E. Rydygier, *Společne koszty reformy systemu edukacji*, Fizyka w Szkole, 2 (2012) 51.
- [3] E. Rydygier, *Reforma edukacji a społeczny odbiór fizyki*, Fizyka w Szkole z Astronomią, 2 (2015) 46.

Autor jest fizykiem jądrowym, doktorem nauk technicznych, nauczycielem szkolnym i akademickim, działa w Sekcji Nauczycielskiej Polskiego Towarzystwa Fizycznego.

Wstęp do interferometrii atomowej

Jan Chwedeńczuk

Instytut Fizyki Teoretycznej, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

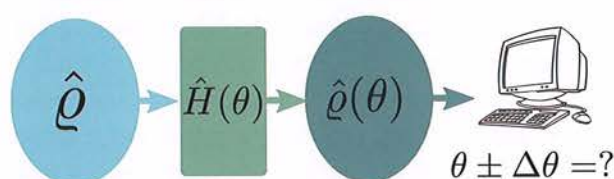
Wstęp

Metrologia kwantowa to dynamicznie rozwijająca się dziedzina fizyki. U jej podstaw leży pytanie, w jakim stopniu wykorzystanie zjawisk kwantowych może się przyczynić do poprawy dokładności pomiarowej. Wydawać by się mogło, że jest to zagadnienie techniczne, które zainteresuje wyłącznie fizyków zajmujących się pracą w laboratorium – i tylko tych spośród nich, którzy stawiają sobie za cel wyśrubowanie dokładności pomiarowej. Innymi słowy, w tak postawionym problemie trudno się doszukiwać istotnych związków między fundamentami mechaniki kwantowej a wynikami konkretnych badań doświadczalnych. Jest jednak przeciwnie – współczesna metrologia, a w szczególności jej aspekt interferometryczny – okazują się wiele wносить w nasze zrozumienie podstaw teorii kwantów. Omówimy teraz na prostym przykładzie, jakie są podstawowe pojęcia występujące w tej dziedzinie. Pozwoli to nam ocenić wagę metrologii i interferometrii kwantowej we współczesnej fizyce.

Podstawowy schemat metrologiczny

Podstawowy schemat, na jakim opiera się metrologia kwantowa, przedstawiony jest na rysunku 1. Pewien stan kwantowy, opisywany w ogólności macierzą gęstości $\hat{\rho}$ podlega ewolucji generowanej przez hamiltonian $\hat{H}(\theta)$. Zależność $\hat{H}$ od parametru θ powoduje, że także stan końcowy zależy od θ . Celem, przed jakim staje metrologia kwantowa, jest wyznaczenie wartości θ z jak największą precyzją, czyli z jak najmniejszym błędem $\Delta\theta$.

Warto poczynić dwie uwagi. Po pierwsze, można rozważać układy, gdzie θ nie jest “nadrukowywana” na stan kwantowy, lecz jest jego immanentną cechą. Przykładem może być stan w równowadze termodynamicznej. Wtedy θ może być na przykład utożsamiona z temperaturą układu. W takim przypadku, w schemacie rysunku 1 należy pominąć dwa pierwsze etapy i wyobrazić sobie, że dysponujemy stanem $\hat{\rho}(\theta)$, na którym



Rys. 1. Najprostszy schemat metrologiczny, w którym stan kwantowy $\hat{\rho}$ podlega ewolucji zależnej od parametru θ . W efekcie otrzymujemy stan końcowy $\hat{\rho}(\theta)$, na którym dokonywany jest pomiar. Celem jest wyznaczenie wartości parametru θ z jak największą dokładnością (czyli z jak najmniejszym błędem $\Delta\theta$)

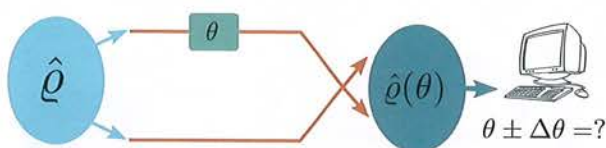
dokonuje się pomiaru. Po drugie, w przypadku schematu z rysunku 1, parametr θ może być dowolną wielkością występującą w hamiltonianie. Zazwyczaj θ jest związana z siłą sprzężenia między zewnętrznym polem a układem opisywanym macierzą gęstości $\hat{\rho}$.

Głównym celem metrologii kwantowej jest zaproponowanie takiego schematu pomiarowego i metody dedukcji z otrzymanych danych, by wynik był obarczony jak najmniejszą niepewnością $\Delta\theta$. Ponadto, przy ustalonym $\hat{H}(\theta)$ kluczowe okazuje się być dobór odpowiedniego stanu wejściowego $\hat{\rho}$. Jak się przekonamy na przykładzie interferometrycznym, kwantowe własności tego stanu są zasadnicze dla uzyskania najmniejszej możliwej wartości błędu pomiarowego.

Interferometria jako przykład metrologii

Od tej pory rozważać będziemy pewien szczególny przykład zagadnienia metrologicznego, jakim jest interferometria kwantowa. Parametrem metrologicznym θ jest w tym przypadku faza pomiędzy dwiema częściami układu opisywanymi przez $\hat{\rho}$.

Szczególne miejsce, jakie zajmuje interferometria w obszarze badań metrologicznych, wynika w pewnym stopniu ze znacznej prostoty układu z rysunku 2. Jest to układ o dwóch modach (choć w literaturze pojawia się dyskusja o interferometrach wielomodowych [7]), co pozwala wykonać wiele obliczeń



Rys. 2. Podstawowy schemat interferometryczny. Stan kwantowy $\hat{\rho}$ propaguje się w dwóch ramionach interferometru. Na jednym z ramion nadrukowana zostaje faza θ . Ramiona przecinają się, dając sygnał interferencyjny, niosący informację o wartości parametru. Podobnie jak w ogólnym przypadku metrologicznym, otrzymujemy stan końcowy $\hat{\rho}(\theta)$, na którym dokonywany jest pomiar. Celem, jak poprzednio, jest wyznaczenie θ i $\Delta\theta$

analitycznie. Ponadto, dla dwumodowych interferometrów liniowych (czyli takich, które nie korelują przechodzących przez nie cząstek) obowiązuje następujące twierdzenie [18].

Związek interferometrii ze splątaniem

Rozważmy N -cząstkowy, dwumodowy stan kwantowy $\hat{\rho}$, który podlega transformacji interferometrycznej $\hat{U}(\theta)$. Jeżeli w stanie tym nie występują korelacje kwantowe, czyli jeżeli możemy go przedstawić w następującej formie

$$\hat{\rho} = \sum_i p_i \hat{\rho}_i^{(1)} \otimes \cdots \otimes \hat{\rho}_i^{(N)}, \quad (1)$$

gdzie $p_i \geq 0$, oraz $\sum_i p_i = 1$,

to precyzja estymacji nie może przekroczyć granicy szumu śrutowego, czyli $\Delta\theta \geq \frac{1}{\sqrt{N}}$. Niemniej dla pewnych stanów, których nie można przedstawić w postaci (1) – nazywamy je splątanymi – granicę tę można przekroczyć, osiągając nawet skalowanie $\Delta\theta \propto \frac{1}{N}$.

Jest to centralne twierdzenie interferometrii kwantowej. Podsumujmy – mówi ono, że mechanika kwantowa dopuszcza istnienie stanów, skądinąd bardzo nieklasycznych, które mają korelacje pozwalające na zwiększenie precyzji pomiarowej. Dlatego powyższe twierdzenie stawia interferometrię kwantową w nowym świetle. Z tej perspektywy możemy postrzegać zagadnienia interferometryczne jako metodę klasyfikowania stanów kwantowych. Klasyfikacja ta jest o tyle użyteczna, że umieszcza pojęcie splątania w szerszym kontekście i nadaje mu praktyczny wymiar.

Obecny stan wiedzy

Badania teoretyczne nad układami interferometrycznymi i stanami dwumodowymi prowadzone są na wielu frontach. Istotne jest zagadnienie wpływu otoczenia na trwałość subtelnych korelacji kwantowych [21, 8, 17, 4]. Bada się prawdziwość podstawowych twierdzeń in-

terferometrycznych dla układów o nieokreślonej liczbie cząstek [13]. Poszukuje się nowych schematów interferometrycznych [10] i metod wytwarzania stanów splątanych [14, 22].

Z praktycznego punktu widzenia, najważniejszy jest jednak postęp, jaki się dokonał w ramach badań doświadczalnych nad nieklasycznymi stanami wytwarzanymi na potrzeby interferometrii kwantowej. Omówimy teraz główne wyniki z tej dziedziny.

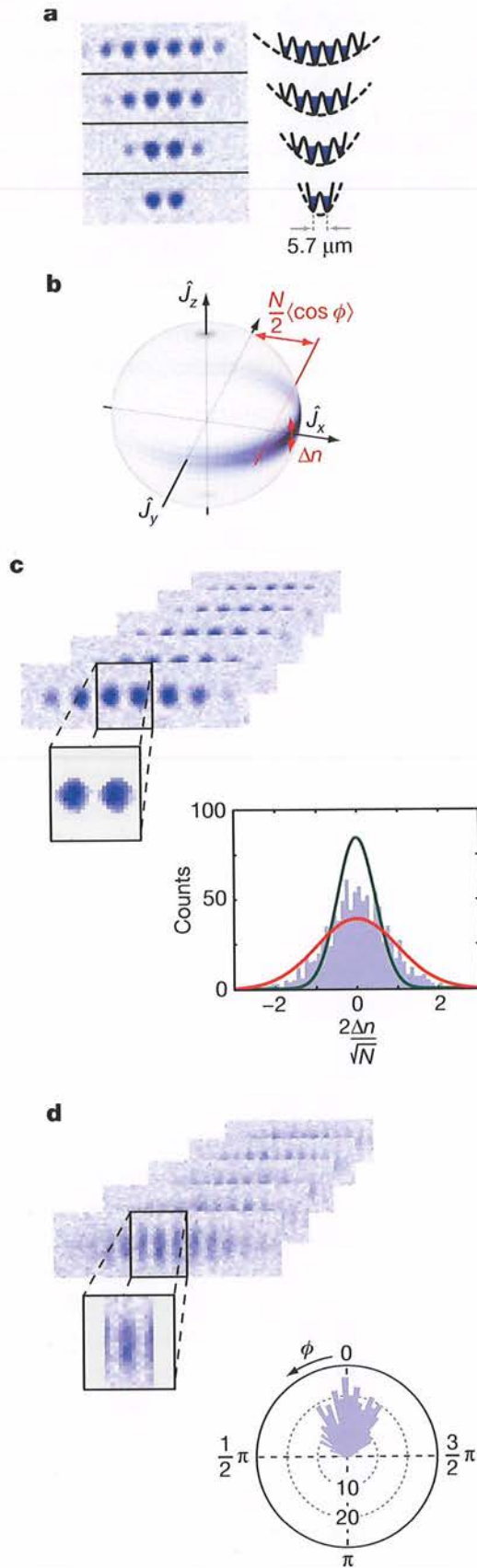
Najważniejsze osiągnięcia eksperymentalne

Pierwsza praca, którą omówimy, powstała w 2008 roku pod kierownictwem Markusa Oberthaler [9]. Eksperymentatorzy uzyskali kondensat Bosego–Einsteina atomów rubidu, który umieścili w podwójnej studni potencjału, rys. 3 (a). Następnie, podwyższając barierę między studniami, obniżyli fluktuacje liczby cząstek w każdej z nich, rys. 3 (b). Niemniej, nieustannie kontrolowano układ, tak żeby zachować wysoką spójność, czego dowodem były wyraźne prążki interferencyjne uzyskane po wypuszczeniu gazu z pułapki, rys. 3 (c). Zjawisko to – czyli zamrożenie fluktuacji liczby cząstek w każdym z modów, któremu towarzyszy wysoka spójność – nazywane jest „ściskaniem spinu” (ang. *spin-squeezing*) [14, 23]. Można wykazać, że stan spinowo ściśnięty jest splątany i użyteczny dla interferometrii kwantowej. Doświadczenie [9] jest pierwszym przykładem wytworzenia wielocząstkowego nieklasycznego stanu tego typu.

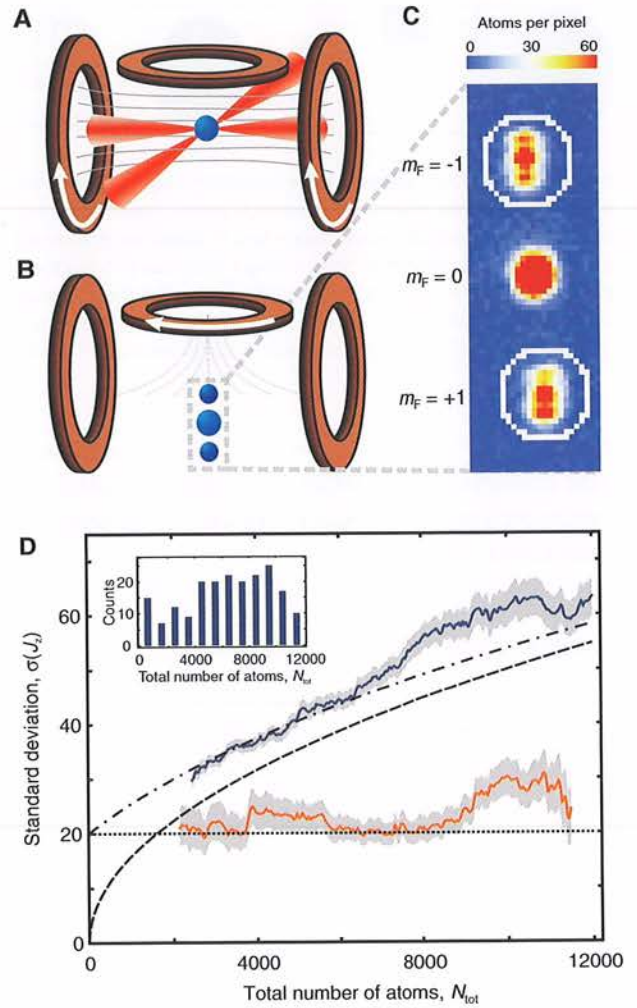
W następnych latach ukazało się wiele ważnych prac donoszących o wytworzeniu wielocząstkowych stanów ściśniętych w układach atomowych [1, 19, 11]. Z czasem jednak zaczęto poszukiwać nowych rozwiązań prowadzących do wytworzenia stanów splątanych.

W pracy [16] wykorzystano zjawisko rozpraszania par atomów do wytworzenia nieklasycznie skorelowanego stanu kwantowego. Doświadczenie rozpoczęło się od przygotowania tak zwanego spinorowego kondensatu Bosego–Einsteina o całkowitym spinie $F = 1$ w stanie o rzucie $M_F = 0$. Zderzenia między parami atomów doprowadziły do zmiany rzutu: z pary atomów o $M_F = 0$ każdy, powstawała para o $M_F = \pm 1$. Następnie rozdzielono chmury o różnym M_F przy pomocy pola magnetycznego o silnym gradiencie przestrzennym (w analogii do doświadczenia Sterna–Gerlacha).

Wykazano, że w każdej z chmur o przeciwnym M_F jest tyle samo atomów, co dowodzi, że rozpraszają się one w parach. Następnie użyto takiego skorelowanego stanu do wyznaczenia kąta obrotu w atomowym analogu niesymetrycznej płytki światłodzielącej. Wykazano, że precyzja estymacji tego kąta jest lepsza niż granica szumu śrutowego. W ten sposób udowodniono,



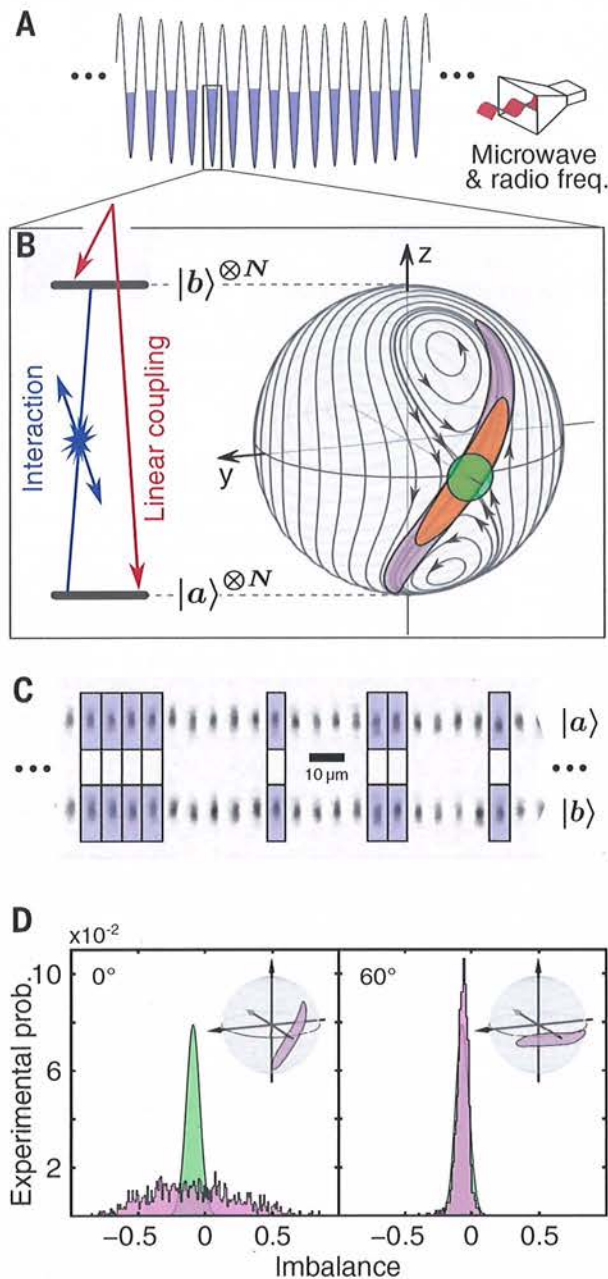
Rys. 3. Rysunek z pracy [9] przedstawia schemat doświadczalny i najważniejsze wyniki. (a) Sieć optyczna, na którą nałożono pułapkę harmoniczną, tak aby uzyskać podwójną studnię potencjału. (b) Pomiar liczby cząstek w każdej studni wraz z histogramem, na którym widnieje porównanie z rozkładem normalnym. (c) Interferencja z dwóch studni oraz histogram względnej fazy



Rys. 4. Rysunek z pracy [16] przedstawia schemat doświadczalny i najważniejsze wyniki. (A) Kondensat Bosego–Einsteina atomów o spinie $F = 1$ i rzucie $M_F = 0$ w pułapce magnetycznej. (B) Zderzenia między atomami prowadzą do powstania par atomów o przeciwnych rzutach. (C) Doświadczenie Sterna–Gerlacha rozszczepia wiązkę o różnym M_F . (D) Pomiar różnicy liczby cząstek między dwiema chmurami dowodzi, że atomy rozpraszają się w parach

że stan rozproszonych par atomowych jest nieklasycznie skorelowany, poprzez analogię do korelacji między rozproszonymi parami fotonów w procesie parametrycznego podziału częstości [6, 15]. Warto nadmienić, że podobny schemat doświadczalny, oparty na rozpraszaniu par atomów z kondensatu Bosego–Einsteina, stosowano w licznych pracach takich jak [2] wykonanej pod kierownictwem Jörga Schmiedmayera w Wiedniu, czy [3] autorstwa grupy Chrisa Westbrooka z Palaiseau pod Paryżem.

Na koniec, warto wspomnieć o nowej pracy doświadczalnej, również wykonanej w laboratoriach Markusa Oberthaler [20]. Głównym wynikiem tej pracy jest zbadanie silnie skorelowanych układów, do których opisu nie wystarcza powszechnie używany parametr ściskania spinu. W doświadczeniu tym



Rys. 5. Rysunek z pracy [20] przedstawia schemat doświadczenia i najważniejsze wyniki. (A) Kondensat Bosego–Einsteina umieszczono w sieci optycznej. (B) W każdym z oczek sieci wytworzono skorelowany stan atomowy dzięki obecności oddziaływań dwuciałowych. (C) Obserwacja liczby cząstek w dwóch stanach wewnętrznych stopniach swobody atomów, na każdym z oczek sieci. (D) Zmierzona różnica liczby obsadzeń, pokazująca silną korelację między dwoma modami

do splątania cząstek zaprzęgnięto oddziaływania dwuciałowe. W początkowym stadium ewolucji stan był spinowo ściśnięty. W późniejszych chwilach korelacja na tyle się pogłębiła, że parametr ściskania spinu nie wystarczał do opisu układu. Wykazano, że pełną wiedzę o korelacjach można pozyskać z tak zwanej informacji Fishera [12, 5].

Obecnie interferometry posiłkujące się nieklasycznymi stanami światła bądź materii są raczej demon-

stracją możliwości grup doświadczalnych niż przydatnymi urządzeniami pomiarowymi. Wysiłek wkładany w tworzenie stanów splątanych oraz zabiegi, jakich trzeba dokonać by uchronić układ przed wpływem otoczenia, są niewspółmierne do korzyści. Interferometria kwantowa jest na etapie zbliżonym do tego, na jakim jest produkcja samochodów o napędzie elektrycznym. Nakłady kosztów w trakcie projektowania i produkcji oraz cena takiego samochodu są nieporównywalne z ceną oszczędnego samochodu o napędzie spalinowym. Niemniej, w dalszej perspektywie, napęd elektryczny bądź wodorowy wydaje się być jedyną słuszną ścieżką rozwoju motoryzacji.

Podobnie rzecz się ma z interferometrią – w szerszym ujęciu „nanolinijki” muszą korzystać z dobrodziejstw splątania kwantowego. Przyczyna tego leży w potencjalnych zastosowaniach interferometrów kwantowych. Ich przeznaczeniem będzie badanie eterycznych zjawisk w mikro- i nanoskali. Na przykład, rozważa się użycie interferometru atomowego (czyli takiego, który operuje na stanach materii, w odróżnieniu od interferometrów, w których propaguje się światło), do pomiaru stałej grawitacyjnej G . Planowany pomiar opierałby się na oddziaływaniu masywnego obiektu (na przykład stalowej kuli) z nieklasycznym dwumodowym stanem materii. Oddziaływanie takie doprowadziłoby do nadrukowania fazy między modami, z której można by odczytać siłę sprzężenia. Ponieważ liczba cząstek N , jaką można wprowadzić w podatny na zaburzenie stan kwantowy, nie jest dowolnie duża, istotne jest by precyzja estymacji fazy korzystnie skalowała się z N .

Podsumowując, interferometria kwantowa jest dynamicznie rozwijającą się dziedziną metrologii, która niesie informacje o nieklasycznych korelacjach między cząstkami. Postęp w dziedzinie teoretycznej i doświadczalnej świadczy o zainteresowaniu naukowców z czołowych grup badawczych tym obszarem fizyki.

Literatura

- [1] Jürgen Appel, Patrick Joachim Windpassinger, Daniel Oblak, U Busk Hoff, Niels Kjærgaard, and Eugene Simon Polzik, Mesoscopic atomic entanglement for precision measurements beyond the standard quantum limit, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 106(27):10960–10965, 2009.
- [2] Tarik Berrada, Sandrine van Frank, Robert Bücker, Thorsten Schumm, J-F Schaff, and Jörg Schmiedmayer, Integrated mach-zehnder interferometer for bose-einstein condensates, *Nat. Commun.*, 4, 2013.
- [3] M. Bonneau, J. Ruau del, R. Lopes, J.-C. Jaskula, A. Aspect, D. Boiron, and C. I. Westbrook, Tunable source of correlated atom beams, *Phys. Rev. A*, 87:061603, Jun 2013.

- [4] J B Brask, R Chaves, and J Kołodyński, Improved quantum magnetometry beyond the standard quantum limit, *arXiv:1411.0716*.
- [5] Samuel L Braunstein and Carlton M Caves, Statistical distance and the geometry of quantum states, *Phys. Rev. Lett.*, 72(22):3439–3443, 1994.
- [6] David C. Burnham and Donald L. Weinberg, Observation of simultaneity in parametric production of optical photon pairs, *Phys. Rev. Lett.*, 25:84–87, 1970.
- [7] J. Chwedeńczuk, F. Piazza, and A. Smerzi, Multipath interferometer with ultracold atoms trapped in an optical lattice, *Phys. Rev. A*, 87:033607, 2013.
- [8] Rafał Demkowicz-Dobrzański, Jan Kołodyński, and Mădălin Guță, The elusive heisenberg limit in quantum-enhanced metrology, *Nature communications*, 3:1063, 2012.
- [9] J Esteve, C Gross, A Weller, S Giovanazzi, and MK Oberthaler, Squeezing and entanglement in a bose–einstein condensate, *Nature (London)*, 455(7217):1216–1219, 2008.
- [10] Karol Gietka and Jan Chwedeńczuk, Atom interferometer in a double-well potential, *Phys. Rev. A*, 90:063601, Dec 2014.
- [11] Christian Gross, Tilman Zibold, Eike Nicklas, Jerome Esteve, and Markus K Oberthaler, Nonlinear atom interferometer surpasses classical precision limit, *Nature (London)*, 464(7292):1165–1169, 2010.
- [12] A.S. Holevo, *Probabilistic and Statistical Aspects of Quantum Theory*, Publications of Scuola Normale Superiore, 2011.
- [13] P. Hyllus, L. Pezzé, and A. Smerzi, Entanglement and sensitivity in precision measurements with states of a fluctuating number of particles, *Phys. Rev. Lett.*, 105:120501, Sep 2010.
- [14] Masahiro Kitagawa and Masahito Ueda, Squeezed spin states, *Phys. Rev. A*, 47(6A):5138–5143, 1993.
- [15] Paul G. Kwiat, Klaus Mattle, Harald Weinfurter, Anton Zeilinger, Alexander V. Sergienko, and Yanhua Shih, New high-intensity source of polarization-entangled photon pairs, *Phys. Rev. Lett.*, 75:4337–4341, 1995.
- [16] B. Lücke, M. Scherer, J. Kruse, L. Pezzé, F. Deuretzbacher, P. Hyllus, O. Topic, J. Peise, W. Ertmer, J. Arlt, L. Santos, A. Smerzi, and C. Klempt, Twin matter waves for interferometry beyond the classical limit, *Science*, 334:773, 2011.
- [17] K. Pawłowski, D. Spehner, A. Minguzzi, and G. Ferrini, Macroscopic superpositions in bose-josephson junctions: Controlling decoherence due to atom losses, *Phys. Rev. A*, 88:013606, 2013.
- [18] Luca Pezzé and Augusto Smerzi, Entanglement, nonlinear dynamics, and the heisenberg limit, *Phys. Rev. Lett.*, 102(10):100401, 2009.
- [19] Max F Riedel, Pascal Böhi, Yun Li, Theodor W Hänsch, Alice Sinatra, and Philipp Treutlein, Atom-chip-based generation of entanglement for quantum metrology, *Nature (London)*, 464(7292):1170–1173, 2010.
- [20] Helmut Strobel, Wolfgang Muessel, Daniel Linneemann, Tilman Zibold, David B. Hume, Luca Pezzé, Augusto Smerzi, and Markus K. Oberthaler, Fisher information and entanglement of non-gaussian spin states, *Science*, 345(6195):424–427, 2014.
- [21] P. Szańkowski, M. Trippenbach, and J. Chwedeńczuk, Parameter estimation in memory-assisted noisy quantum interferometry, *Phys. Rev. A*, 90:063619, 2014.
- [22] T Wasak, P Szańkowski, and J Chwedeńczuk, Interferometry with independently prepared bose-einstein condensates, *Phys. Rev. A*, 91(4):043619, 2015.
- [23] DJ Wineland, JJ Bollinger, WM Itano, and DJ Heinzen, Squeezed atomic states and projection noise in spectroscopy, *Phys. Rev. A*, 50(1):67, 1994.

KRONIKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

Nominacje profesorskie

27 września 2016 roku: Adam Barcz (Instytut Fizyki PAN w Warszawie), Maria Gazda (Politechnika Gdańska), Detlef Hommel (Uniwersytet Wrocławski), Bogumił Linde (Uniwersytet Gdański), Marek Nowicki (Uniwersytet Wrocławski)

26 października 2016 roku: Jan Błęcki (Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie), Aleksiej Pamiatnych (Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN w Warszawie)

W poniedziałek 12 grudnia 2016 roku w Sali Obrazowej Pałacu Prezydenckiego odbyła się ceremonia wręczenia odznaczeń państwowych dwóm wybitnym uczonym: prof. Andrzejowi Trautmanowi (Krzyż Komandorski Orderu Odrodzenia Polski) i prof. Rogerowi Penrose'owi (Krzyż Komandorski Orderu Zasługi Rzeczypospolitej Polskiej). Ordery wręczył Prezydent RP Andrzej Duda.



Jak (nie) uczyć fizyki?

Joanna Gondek

Zakład Dydaktyki Fizyki, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Uniwersytet Gdański, Gdańsk

Wstęp

Omawianie zagadnień z kinematyki rozpoczyna się zwyczajowo dyskusją ruchu prostoliniowego jednowymiarowego. Taki schemat nauczania kinematyki jest stosowany w szkołach powszechnych (obecnie gimnazjum i szkole ponadgimnazjalnej), a także w szkołach wyższych. U podłoża takiego schematu wydaje się leżeć zasada stopniowania złożoności wprowadzanych do nauczania zagadnień. Ta zaś bierze się prawdopodobnie z powszechnego przekonania, że łatwiej jest przejść od szczegółu do ogółu, niż na odwrót. Doświadczenia z pracy z uczniami i studentami wskazują jednak na to, że skupianie się na jednym aspekcie omawianego zagadnienia i związane z tym uproszczenia często prowadzą do wyrobienia niewłaściwego i trudnego później do wyprostowania, wyobrażenia o całości zagadnienia. Problem ten jest poważny zwłaszcza w sytuacji, gdy nauczanie jest tak zorganizowane, że nie przechodzi się od szczegółu do ogółu przez długi czas albo wcale.

Powszechne nauczanie fizyki trwa w Polsce cztery lata: trzy lata w gimnazjum i rok w szkole ponadgimnazjalnej. Na tym etapie – jedynym dla większości polskiej młodzieży – nauczanie fizyki, zgodnie z oświatowymi aktami prawnymi, czyli z „Podstawą programową przedmiotu fizyka”, ma się zaczynać od „intuicyjnego rozumienia zjawisk fizyki” [1]. Rozpoczęcie omawiania zagadnień z kinematyki, w szczególności pojęć prędkości i przyspieszenia, od dyskusji ruchu prostoliniowego wydaje się więc tym bardziej uzasadnione. Bardziej szczegółowe wyjaśnienie dlaczego w zakresie podstawowego (czyli powszechnego) wykształcenia z fizyki znalazł się tylko ruch prostoliniowy, podane zostało w komentarzu do „Podstawy programowej przedmiotu fizyka” oraz we wskazówkach do jej realizowania [1]. Napisano tam, że rachunek wektorowy jest zbyt trudny, aby uczniowie gimnazjum mogli go przyswoić, więc w *gimnazjum zupełnie wystarczy prosta informacja, że niektóre wielkości (prędkość, siła itd.) oprócz wartości mają kierunek*. I rzeczywiście, w więk-

szości podręczników przeznaczonych dla gimnazjalistów wektorowy charakter prędkości ograniczony jest do tej „prostej informacji”, że prędkość ma i wartość, i kierunek. W pozostałych kontekstach wektorowy charakter prędkości i przyspieszenia jest ignorowany – i to do tego stopnia, że większość nauczycieli fizyki stosuje utożsamienie tych wielkości z ich wartościami. Co uczeń zrozumie i zapamięta z informacji, że prędkość ma wartość i kierunek, jeśli tuż przed lub tuż po poznaniu tego faktu dowiaduje się także, że prędkość to iloraz drogi i czasu, czyli iloraz wielkości skalarnych? Jeżeli mamy wyrobić w uczniach świadomość, że prędkość ma i wartość, i kierunek, to trzeba o tych cechach prędkości mówić wprost. Liczenie na to, że uczniowie domyślą się z kontekstu o czym mowa, nie jest czymkolwiek uzasadnione. Fakt, że w gimnazjum omawiany jest tylko ruch prostoliniowy to zbyt słabe uzasadnienie dla skrótów myślowych, które utrudniają uczniom nie tylko zrozumienie, że prędkość jest wielkością wektorową ale nawet zapamiętanie tego faktu. Ograniczenie omawianych ruchów do ruchów prostoliniowych powinno raczej skłaniać nauczycieli do rygorystycznego przestrzegania precyzji wypowiedzi.

Z powyższych powodów – omawiania tylko ruchu prostoliniowego i utożsamiania wielkości wektorowych z ich wartościami – wektorowy charakter prędkości i przyspieszenia umyka uwadze i uczących, i nauczanych. A przecież wyrobienie w uczniach świadomości, że prędkość i przyspieszenie są wielkościami wektorowymi jest ważne chociażby dlatego, że bez niej uczniowie nie mają możliwości zrozumienia zasad dynamiki Newtona. We wszystkich podręcznikach gimnazjalnych przyspieszenie jest słownie definiowane jako stosunek zmiany prędkości do czasu, w jakim ta zmiana nastąpiła. Na pozór ta „definicja” nie kryje w sobie żadnych pułapek. Matematyczny zapis gimnazjalnej „definicji” przyspieszenia nie pozostawia jednak żadnych wątpliwości: w gimnazjum przyspieszenie to stosunek zmiany wartości prędkości do czasu

w jakim ta zmiana nastąpiła. Oczywiście można powiedzieć, że ponieważ została ta „definicja” sformułowana na potrzeby opisu ruchu prostoliniowego, więc jest poprawna. A jednak... Po pierwsze, to ograniczające założenie nie jest nigdzie zaznaczane, a po drugie – znacznie ważniejsze – tak zdefiniowane przyspieszenie pojawia się w drugiej zasadzie dynamiki Newtona. Jest to oczywiście poważny błąd: druga zasada dynamiki dotyczy również tej składowej przyspieszenia, która opisuje szybkość zmian kierunku prędkości, a o której istnieniu uczniowie nie wiedzą. Jak wiadać, nauczyciele fizyki sami wpadają w pułapkę, jaką jest gimnazjalna definicja przyspieszenia. Ta pułapka zaś bierze się z budowania rozumienia pojęcia prędkości i przyspieszenia na podstawie ruchu prostoliniowego. A przecież można wprowadzić pojęcia prędkości i przyspieszenia ze wszystkimi ich aspektami *bez* odwoływania się do formalnego rachunku wektorowego. *Wymaga to jednak omówienia ruchu... krzywoliniowego, a nie skupiania się na ruchu prostoliniowym.*

Budowanie pojęcia prędkości jako wielkości wektorowej bez posługiwania się formalnym rachunkiem wektorowym, ale na przykładzie ruchu krzywoliniowego

Postaramy się pokazać, że budowanie w uczniach świadomości wektorowego charakteru prędkości nie wymaga stosowania rachunku wektorowego (choć warto zauważyć, że podstawowe działania algebry wektorów nie sprawiają uczniom wielkiego kłopotu). Jeśli jednak mamy ukształtować w uczniach świadomość tego, że prędkość ma i wartość, i kierunek, konieczność ilustrowania prędkości za pomocą graficznego symbolu wektora wydaje się oczywista. I jeżeli z tym się godzimy, to wydaje się, że powinniśmy konsekwentnie zwracać uczniom uwagę na to, co dzieje się w czasie omawianego ruchu z kierunkiem wektora symbolizującego prędkość. Narzędzia dostępne obecnie w nauczaniu – animacje, symulacje, filmy, ale także zwykłe rysunki – pozwalają ilustrować ruch w taki sposób, żeby zmieniały się zarówno długość, jak i kierunek (orientacja) wektora prędkości poruszającego się ciała. I właśnie dlatego, żeby nie zaniedbać żadnego aspektu pojęcia prędkości, warto wprowadzić to pojęcie na przykładzie ruchu krzywoliniowego. Takie wprowadzenie – poprzedzone wprowadzeniem pojęć takich jak ruch, względność ruchu, układ odniesienia, tor ruchu, droga – mogłoby być poprowadzone według poniższego schematu.

1. Zdefiniowanie *średniej wartości prędkości* jako stosunku długości toru ruchu (drogi) do czasu, w jakim

ten fragment toru ruchu został pokonany: $v_{sr} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$. Zilustrowanie definicji średniej wartości prędkości na przykładach ruchu krzywoliniowego niejednostajnego (bez nazywania go początkowo ani krzywoliniowym, ani niejednostajnym), aby pokazać, że średnia wartość prędkości $v_{sr} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, z jaką ciało się porusza, wyznaczona dla takich samych przedziałów czasu, ale między różnymi chwilami odpowiadającymi różnym punktom toru ruchu, może być różna. Oczywiście, tor ruchu nie ma w tym zagadnieniu żadnego znaczenia, ale wybranie jako przykładowego toru krzywoliniowego pozwala podkreślić, że w definicji średniej wartości prędkości nie ma żadnego odwołania do kształtu toru ruchu, a jedynie do jego długości. Dodatkowym argumentem przemawiającym za posłużeniem się przykładami ruchu krzywoliniowego jest fakt, że do wyrobienia w uczniach zrozumienia pojęcia średniej wartości prędkości idealne są przykłady ruchu ciał wyposażonych w „licznik kilometrów”, takich jak rower, samochód czy biegacz z telefonem komórkowym z odpowiednim programem, a te są najczęściej ruchami krzywoliniowymi.

2. Wyjaśnienie fizycznego znaczenia pojęcia *chwili*. W fizyce przez chwilę rozumiemy także nieskończenie, niezmiernie krótki upływ czasu. Gdy mówimy, że coś dzieje się w chwili t_0 , mamy często na myśli, że dzieje się to w niezmiernie krótkim przedziale czasu liczącym od tej chwili t_0 . Fakt, że między chwilą t_0 i pewną chwilą późniejszą t_k upływa niezmiernie krótki czas można zapisać symbolicznie: $\Delta t = (t_k - t_0) \rightarrow 0$ lub $\Delta t = t_k - t_0 \approx 0$. Można zaryzykować przypuszczenie, że dla uczniów matematyczny zapis nieskończenie krótkiego przedziału czasu – fizycznej chwili – w postaci $\Delta t = t_k - t_0 \approx 0$ będzie bardziej zrozumiały niż standardowy zapis $\Delta t \rightarrow 0$.

3. Zdefiniowanie *wartości prędkości chwilowej* (wartości prędkości w danej chwili) jako średniej wartości prędkości obliczonej dla niezmiernie krótkiego przedziału czasu $\Delta t \approx 0$ ($\Delta t \rightarrow 0$). Do wyrobienia w uczniach rozumienia tego, że wartość prędkości informuje o tym jak szybko „połykana jest długość” toru ruchu, a kształt toru ruchu nie wpływa na tę cechę prędkości, szczególnie przydatne są przykłady ruchu krzywoliniowego. Można pokusić się o zapisanie równania opisującego wartość prędkości: $v(t) = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ i $\Delta t \approx 0$ ($\Delta t \rightarrow 0$). Oczywiście, wzór ten miałby być tylko symbolicznym zapisem, podsumowującym omówienie przykładów ruchów krzywoliniowych niejednostajnych, ale uczniom, którzy podejmą naukę fizyki także na dalszym etapie edukacji, łatwo będzie go skojarzyć z definicją wartości prędkości chwilowej w postaci $v(t) = \frac{ds}{dt}$.

4. Wprowadzenie wektora prędkości $\vec{v}(t)$. Omówienie potrzeby określenia nie tylko wartości prędkości, ale także tego, w którą stronę ciało się przemieści w najbliższym czasie, czyli w którą stronę ciało się porusza w danej chwili. Do pokazania tego aspektu prędkości także szczególnie przydatne są przykłady ruchu krzywoliniowego, co przemawia za wykorzystywaniem ich od początku rozważań dotyczących prędkości.

W zrozumieniu znaczenia kierunku i zwrot wektora prędkości pomagają uczniom rysunki, animacje, mapy i aplikacje do nawigacji na telefon czy tablet itp., ilustrujące ruch krzywoliniowy z wykorzystaniem graficznego symbolu wektora prędkości ciała w różnych położeniach (czyli w różnych chwilach). Aby uwypuklić kierunek wektora prędkości, warto rysować go na fragmencie stycznej do toru ruchu (bez wprowadzania pojęcia stycznej), co pozwoli odwołać się do pojęcia kierunku, które uczniowie poznają już w szkole podstawowej. Wydaje się, że taki zabieg ułatwi zrozumienie, iż każdy ruch krzywoliniowy jest ruchem, w którym prędkość się zmienia (wielu studentów pierwszego roku fizyki jest tym faktem zaskoczonych i niewątpliwie jest to skutek budowania rozumienia pojęcia prędkości i przyspieszenia na przykładach ruchów prostoliniowych), a wektor prędkości jest styczny do toru ruchu (to przyda się tym, którzy będą poznawać tzw. rozszerzony zakres fizyki).

Przy wprowadzaniu pojęcia wielkości wektorowej i jej graficznej reprezentacji, czyli graficznego symbolu wektora, trzeba pamiętać, że w szkolnej matematyce wektor określany jest jako wielkość mająca kierunek, zwrot i długość – długość, a nie wartość. Długość wektora przedstawiającego wielkość fizyczną odpowiada wartości tej wielkości fizycznej i prawdopodobnie dlatego w fizyce pojawia się wartość wektora prędkości, wartość wektora siły itp. (Niestety to utożsamienie prowadzi w fizyce do problemów z jednoznacznością sformułowań: wartość współrzędnej wektora może być ujemna, ale wartość wektora rozumiana jako długość wektora oczywiście nie).

5. Zdefiniowanie ruchu jednostajnego. Omówienie ruchu krzywoliniowego, w czasie którego średnia wartość prędkości obliczona dla dowolnego przedziału czasu jest taka sama: $\frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} = \dots = v_{sr}$. Skoro jest to słuszne dla dowolnego przedziału czasu, to musi tak być również dla niezmiernie krótkich przedziałów czasu $\Delta t \approx 0$ ($\Delta t \rightarrow 0$). Oznacza to, że wartość prędkości w każdej chwili ruchu jest taka sama. Nazwanie ruchu, w czasie którego wartość prędkości się nie zmienia, ruchem jednostajnym. Wykorzystanie przykładów ruchu krzywoliniowego pozwala na pokazanie – za pomocą rysunków, animacji z graficznym symbolem wektora prędkości – że w ruchu jednostaj-

nym, choć długość wektora prędkości jest stała, to jego kierunek może się zmieniać.

Oczywiście po wprowadzeniu pojęcia wartości prędkości można po prostu zdefiniować ruch jednostajny jako taki, w czasie którego wartość prędkości $v(t)$ jest stała. Jednak pokazanie, że w takim ruchu średnia wartość prędkości wyznaczona dla dowolnego przedziału czasu jest zawsze taka sama, ułatwi uczniom zrozumienie, że średnia wartość prędkości to taka wartość prędkości, jaką musiałoby mieć ciało, aby przebyć daną drogę w danym czasie ruchem jednostajnym. Niestety, często średnia wartość prędkości kojarzona jest ze średnią arytmetyczną wartości prędkości.

6. Wyprowadzenie wzoru na drogę w ruchu jednostajnym. W ruchu jednostajnym zachodzi $v_{sr} = v$, więc zachodzi również $v_{sr} = v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ i $\Delta s = v_{sr} \Delta t = v \Delta t$. Omówienie tej ostatniej zależności na przykładzie ruchu jednostajnego krzywoliniowego pozwala na wyrobienie w uczniach świadomości, że o drodze – długości toru ruchu pokonanego w czasie Δt – decyduje tylko wartość prędkości. Warto odwołać się do początku rozważań dotyczących prędkości i zwrócić uwagę, że przy wprowadzaniu pojęcia średniej wartości prędkości, kształt toru ruchu nie miał znaczenia. W kolejnych etapach edukacji fizycznej ułatwi to zrozumienie, skąd biorą się zależności: $ds = v dt$ oraz $s + C = \int v dt$.

7. Omówienie ruchu jednostajnego prostoliniowego. Pokazanie, również za pomocą rysunków, animacji z graficznym symbolem wektora prędkości, że jest to ruch, w czasie którego stałe są zarówno wartość, jak i kierunek oraz zwrot wektora prędkości.

Z powyższych rozważań wynika, że można wprowadzić pojęcie prędkości jako wielkości wektorowej bez odwoływania się do formalnego rachunku wektorowego. Nie będzie to jednak przekonujące, jeśli omawiany będzie tylko ruch prostoliniowy. Zauważmy także, że w zaproponowanym sposobie wprowadzenia wektora prędkości nie pojawia się tzw. wektor prędkości średniej, czyli stosunek wektora przemieszczenia $\Delta \vec{r}$ do czasu w jakim to przemieszczenie nastąpiło: $\vec{v}_{sr} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$. Wektor prędkości średniej często sprawia poznającym go kłopoty interpretacyjne (jego związek z rzeczywistym ruchem jest dość słaby), a jest wprowadzany tylko po to, by pokazać, że wektor prędkości jest styczny do toru ruchu. Wbrew powszechnemu przekonaniu, wprowadzenie pojęcia wektora prędkości średniej nie jest jednak do tego potrzebne. Matematycznie wektor prędkości jest pochodną wektora położenia względem czasu, zatem kierunek wektora prędkości jest taki sam jak kierunek wektora $\Delta \vec{r} = \vec{r}(t_0 + \Delta t) - \vec{r}(t_0)$ wtedy, gdy $\Delta t \rightarrow 0$.

Pomijanie wektorowego charakteru prędkości najbardziej wpływa na kształtowanie rozumienia pojęcia

przyspieszenia, a omawianie tylko ruchów prostoliniowych wręcz uniemożliwia zrozumienie tego pojęcia. W podręcznikach gimnazjalnych w zestawieniach typu „co powinienś wiedzieć” jako definicja wartości przyspieszenia, a najczęściej po prostu przyspieszenia (w myśl utożsamienia przyspieszenia z wartością przyspieszenia) wzór $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ jest podawany bez informacji, że tak jest tylko w przypadku ruchu prostoliniowego. Prawdopodobnie dlatego dla uczniów i początkujących studentów fizyki (także tych, którzy są absolwentami klas z rozszerzonym zakresem fizyki) wartością przyspieszenia bywa właśnie $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, niezależnie od tego, czy mowa o ruchu prostoliniowym, czy krzywoliniowym, a ruch jednostajny po okręgu to dla nich ruch... bez przyspieszenia. Dowodzi to tego, jak bardzo istotny jest pierwszy kontakt z danym pojęciem: jeżeli uczeń dowie się, że przyspieszenie to $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, i przez parę lat będzie w tym utwierdzany, to wyrugowanie tego ze świadomości wymaga znacznego wysiłku zarówno ucznia, jak i nauczyciela.

Jest jeszcze jeden poważny powód, dla którego niewłaściwe jest wyrabianie w uczniach przeświadczenia, że szybkość zmian wartości prędkości $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ jest całkowitym przyspieszeniem. Powodem tym – jak już wspomnieliśmy – jest druga zasada dynamiki Newtona, która w gimnazjalnych podręcznikach fizyki jest opisana w ten sposób:

- *Pod działaniem stałej niezrównoważonej siły ciało porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym, z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do wartości siły i odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała: $a = \frac{F}{m}$ [2];*
- *Ciało o masie m , na które działa stała siła F , porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem a , które można obliczyć ze wzoru: $a = \frac{F}{m}$ [3];*
- *Wartość przyspieszenia ciała o masie m jest wprost proporcjonalna do wartości wypadkowej siły $F_{\text{wypadkowa}}$, działającej na to ciało, a jego kierunek i zwrot są zgodne z kierunkiem i zwrotem tej siły: $\vec{a} = \frac{\vec{F}_{\text{wypadkowa}}}{m}$. Jeśli na ciało działa stała siła, to jego przyspieszenie ma wartość odwrotnie proporcjonalną do masy [4].*

Ponieważ w gimnazjum przyspieszenie to tylko $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, zatem przyspieszenie występujące w drugiej zasadzie dynamiki Newtona to dla uczniów właśnie $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$! Do jakich więc wniosków prowadzi zastosowanie drugiej zasady dynamiki Newtona na przykład do ruchu jednostajnego krzywoliniowego? Z faktu, że ruch jest ruchem jednostajnym *musi* zostać wyciągnięty wniosek, że jest to ruch bez przyspieszenia, $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 0$, i w konsekwencji – że na ciało poruszające się ruchem jednostajnym krzywoliniowym albo nie działają żadne siły, albo działają siły, które się równoważą. Dalej, z równania $a = \frac{F}{m}$ opisującego gimnazjalną drugą za-

sadę dynamiki trzeba wyciągnąć wniosek, że siła działająca na ciało może zmienić jedynie wartość prędkości tego ciała. Dla tych, którzy zdobędą tylko podstawowe wykształcenie z fizyki, czyli dla większości Polaków, pozostanie zagadką, co jest przyczyną ruchu krzywoliniowego. Kolejny wniosek z gimnazjalnej wersji drugiej zasady dynamiki Newtona $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{F}{m}$: wartość prędkości strąconego ze stołu przedmiotu można opisać równaniem $v = v_0 + g\Delta t$ ($F_{\text{ciężar}} = gm = \text{const}$, więc $a = g = \text{const}$). Nie jest to oczywiście prawdą, ale o tym dowiedzą się tylko ci, którzy podejmą naukę fizyki na tzw. poziomie rozszerzonym.

Przykłady konsekwencji „niewektorowej prędkości” można mnożyć. Ale już jeden przykład tego typu jak podane powyżej powinien przesądzać o potrzebie wprowadzenia w gimnazjum przyspieszenia, opisującego zarówno szybkość zmian wartości prędkości, jak i szybkość zmian kierunku prędkości. Oczywiście wymaga to budowania w uczniach od samego początku ich nauki fizyki świadomości, że prędkość jest wielkością fizyczną o charakterze wektorowym. To zaś oznacza potrzebę omawiania ruchów krzywoliniowych.

Budowanie pojęcia przyspieszenia jako wielkości wektorowej, bez posługiwania się formalnym rachunkiem wektorowym, ale na przykładzie ruchu krzywoliniowego

Świadomość wektorowego charakteru prędkości umożliwi uczniom przynajmniej jakościową analizę krzywoliniowego ruchu ciała i zrozumienie, że przyspieszenie jako wielkość opisująca tempo zmian prędkości, opisuje nie tylko szybkość zmian wartości prędkości, ale także szybkość zmian jej kierunku. Rozumowanie wprowadzające pojęcie przyspieszenia mogłoby przebiegać według poniższego schematu.

1. Zdefiniowanie *ruchu z przyspieszeniem* jako ruchu, w czasie którego zmienia się choć jedna z cech prędkości. Odpowiednim do tego przykładem wydaje się ruch niejednostajny krzywoliniowy, np. samochodu, roweru wyposażonego w licznik kilometrów i prędkościomierz (szybkościomierz). Zwrócenie uwagi, że można „osobno” przeanalizować, jak szybko w czasie ruchu pojazdu zmienia się wartość jego prędkości (reprezentowana przez długość wektora prędkości, wskazania prędkościomierza pojazdu) i osobno, jak szybko zmienia się kierunek prędkości pojazdu (reprezentowany na rysunkach, animacjach, filmach przez kierunek graficznego symbolu wektora prędkości).

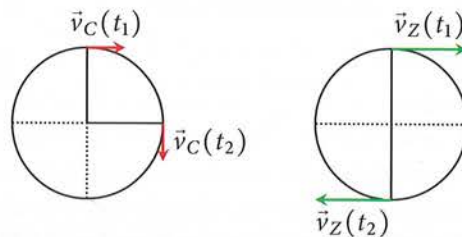
2. Wprowadzenie pojęcia *przyspieszenia stycznego*. Nazwanie ilorazu zmiany wartości prędkości i czasu, w jakim ta zmiana nastąpiła, średnią wartością współrzędnej stycznej przyspieszenia: $a_{\text{st_śred}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Określe-

nie „styczne” można uzasadnić i żartobliwie – w jakiś sposób trzeba odróżnić przyspieszenie opisujące szybkość zmian wartości prędkości od przyspieszenia opisującego szybkość zmian kierunku prędkości i poważne – określenie stanie się oczywiste, gdy uczniowie poznają te zagadnienia matematyczne, które umożliwią im stwierdzenie, że kierunek wektora prędkości i przyspieszenia stycznego jest taki jak kierunek stycznej do toru ruchu.

Omówienie i porównanie sytuacji, w których $a_{st_sred} > 0$ i $a_{st_sred} < 0$. Wydaje się, że zinterpretowanie ujemnego a_{st_sred} jako sytuacji, w której wartość prędkości poruszającego się ciała w czasie $\Delta t = t_k - t_0$ się zmniejszyła (wartość prędkości w chwili późniejszej t_k była mniejsza niż w chwili wcześniejszej t_0), nie jest żadnym wyzwaniem intelektualnym dla uczniów gimnazjum.

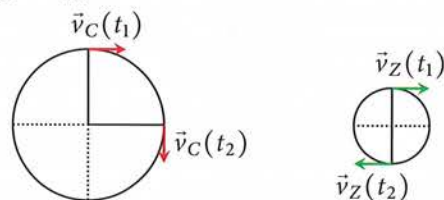
3. Zdefiniowanie *ruchu jednostajnie zmiennego*: przyspieszonego jako takiego, w czasie którego $a_{st_sred} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{const} = a_{st} > 0$ (rozumowanie podobne do tego zastosowanego przy wprowadzaniu pojęcia ruchu jednostajnego), a jednostajnie opóźnionego jako takiego, w czasie którego $a_{st_sred} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{const} = a_{st} < 0$ [5, 6], na przykładach ruchu krzywoliniowego. Wyprowadzenie wzoru na wartość prędkości $v = v_0 + a_{st}\Delta t$ i drogę: $s = v_0\Delta t + \frac{1}{2}a_{st}(\Delta t)^2$ w ruchu jednostajnie zmiennym. Pokazanie na konkretnym przykładzie, że wzory na wartość prędkości i drogę w ruchu jednostajnie opóźnionym są formalnie takie same jak w ruchu jednostajnie przyspieszonym – po prostu występujące w nich a_{st} jest w przypadku ruchu opóźnionego mniejsze od zera. Można wprowadzić kierunek i zwrot wektora przyspieszenia stycznego $\vec{a}_{st}$, czyli podać informację, że wektor przyspieszenia stycznego ma kierunek taki sam jak kierunek wektora prędkości i zwrot taki sam jak zwrot wektora prędkości wtedy, gdy $a_{st} = \frac{\Delta v}{\Delta t} > 0$ i $\Delta t \approx 0$, a zwrot przeciwny wtedy, gdy $a_{st} = \frac{\Delta v}{\Delta t} < 0$ i $\Delta t \approx 0$.

4. Wprowadzenie pojęcia przyspieszenia normalnego. Pokazanie, że w ruchu krzywoliniowym w tym samym czasie, w którym zmieniała się wartość prędkości, zmieniał się także kierunek prędkości ciała. Nazwanie wielkości fizycznej opisującej szybkość zmian kierunku prędkości przyspieszeniem normalnym lub dośrodkowym wraz z uwagą, że postać i wyprowadzenie wzoru na tę wielkość jest znacznie bardziej złożone niż wzoru opisującego przyspieszenie styczne. Żeby przybliżyć uczniom istotę przyspieszenia normalnego (dośrodkowego), można posłużyć się przykładem ciał poruszających się ruchem jednostajnym po okręgach o takim samym promieniu, ale z prędkościami o różnych wartościach:



W czasie Δt kierunek prędkości $\vec{v}_C$ ciała C zmienił się o 90° , a kierunek prędkości $\vec{v}_Z$ ciała Z – o 180° , zatem można powiedzieć, że kierunek prędkości $\vec{v}_Z$ zmienił się szybciej niż prędkości $\vec{v}_C$. Wynika z tego, że im większa wartość prędkości, tym szybciej zmienia się kierunek prędkości i tym większe jest przyspieszenie normalne (dośrodkowe).

Oczywiście warto rozważyć także ruch ciał poruszających się z prędkościami o takich samych wartościach $v_C = v_Z$ po okręgach o różnych promieniach (np. $r_C = 2r_Z$):



Uczniowie bez kłopotu stwierdzą, że w takim samym czasie Δt oba ciała pokonają takie same drogi (ruch jednostajny i wzór na drogę w takim ruchu są już im znane) i że w związku z tym, jeżeli kierunek prędkości $\vec{v}_C$ ciała C zmienił się o 90° , to kierunek prędkości $\vec{v}_Z$ ciała Z – o 180° , zatem kierunek prędkości $\vec{v}_Z$ zmienił się szybciej niż prędkości $\vec{v}_C$: im mniejszy promień okręgu, tym szybciej zmienia się kierunek prędkości i tym większe jest przyspieszenie normalne (dośrodkowe) [7].

Warto zwrócić uczniom uwagę, że jeżeli ruch po okręgu jest ruchem jednostajnym, to znaczy, że kierunek wektora prędkości zmienia się w stałym tempie, zatem wartość przyspieszenia normalnego (dośrodkowego) jest stała. Wydaje się, że wzór $a_d = \frac{v^2}{r}$ opisujący wartość przyspieszenia normalnego (dośrodkowego) w ruchu jednostajnym po okręgu można podać już w gimnazjum (jest on wskazany przez „Podstawę programową nauczania przedmiotu fizyka” jako wymagany w pierwszej klasie szkoły ponadgimnazjalnej również bez wyprowadzenia). Oczywiście, trzeba zwrócić uczniom uwagę, że w ruchu jednostajnym po okręgu wartość prędkości się nie zmienia, więc przyspieszenie styczne jest w takim ruchu równe zeru $a_{st} = 0$.

Można także określić kierunek i zwrot wektora przyspieszenia normalnego (dośrodkowego), czyli podać informację, że przyspieszenie normalne (dośrodkowe) jest wielkością wektorową, której wektor jest prostopadły do wektora prędkości i skierowany

do środka takiego okręgu, za którego fragment można uznać dany wycinek toru rozważanego ruchu.

5. Pokazanie, że w każdym ruchu krzywoliniowym wartość całkowitego przyspieszenia jest większa od wartości przyspieszenia stycznego $|a_{st}|$ (w ruchu krzywoliniowym kierunek prędkości się zmienia, więc na pewno wartość przyspieszenia normalnego jest w takim ruchu różna od zera).

6. Omówienie ruchu jednostajnie zmiennego prostoliniowego ($a_{st} = a_{całkowite} = a = \text{const}$ i także kierunek przyspieszenia się nie zmienia).

Jak widać, wprowadzenie przyspieszenia stycznego i normalnego wcale nie musi bazować na formalnym rachunku wektorowym i z powodzeniem mogłoby być zrealizowane w gimnazjum. Wprowadzenie przyspieszenia stycznego w zasadzie polegałoby na dodaniu przymiotnika „styczny” do nazwy „przyspieszenie” nadawanej w gimnazjalnych podręcznikach wielkości opisanej wzorem $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Czy przyswojenie nazwy „przyspieszenie styczne” jest dużo trudniejsze od przyswojenia nazwy „przyspieszenie”?

Powyższe rozważania pokazują, że poznanie wektorowego charakteru prędkości jest konieczne do zrozumienia fizycznego sensu samej prędkości, ale także do zrozumienia pojęcia przyspieszenia. Jeżeli uczniowie dowiedzą się, że zmiana prędkości może oznaczać także zmianę kierunku prędkości, to będą mieć świadomość, że przyspieszenie jest wielkością bardziej złożoną, niż wskazuje na to wzór $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Zbudowanie w uczniach świadomości tego faktu oznacza mniejsze ryzyko wyrobienia w nich złego wyobrażenia o wielkościach i zjawiskach fizycznych. Wiedza o tym, że na przyspieszenie składa się przyspiesze-

nie opisujące tempo zmian wartości prędkości i przyspieszenie opisujące tempo zmian kierunku prędkości, daje uczniom szansę na odnalezienie drugiej zasady dynamiki Newtona we wszystkich zjawiskach fizycznych, a nie tylko w ruchu prostoliniowym. Uwzględnianie wektorowego charakteru prędkości i omówienie złożonego charakteru przyspieszenia ułatwiłoby także zachowanie ciągłości między treściami nauczonymi w obowiązującym wszystkich uczniów podstawowym zakresie fizyki i zakresie rozszerzonym dla uczniów zainteresowanych fizyką lub potrzebujących jej w przyszłości na studiach wyższych. Powyższe rozważania wskazują także na to, że osiągnięcie wspomnianego celu wymaga jednak omówienia ruchu krzywoliniowego już na etapie podstawowego nauczania fizyki.

Literatura

- [1] Podstawa programowa nauczania przedmiotu fizyka, <http://men.gov.pl/zycie-szkoly/ksztalcenie-ogolne/podstawa-programowa/podstawa-programowa-wychowania-przedszkolnego-oraz-ksztalcenia-ogolnego-w-szkolach-podstawowych-gimnazjach-i-liceach.html#Tom5>; dostęp czerwiec 2015 r.
- [2] *Bliżej fizyki*, cz. 1, WSiP 2009, podręcznik dla gimnazjum.
- [3] *To jest fizyka*, Nowa Era 2009, podręcznik dla gimnazjum.
- [4] *Świat fizyki*, cz. 2, ZamKor 2009, podręcznik dla uczniów gimnazjum.
- [5] G. Białkowski, *Mechanika klasyczna*, PWN, Warszawa 1975.
- [6] A. Januszajtis, *Fizyka dla politechnik*, t. 1, PWN, Warszawa 1977.
- [7] J. Gondek, *Fizyka (Fizyka z tangramem)*, GWO Gdańsk 2012.

KRONIKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

Prof. Bogusław Pawłowski, dr Piotr Sułkowski, prof. Wojciech Dindorf, Chemiczne Koło Naukowe „Flogiston”, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i Zdzisław Cozac – to laureaci konkursu Popularyzator Nauki 2016 organizowanego przez serwis PAP Nauka w Polsce i resort nauki.

W konkursie nagradzane są osoby i instytucje, które pomagają innym lepiej zrozumieć świat i potrafią zainteresować osiągnięciami naukowymi osoby niezwiązane z nauką. Wyniki 12. edycji konkursu ogłoszono 15 grudnia 2016 roku w Warszawie, podczas uroczystości w Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW).



„Lider Fotoniki” to innowacyjny w swojej formule ogólnopolski konkurs przeznaczony dla studentów

i absolwentów, którzy w swoich pracach zajmują się fotoniką. Celem konkursu było wyłonienie najlepszych prac naukowych z zakresu fotoniki. Wyróżnione zostały te prace, których rozwiązania mają potencjał wdrożeniowy. 25 listopada 2016 roku kapituła konkursu złożona z naukowców oraz z przedsiębiorców z branży fotonicznej przyznała Paulinie Komorek – studentce II roku studiów II stopnia fizyki medycznej UJ nagrodę i tytuł „Lidera Fotoniki”. Praca studentki była związana z zastosowaniem centrów barwnych w diamentach w biologii i w medycynie i wykonywana była pod opieką prof. dr. hab. Wojciecha Gawlika. Główną nagrodą w konkursie jest 3-miesięczny płatny staż w firmie InPhoTech w Warszawie lub nagroda finansowa do wyboru.



Neutrino – cząstki duchy

czy na pewno aż tak nieuchwytny?

Joanna Zalipska

Zakład Fizyki Wielkich Energii, Departament Badań Podstawowych, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Warszawa

Streszczenie. Ostatnie dwie dekady wniosły wiele nowego w fizykę neutrin. Udowodniono istnienie oscylacji neutrin, a więc transformacji jednego rodzaju neutrina w inne za które to odkrycia została przyznana Nagroda Nobla z Fizyki w 2015 roku. Od tego czasu przeprowadzono liczne eksperymenty wykorzystujące różne źródła neutrin do zmierzenia parametrów opisujących procesy oscylacji. W chwili obecnej głównych wyników w tej dziedzinie dostarczają eksperymenty akceleratorowe i reaktorowe, takie jak T2K, MINOS, NOvA czy Daya Bay, których wyniki zostaną tu zaprezentowane. Przedstawione wyniki wyznaczają też dalsze kierunki badań fizyki neutrin.

Na pytanie zadane w tytule możemy odpowiedzieć od razu, nie jest z naszymi neutrinami aż tak źle, jak się kiedyś fizykom wydawało. Nie tylko jesteśmy w stanie je zaobserwować, ale możemy produkować je przy użyciu akceleratorów i badać ich właściwości. Istnienie neutrina, jednej z niepodzielnych cząstek elementarnych, zostało zapostulowane przez Wolfganga Pauliego w 1930 roku w celu wytłumaczenia ciągłego widma elektronów z rozpadu β . Pauli opisał także właściwości tej neutralnej cząstki mającej zerową masę i oddziałującej z materią tylko w procesach słabych, a więc, jak się wówczas wydawało, nie rejestrowalnej [1]. Dopiero po 24 latach F. Reinesowi i C. L. Cowanowi udało się wykazać, że Pauli nie do końca miał rację i zaobserwować neutrina (ściślej rzecz biorąc, antyneutrino) pochodzące z reaktora [2]. W chwili obecnej wiemy, że istnieją trzy różne rodzaje neutrin, zwane zapachami: neutрино elektronowe ν_e , neutрино mionowe ν_μ i neutрино taonowe ν_τ .

Badanie neutrin pozwala uzyskać dużo informacji o otaczającym nas Wszechświecie. Cząstki te są bowiem naturalnie produkowane w wielu interesujących obiektach astronomicznych. Jednym z przykładów może być nasze Słońce, będące naturalnym reaktorem termojądrowym, ale neutrina powstają także w wybuchach supernowych oraz stanowią część promieniowania relikтового pochodzącego z okresu po Wielkim Wybuchu (choć tych ostatnich nie udało się jesz-

cze nikomu zaobserwować). Badanie neutrin pochodzących z oddziaływania promieniowania kosmicznego w atmosferze ziemskiej pozwoliło w 1998 roku udowodnić bardzo ważną własność neutrin – oscylacje [3] (właśnie za to odkrycie przypadła Nagroda Nobla w 2015 roku dla prof. Takaaki Kajita z Uniwersytetu w Tokio). Japoński eksperyment Super-Kamiokande zaobserwował wtedy, że dociera do nas mniej neutrin mionowych pochodzących z atmosfery po drugiej stronie kuli ziemskiej, niżbyśmy się tego spodziewali. Późniejsze pomiary wykazały, że pierwotne neutрино mionowe po przebyciu drogi równej średnicy naszego globu zamieniło się prawdopodobnie w neutрино taonowe. To odkrycie zapoczątkowało serię różnych eksperymentów mierzących procesy oscylacji neutrin, takich jak: SNO, KamLAND, K2K, T2K, MINOS, Daya Bay czy NOVA.

Ogólnie rzecz biorąc, oscylacje zachodzą wtedy, kiedy neutрино jednego zapachu transformuje się w inne, np. $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ albo $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$. Istnienie oscylacji neutrin jest konsekwencją faktu, że stany określonego zapachu neutrin ν_e , ν_μ , ν_τ , zdefiniowane jako stany oddziałujące z określonymi leptonami naładowanymi (odpowiednio: e , μ , τ), nie są tożsame ze stanami o określonej masie ν_1 , ν_2 , ν_3 . Te pierwsze można przedstawić jako superpozycję stanów o określonej masie; współczynniki takiej kombinacji liniowej tworzą tzw. macierz mieszania Pontecorvo–Maki–Nakagawa–

–Sakata (PMNS), będącą odpowiednikiem macierzy mieszania Cabibbo–Kobayashi–Maskawa w sektorze kwarków. Dotychczasowe eksperymenty mierzące oscylacje neutrin pozwoliły na wyznaczenie elementów macierzy mieszania neutrin, która, z pominięciem niepewności pomiarowych, wygląda następująco:

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,82 & 0,55 & 0,16 \\ -0,34 & 0,58 & 0,63 \\ 0,26 & -0,60 & 0,76 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

Wprawny fizyk cząstek od razu zauważy, że macierz ta znacząco różni się od macierzy opisującej mieszanie się kwarków, a mianowicie pozadiagonalne elementy macierzy są zbliżone do jedności. Innymi słowy, neutrina o różnych zapachach mocno się ze sobą mieszają.

Trzy superpozycje tworzące stany o określonym zapachu są unormowane i wzajemnie ortogonalne. Oznacza to, że macierz PMNS musi spełniać pewne dodatkowe warunki – jest ona macierzą unitarną. Tak naprawdę w przeprowadzonych eksperymentach nie wyznacza się bezpośrednio elementów tej macierzy, ale tzw. kąty mieszania θ_{12} , θ_{13} i θ_{23} parametryzujące tę macierz.

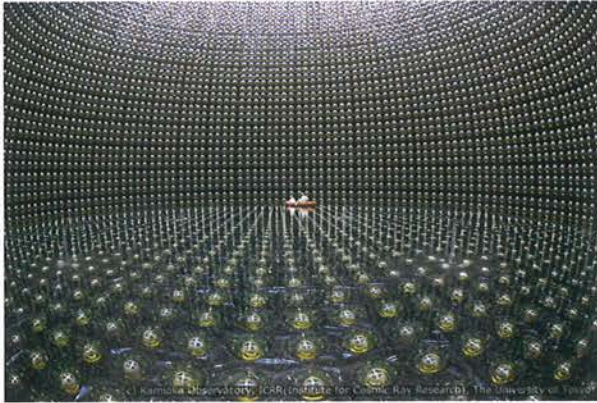
$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_{23} & \sin \theta_{23} \\ -\sin \theta_{23} & \cos \theta_{23} & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos \theta_{13} & 0 & \sin \theta_{13} e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_{13} e^{-i\delta} & 0 & \cos \theta_{13} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos \theta_{12} & \sin \theta_{12} & 0 \\ \sin \theta_{12} & \cos \theta_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

Dodatkowo w parametryzacji tej istnieje parametr δ_{CP} , który odpowiada za opisanie łamania symetrii CP w sektorze neutrinowym. Pozostaje on jedynym niewyznaczonym parametrem. Eksperymenty wykorzystujące neutrina słoneczne, atmosferyczne, akceleratorowe, bądź te powstające w reaktorach pozwoliły na zmierzenie wszystkich trzech kątów mieszania: $\theta_{23} = 40^\circ \pm 5^\circ / -2^\circ$, $\theta_{13} = 9,1^\circ \pm 0,6^\circ$, $\theta_{12} = 34^\circ \pm 1^\circ$ [4]. Obecnie przeprowadzane są pomiary w celu bardziej precyzyjnego wyznaczenia wartości tych parametrów, jak też np. stwierdzenia czy kąt θ_{23} jest maksymalny (równy 45°), czy też nie.

Wspominany już eksperyment Super–Kamiokande dostarczył pierwszych pomiarów kąta θ_{23} , badając oscylację $\nu_\mu \rightarrow \nu_x$ poprzez sprawdzanie deficytu neutrin mionowych w pierwotnym strumieniu neutrin powstałych w atmosferze. Pozwoliło to na wyzna-

czenie obszaru dalszych poszukiwań i zaprojektowaniu pierwszego eksperymentu akceleratorowego K2K z tzw. długą bazą, gdzie neutrina wysyłane były na odległość 250 km do dalekiego detektora. Odpowiednie dobranie długości bazy i energii neutrin z wiązki (około 1 GeV) pozwoliło na próbkowanie oscylacji neutrin w obszarze, gdzie spodziewane było maksymalne prawdopodobieństwo wystąpienia tego efektu. W rezultacie K2K jako pierwszy z eksperymentów akceleratorowych potwierdził istnienie oscylacji neutrin przy użyciu sztucznie wyprodukowanej wiązki neutrin [5]. W konsekwencji zdecydowano się na kontynuowanie badań oscylacji neutrin w tego typu doświadczeniach, powołując do życia takie funkcjonujące do dziś eksperymenty MINOS i T2K. Pisząc o oscylacjach neutrin, nie sposób nie wspomnieć o pomiarach neutrin słonecznych. Przeszło 10 lat temu eksperyment SNO udowodnił, że część ν_e produkowanych w Słońcu zmienia swój zapach – a więc oscyluje – zanim je opuści [6] (tutaj za udowodnienie oscylacji neutrin słonecznych druga część Nagrody Nobla w 2015 roku przypadła prof. Arturowi B. McDonaldowi z Uniwersytetu Queen's).

Wszystkie neutrinowe eksperymenty akceleratorowe wykorzystują wiązki neutrin produkowane dzięki zderzeniom protonów rozpędzanych w akceleratorze z tarczą, np. grafitem. W wyniku zderzenia powstają dodatnio i ujemnie naładowane piony i kaony, z których przy pomocy rogów magnetycznych wybiera się te o jednym znaku. Następnie mezony te rozpadają się, dając początek wiązce neutrinowej. Wiązka powstała w ten sposób składa się w ponad 90% z ν_μ z małą domieszką neutrin innego zapachu. Użycie rogów magnetycznych daje możliwość produkowania zarówno wiązki ν_μ bądź też $\text{anty-}\nu_\mu$, można bowiem wybierać ładunek produkowanych piwerotnie cząstek. Eksperyment T2K używa wiązki protonów o energii 30 GeV, a MINOS 120 GeV, produkując neutrina mionowe o energii odpowiednio około 600 MeV i 3 GeV. Neutrino te wysyłane są na odległość 295 km w T2K i 735 km w eksperymencie MINOS. Następnie pozostaje nam te neutrina zarejestrować w detektorach. Bazuje się tutaj głównie na oddziaływaniach przez prądy naładowane np. quasi-elastycznym procesie $\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- + p$, w których mierzone są naładowane elektrycznie produkty oddziaływania neutrina, takie jak mion, czy proton. Wymaga to zbudowania masywnych detektorów ze względu na bardzo mały przekrój czynny na oddziaływanie neutrina z materią (wynosi on około rzędu $10^{-38} \text{ cm}^2/\text{GeV}$, a dla antyneutrin jest trzykrotnie mniejszy). Oba opisane eksperymenty używają różnych technik detekcji: MINOS „łapie” neutrina w 5,4-kilotonowym



Rys. 1. U góry: zdjęcie wnętrza detektora Super-Kamiokande używanego przez eksperyment T2K. Na ścianach detektora widać zamontowane fotopowielacze. U dołu: komputerowo wykonana wizualizacja oddziaływania neutrina w detektorze Super-Kamiokande. Zarejestrowany pierścień pochodzi od światła powstającego w zjawisku Czerenkowa wyemitowanego przez mion powstały w wyniku oddziaływania neutrina mionowego w wodzie

kalorymetrze żelazno-scyntylicyjnym, a T2K wykorzystuje detektor Super-Kamiokande, czyli 50 kilotonowy zbiornik wodny. W tym ostatnim wykorzystywane jest zjawisko Czerenkowa: powstające w jego wyniku pierścienie światła rejestrowane są przez fotopowielacze umieszczone na ściankach zbiornika, co widać na przykładowym zdjęciu oddziaływania na Rys. 1.

Oba eksperymenty, MINOS i T2K, mierzą znikanie ν_μ z wyprodukowanej wiązki, czyli badają oscylacje w tzw. modzie znikania (ang. *disappearance*), $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$. Wykorzystując parametryzację macierzy mieszania przez trzy kąty, prawdopodobieństwo znikania neutrin można wyrazić przybliżonym wzorem:

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu) = 1 - 4 \cos^2 \theta_{13} \sin^2 \theta_{23} \times \left[1 - \cos^2 \theta_{13} \sin^2 \theta_{23} \right] \sin^2 \frac{1,27 \Delta m^2 L}{E}.$$

Ponieważ θ_{13} jest małe, oscylacje mierzone tutaj są czule głównie na kąt θ_{23} . Dodatkowo prawdopodobieństwo oscylacji zależy również od tzw. sinusa masowego, gdzie występuje różnica kwadratów mas neutrin $\Delta m^2 = m_3^2 - m_2^2$, oraz parametry związane z zaprojektowaniem eksperymentu jak długość bazy L , którą neutrina przebywają oraz energia E wiązki neutrinowej. Warto tutaj podkreślić, że oscylacje neutrin nie miałyby miejsca, gdyby cząstki te były bezmasowe. Zatem zaobserwowanie procesu oscylacji neutrin dowiodło jednoznacznie, że neutrina mają masę, chociaż bezpośrednio nie udało się jeszcze wyznaczyć masy żadnego z neutrin.

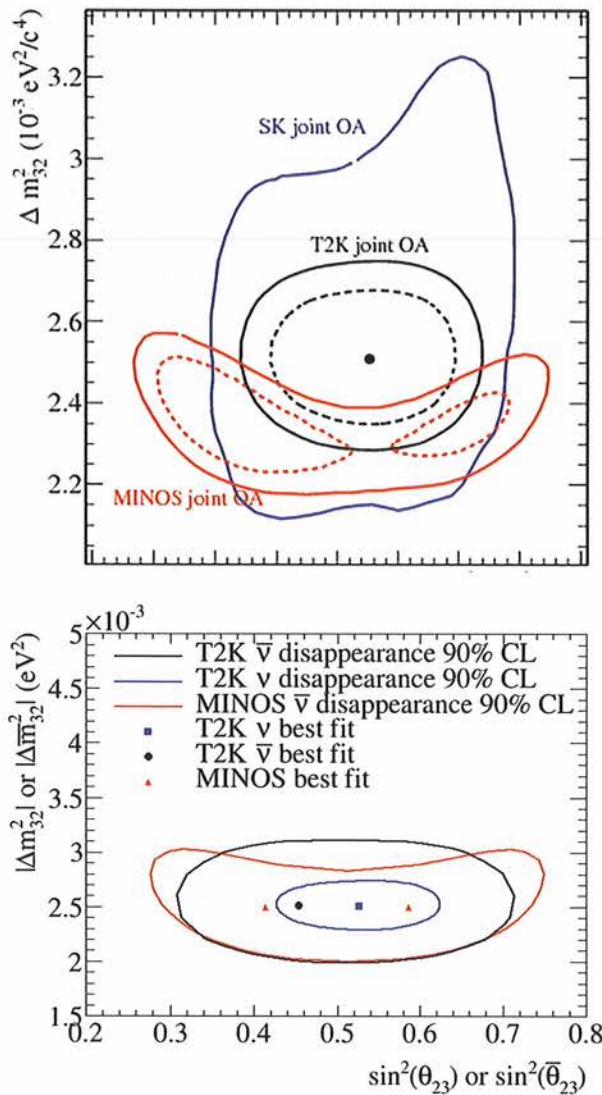
Przy użyciu wiązki ν_μ badana jest również przemiana neutrin mionowych w elektronowe. Oscylację tę nazywa się modem pojawiania się (ang. *appearance*) $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$, ponieważ poszukuje się neutrina o innym zapachu niż wyprodukowane. Tutaj prawdopodobieństwo oscylacji wyraża się następującym wzorem:

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_e) = \sin^2 \theta_{23} \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \frac{1,27 \Delta m^2 L}{E}.$$

W tym przypadku proces oscylacji jest głównie czuły na kąt θ_{13} , ponieważ wiadomo, że θ_{23} jest bliskie wartości 45° i w rezultacie $\sin^2 \theta_{23}$ można przybliżyć przez 0,5.

Obecnie eksperymenty akceleratorowe przeprowadzają jednoczesną analizę danych pod kątem obu tych procesów, zarówno oscylacji $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$, jak i $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$, i jednocześnie wyznaczają wartości kątów θ_{23} , θ_{13} i Δm_{23}^2 . Wyniki związane z oscylacjami w modzie *disappearance* $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$ pokazane są na lewym wykresie na Rys. 2, który porównuje rezultaty uzyskane przez różne eksperymenty. Widać, że T2K dostarcza najbardziej precyzyjnego pomiaru kąta θ_{23} [7], natomiast eksperyment MINOS jest lepszy w mierzeniu Δm_{23}^2 [8]. Dla porównania pokazany jest również wynik analizy danych neutrin atmosferycznych przeprowadzony przez eksperyment Super-Kamiokande, a więc ten, który wykrył oscylacje neutrin. Wyraźnie widać, że eksperymenty akceleratorowe dostarczają obecnie bardziej precyzyjnych pomiarów.

Podobna analiza przeprowadzana jest też przez eksperymenty akceleratorowe dla wiązki antyneutrinowej. Do tej pory oba eksperymenty MINOS i T2K skoncentrowały się na zbadaniu oscylacji w modzie znikania neutrin z wiązki, czyli anty- $\nu_\mu \rightarrow$ anty- ν_μ . Jeśli wierzymy w tzw. symetrię CPT, to parametry opisujące znikanie anty- ν_μ z wiązki powinny być takie same jak parametry opisujące ten sam proces dla wiązki anty- ν_μ . Uzyskane wyniki to potwierdzają, co można zobaczyć na prawym wykresie na Rys. 2: obszary dozwolonych parametrów oscylacji pokrywają się z obszarami

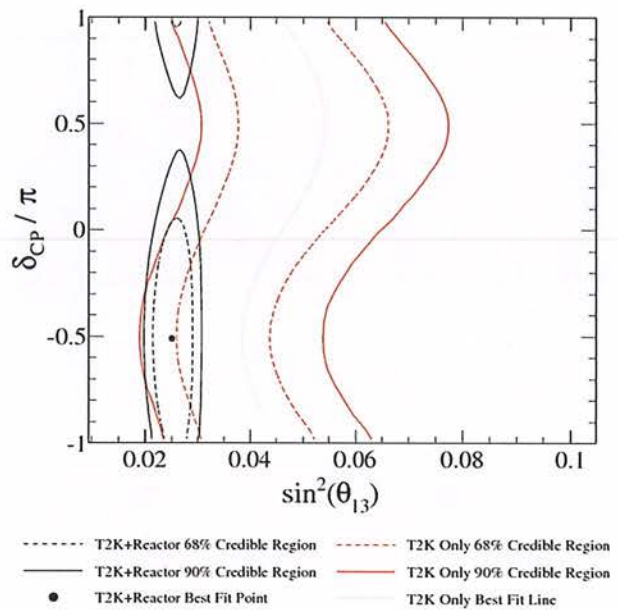


Rys. 2. Obszary dozwolonej wartości parametrów Δm_{23}^2 i $\sin^2 \theta_{23}$ dla pomiaru oscylacji ν_μ w różnych eksperymentach. Linie ciągłe pokazują obszar 90% poziomu ufności, a przerywane 68% poziomu ufności (górny wykres). Obszar dozwolonych wartości parametrów Δm_{23}^2 i $\sin^2 \theta_{23}$ dla pomiaru oscylacji wiązki $\text{anty-}\nu_\mu$ (dolny wykres)

parametrów wyznaczonych dla analizy neutrin pokazanej na lewym wykresie [9]. Tutaj również oba eksperymenty dostarczają zgodnych wyników, jakkolwiek dla eksperymentu MINOS najlepszy punkt dopasowania wskazuje na wartość kąta θ_{23} mniejszą od wartości 45° odpowiadającej maksymalnemu mieszaniamu, natomiast T2K daje wynik bliski maksymalnemu.

Eksperyment T2K w swojej łącznej analizie danych $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$ i $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ wyznaczył obszary dozwolone parametrów δ_{CP} i $\sin^2 \theta_{13}$ pokazane na Rys. 3. Na podstawie jego wyników jednoznacznie można stwierdzić, że kąt θ_{13} nie jest zerowy (ze znaczącością $7,2\sigma$).

Innym eksperymentem dedykowanym do pomiaru wartości tego parametru jest Daya Bay. Daya Bay jest eksperymentem reaktorowym zlokalizowanych



Rys. 3. Dozwolony obszar parametrów δ_{CP} i $\sin^2 \theta_{13}$. Ciągłe linie wyznaczają obszary 90% poziomu ufności, a przerywane 68% poziomu ufności. Wyniki wyłącznie z eksperymentu T2K pokazują czerwone kontury, a łączone wyniki T2K i eksperymentów reaktorowych pokazują owalne kontury zaznaczone na czarno

w Chinach, który wykorzystuje strumień antyneutrin elektronowych produkowanych przez 6 reaktorów o mocy 2,9 GW. Używa on trzech zespołów detektorów zlokalizowanych w różnych odległościach od reaktorów: od około 350 m do blisko 2 km, w celu zbadania, ile $\text{anty-}\nu_e$ ulega ze strumienia $\text{anty-}\nu_e$ produkowanych przez reaktory, czyli mierzy oscylacje typu *disappearance* $\text{anty-}\nu_e \rightarrow \text{anty-}\nu_e$. W rezultacie eksperyment ten dostarcza najbardziej precyzyjnego pomiaru kąta $\sin^2 2\theta_{13} = 0,089 \pm 0,010$ (stat.) $\pm 0,005$ (syst), a więc osiąga znaczącość $7,7\sigma$ na niezerową wartość kąta θ_{13} [10]. Niestety, badając proces znikania $\text{anty-}\nu_e \rightarrow \text{anty-}\nu_e$ nie jest się czułym na ostatni niezmierny parametr oscylacji δ_{CP} . Czułość na wyznaczenie tego parametru będą mieć przyszłe eksperymenty akceleratorowe typu T2K badające transformację neutrin mionowych w elektronowe. W chwili obecnej T2K może jedynie zgrubnie szacować wartość tego parametru, co widać na Rys. 3. Ale sytuacja ta zmienia się, gdy uwzględni się wyniki pomiaru kąta θ_{13} przez eksperymenty reaktorowe: wtedy obszar dozwolonej wartości parametru znacznie się zawęża, co również widać na Rys. 3 [7]. Wyniki T2K pozwoliły również na wyznaczenie obszaru wykluczonej wartości $\delta_{CP} = [0,15, 0,83]\pi$. Jednocześnie preferują one wartość δ_{CP} w okolicach $\pi/2$.

Latem zeszłego roku T2K zaprezentowało pierwsze wyniki analizy danych przeprowadzonej w kierunku poszukiwania oscylacji $\text{anty-}\nu_\mu \rightarrow \text{anty-}\nu_e$, jakkolwiek

wiek zebrana statystyka danych nie pozwoliła na wyciągnięcie wiążących wniosków. Wyniki tej analizy są bardzo interesujące, ponieważ prowadzi ona do poszukiwania sygnału łamania symetrii CP w sektorze neutrinowym, które jeszcze nie było zaobserwowane. Na zbliżających się letnich konferencjach będą upublicznione nowe wyniki analiz T2K oparte na większej statystyce danych, które być może wniosą więcej informacji na temat parametru δ_{CP} . Również planowane eksperymenty takie jak Hyper-Kamiokande w Japonii albo DUNE w Stanach Zjednoczonych mają na celu poszukiwanie łamania CP i pomiar δ_{CP} .

Jesienią 2014 roku uruchomiony został w Stanach Zjednoczonych kolejny eksperyment neutrinowy – NOvA. Jak do tej pory eksperyment ten wykazał, że otrzymuje konsystentne wyniki oscylacji $\nu_\mu \rightarrow \nu_\mu$ z innymi eksperymentami. Oczekujemy, że eksperyment ten wniesie informację o hierarchii mas neutrin i o parametrze δ_{CP} . Pisząc o hierarchii mas, mamy tu na myśli fakt, że w chwili obecnej nie jesteśmy w stanie powiedzieć czy $m_3 > m_2 > m_1$, czy też $m_2 > m_1 > m_3$, które to relacje nazywa się odpowiednio normalną i odwróconą hierarchią mas. Jak widać, pomimo tego, że fizyka neutrin jest dynamicznie rozwijającą się dziedziną fizyki cząstek elementarnych, która dostarczyła już wielu odpowiedzi, to nadal pozostaje szerokie pole do dalszych badań.

Literatura

- [1] W. Pauli, *The letter to the Physical Society of Tubingen reproduced in Neutrino Physics*, Cambridge, 4, 1991
- [2] F. Reines, C. L. Cowan et al. „Detection of the free anti-neutrino”, *Phys. Rev.* 117(1960), 159–173.
- [3] The Super-Kamiokande Collaboration, *Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos*, *Phys. Rev. Lett.* 81 (1998), 1562–1567.
- [4] K. A. Olive et al. (Particle Data Group), *Neutrino mass, mixing and oscillations*, *Chin. Phys. C* 38 (2014), 090001.
- [5] M. H. Ahn et al. (The K2K Collaboration), *Measurement of neutrino oscillation by the K2K experiment*, *Phys. Rev. D* 74 (2006), 072003.
- [6] The SNO Collaboration, *Uber Direct evidence for neutrino flavour transformation from Neutral-Current interactions in the Sudbury Neutrino Observatory*, *Phys. Rev. Lett.* 89 (2002), 1, 011301.
- [7] K. Abe et al (The T2K Collaboration), *Uber Measurements of neutrino oscillation in appearance and disappearance channels by the T2K experiment with 6.2×10^{20} protons on target*, *Phys. Rev. D* 91 (2015), 072010.
- [8] P. Adamson et al (The MINOS Collaboration), *Measurement of neutrino and anti-neutrino oscillations using beam and atmospheric data in MINOS*, *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013), 251801.
- [9] A. Kaboth for the T2K Collaboration, *First anti-neutrino oscillation results from T2K*, KEK Seminar (2015).
- [10] F. P. An et al (The Daya Bay Collaboration), *Improved measurement of electron antineutrino disappearance at Daya Bay*, *Chin. Phys. C* 37 No. 1 (2013), 011001.

KRONIKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

Około 130 uczniów z klas gimnazjalnych z województwa lubelskiego będzie uczestniczyć w dodatkowych zajęciach na Politechnice Lubelskiej. Będą one obejmować różne dziedziny nauki, głównie techniczne i chemiczne. Forma zajęć będzie miała charakter wykładów, laboratoriów lub warsztatów. Taki rodzaj wsparcia będzie możliwy dzięki specjalnemu programowi pt. „Uniwersytet Młodego Odkrywcy”, uruchomionemu przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Z ponad 200 wniosków, które wpłynęły na konkurs do ministerstwa, 65 projektów otrzymało dofinansowanie w wysokości w sumie 2 300 000 złotych. Jednym ze zwycięskich projektów jest propozycja Politechniki Lubelskiej i Uniwersytetu Dziecięcego UNIKIDS w Lublinie.



Prof. dr hab. Józef Spałek z Instytutu Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego Uniwersytetu Jagiellońskiego otrzymał Nagrodę Fundacji na rzecz Nauki Polskiej 2016 w obszarze nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich za badania układów silnie skorelowanych, a w szczególności za sformułowanie modelu t-J.



Konferencja „70 lat fizyki w Toruniu – Fizyka w gospodarce społeczeństwa opartego na wiedzy” zorganizowana została w dniach 25-26 listopada 2016 roku na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Formuła sesji naukowej, umożliwiła wymianę poglądów nt. szeroko pojętej edukacji fizyki, działalności naukowo-badawczej w naukach ścisłych, miejsca i roli fizyki w społeczeństwie, perspektyw i możliwości jej rozwoju w Polsce. Z uwagi na jubileusz 70-lecia fizyki na UMK, podczas spotkania zaprezentowany został również krótki rys początków fizyki w Toruniu oraz przegląd naszych ostatnich osiągnięć naukowych na arenie światowej (tj. nowe technologie fotoniczne oraz budowa Polskiego Optycznego Zegara Atomowego – najdokładniejszego na świecie wzorca czasu). Konferencja była adresowana do przedstawicieli środowisk fizyków z uczelni i instytutów PAN całego kraju, ale także do społeczności akademickiej UMK, młodzieży szkolnej oraz otoczenia gospodarczego współpracującego lub zainteresowanego współpracą z jednostkami naukowymi.



Droga do najniższych temperatur

Mało znane fakty z powojennej historii fizyki wrocławskiej

Zbigniew Kletowski

Uzyskiwanie przez fizyków jak najniższych temperatur można porównać ze zdobywaniem coraz to wyższych i trudniejszych szczytów przez himalaistów. Na pytanie, dlaczego się wspinają ryzykując tak wiele a często płacąc cenę najwyższą, pada niezmien- nie ta sama odpowiedź – bo te szczyty istnieją! W naturze ludzkiej leży przesuwanie granic poznania – zawsze związane z wyrzeczeniami, dużymi nakładami finansowymi, a często z niebezpieczeństwem.

Polscy fizycy w wyścigu do osiągnięcia jak najniższej temperatury zapisali się złotymi zgłoskami. Dość wymienić profesorów Uniwersytetu Jagiellońskiego Zygmunta Wróblewskiego i Karola Olszewskiego, fizyka i chemika, którzy w roku 1883 uzyskali temperaturę 77 K i jako pierwsi na świecie dokonali skroplenia tlenu i azotu. Dzięki tym badaczom w końcu XIX w. Kraków był w ścisłej światowej czołówce badań niskotemperaturowych. Zygmunt Wróblewski poświęcenie się nauce przeplacił tragicznym wypadkiem w laboratorium i śmiercią w wieku 43 lat, pięć lat po swoim największym naukowym sukcesie.

Na początku wieku XX mekką fizyków niskich temperatur była holenderska Lejda, gdzie Heike Kamerlingh Onnes w roku 1908 osiągnął temperaturę 4,2 K i skroplił hel, a w roku 1911 odkrył zjawisko nadprzewodnictwa. Na początku lat trzydziestych w Lejdzie przebywał na naukowym stypendium późniejszy profesor Politechniki Warszawskiej Mieczysław Wolfke. Wykrył on wówczas występowanie w temperaturze 2,17 K przejścia fazowego w ^4He w trakcie badań jego stałej dielektrycznej. Wyniki Wolfkego pozwoliły później Paulowi Ehrenfestowi na wprowadzenie niezwykle ważnej właściwości ciekłego ^4He , a mianowicie występowania tzw. punktu lambda. Fakt ten miał przełomowe znaczenie dla poznania spektakularnych własności tego gazu. Razem z Wolfkem na stypendium polsko-amerykańskim w Lejdzie przebywało kilku polskich badaczy, m.in. Józef Mazur, który pracując w czasie wojny dla lotnictwa angielskiego, wymyślił efektyw-

ny system ochrony lotnisk przed mgłą. Po wojnie pracował naukowo w Anglii, a w 1960 roku wrócił na stałe do Wrocławia.

W połowie lat trzydziestych, po powrocie ze stypendium do kraju, zarówno Wolfke, jak i Mazur pracowali w Zakładzie Fizyki Politechniki Warszawskiej, przy którym staraniem prezydenta Mościckiego utworzono w 1937 roku Instytut Niskich Temperatur. Zakup skraplarki helowej pozwolił rok później na pierwsze skroplenie helu w Polsce. Agresja niemiecka w 1939 roku doprowadziła do rabunku wyposażenia Instytutu, a późniejsze działania wojenne w czasie Powstania Warszawskiego dokończyły dzieła zniszczenia tej placówki naukowej.

Po wojnie rozpoczęcie badań nad fizyką niskich temperatur w Polsce nastąpiło dopiero w drugiej połowie lat 50. i było nieodłącznie związane z Wrocławiem. To tutaj na długo przed wojną działało silne i dobrze wyposażone laboratorium niskotemperaturowe, związane z osobą Franza (Francisa) Simona, jednak niewiele przetrwało z niego do czasów powojennych w Katedrze Chemii Fizycznej Politechniki Wrocławskiej. Teraz możliwe tu było tylko okazjonalne skraplanie powietrza i jeszcze rzadziej wodoru. Natomiast na świecie standardem badań był już zakres temperatur do 1,5 K, a więc wymagający użycia skroplonego helu, gazu wtedy niezwykle drogiego i jako materiał strategiczny podlegającego silnym restrykcjom eksportowym. W takich to uwarunkowaniach historycznych zaczęto kłaść we Wrocławiu fundamenty polskiej fizyki niskich temperatur, które – w stosunkowo niedługim czasie – pozwoliły na stworzenie na Dolnym Śląsku pierwszego w powojennej Polsce ośrodka niskich temperatur z prawdziwego zdarzenia.

Spiritus movens tych organizacyjnych przedsięwzięć był Roman S. Ingarden (syn znanego filozofa Romana Ingardena). Był on fizykiem teoretycznym zajmującym się głównie optyką geometryczną i fizyką statystyczną. Dlatego fakt, że to właśnie od niego

wyszła inicjatywa stworzenia we Wrocławiu placówki doświadczalnej do badań niskotemperaturowych, może wydawać się zaskakujący. Pomysł ten został zaaprobowany przez Leonarda Sosnowskiego, nowo powołanego dyrektora Instytutu Fizyki PAN w Warszawie, który zaproponował Ingardenowi zorganizowanie we Wrocławiu Samodzielnej Pracowni Niskich Temperatur, przekształconej później w Zakład Niskich Temperatur stanowiący filię Instytutu Fizyki PAN w Warszawie. Pamiętajmy, że na początku oprócz idei i chęci działania pomysłodawca nie dysponował żadnym dobrem materialnym, a Wrocław lat pięćdziesiątych był ciągle jeszcze morzem ruin. Dlatego powołana w 1956 roku Samodzielna Pracownia Niskich Temperatur korzystała z gościny Instytutów Fizyki Uniwersytetu i Politechniki.

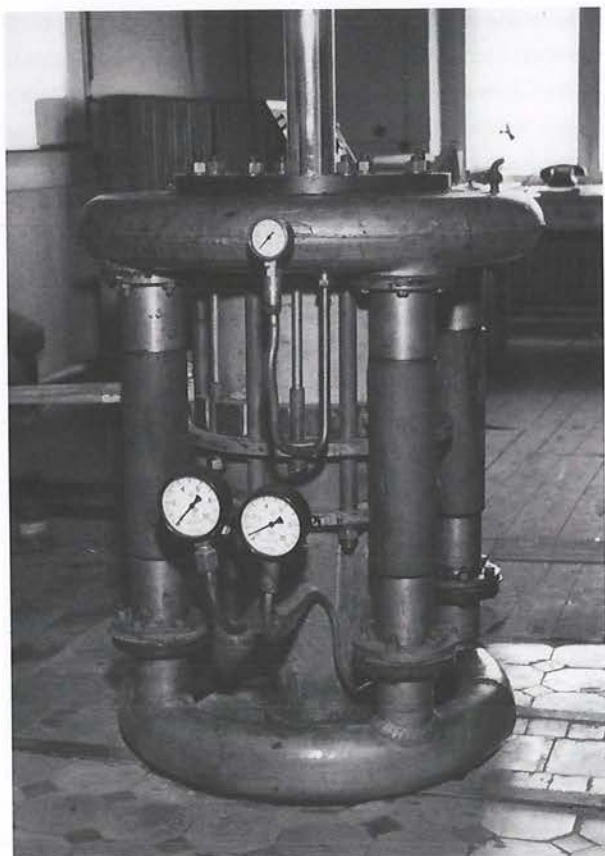
Zdaniem autora, to właśnie wtedy nastąpił punkt przełomowy w rozwoju wrocławskich badań niskotemperaturowych, który wykazał dalekowzroczność i odwagę Romana S. Ingardena. Nie posiadając bowiem wykształconej kadry naukowej, zaplecza aparaturowego ani własnego locum, postanowił on, że nowa placówka będzie reprezentować europejski poziom i dysponować nie tylko standardowymi możliwościami badawczymi, jakie daje stosowanie ciekłego helu (zakres temperatur do 1,5 K), ale także będzie prowadzić badania w temperaturach milikelwinowych. Uzyskanie w laboratorium dziesiątych i setnych części kelwina było w owym czasie w zasadzie technicznie możliwe, jednak temperatury takie były rzadkością. Ten zakres temperatur nazywano „temperaturami magnetycznymi”, ponieważ do ich otrzymywania niezbędnym było zastosowanie silnych pól magnetycznych, wymagających potężnych źródeł zasilania prądu stałego.

W zrujnowanym Wrocławiu lat pięćdziesiątych Roman S. Ingarden znalazł takie źródło przy obecnej ulicy Gajowickiej. Była to przedwojenna rezerwowa stacja zasilania wrocławskich tramwajów, wyposażona w przetwornice prądu stałego o wymaganych parametrach. Stacja ta była używana sporadycznie, a i budynek był silnie zniszczony, więc łatwo uzyskano go na potrzeby naukowe. W tym właśnie miejscu w roku 1957 znalazł swoją siedzibę Zakład Niskich Temperatur Instytutu Fizyki PAN w Warszawie. Jedną z pracowni tego Zakładu była Pracownia Magnetyczna, w której miały być realizowane badania w temperaturach milikelwinowych. Pracownia była skromna i liczyła tylko dwóch pracowników: fizyka i inżyniera elektryka. Fizykiem tym był Czesław Bazan, absolwent Uniwersytetu Wrocławskiego, i to właśnie przed nim Ingarden postawił zadanie konstrukcji i uruchomienia odpowiednio silnego elektromagnesu. Posiadanie takiego elektromagnesu umożli-

wiłoby nie tylko osiągnięcie ekstremalnie niskich temperatur, lecz także dałoby szansę na badania różnych materiałów i zjawisk fizycznych w bardzo szerokim zakresie temperatur i w obecności niezwykle silnego pola magnetycznego. W tamtym czasie fizyków interesowały szczególnie tzw. wiskery – perfekcyjne, monokrystaliczne kryształy nitkowe metali o niezwykle własnościach mechanicznych, np. o wytrzymałości na zerwanie setki razy przekraczającej wytrzymałość stali. Materiały te rokowały zastosowania praktyczne, dlatego w początkowym okresie działalności Zakładu Niskich Temperatur były przedmiotem szeroko zakrojonych badań.

Patrząc z dzisiejszej perspektywy na możliwości i środki, którymi dysponował wówczas Zakład, należy być pełnym podziwu, że po zakupie i zainstalowaniu w roku 1958 amerykańskiej skraplarki helowej firmy Little (nawiasem mówiąc, Amerykanie sprzedali nam skraplarkę lecz helu potrzebnego do jej pracy już sprzedać nie chcieli; kupiliśmy go po kłopotach od Rosjan za wstawiennictwem Piotra Kapicy) już w roku 1960 dokonano pierwszego skroplenia helu oraz próbnego uruchomienia elektromagnesu. Podwójna cewka typu Bittera tego magnesu pobierała prąd o natężeniu ok. 3000 A przy napięciu 500 V. Tak duża moc dostarczana do stosunkowo niewielkiego rozmiarami magnesu, z jednoczesnym podawaniem wody chłodzącej w ilości 1500 litrów na minutę pod ciśnieniem 6,5 atm, powodowała początkowo powstawanie przecieków, zwarć i łuków elektrycznych skutkujących potężnymi eksplozjami w laboratorium. Po jednej z takich prób, Ingarden nakazał Bazanowi zbudować w pracowni prowizoryczny bunkier do obserwacji pracy magnesu zza zasłony oraz natychmiast ubezpieczyć się na życie!

Elektromagnes był dziełem myśli czworga wrocławian: Czesława Bazana (konceptja, konsultacje i uruchomienie) oraz niebędących etatowymi pracownikami Zakładu: Hieronima Cygana (projekt wstępny), Zbigniewa Matheisela (zagadnienia elektryczne), Józefa Szpaka (zagadnienia cieplne), a także bardzo życzliwej pomocy i współpracy kilku dużych wrocławskich zakładów przemysłowych. Po niezbędnych konstrukcyjnych przeróbkach i udoskonaleniach zaczął on pracować w miarę stabilnie, generując indukcję 3,7 T w otworze wewnętrznym o średnicy 8,5 cm. Zdjęcie 1 pokazuje ogólny widok elektromagnesu. Widoczne są rury wewnętrznego, zamkniętego systemu chłodzenia magnesu wodą destylowaną. Ciepło z tego obiegu było oddawane w wymienniku ciepła zewnętrznemu, otwartemu obiegowi, który rozpraszał je w specjalnym basenie. Do tego celu zaadaptowano zniszczony poniemiecki basen przeciwpożarowy znajdujący się

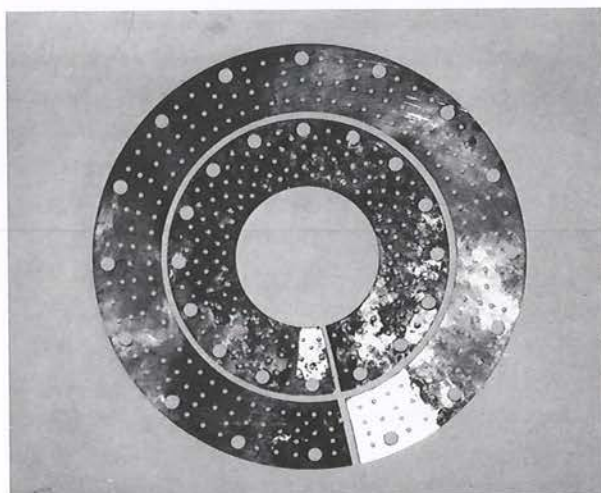


Fot. 1. Pierwszy w Polsce super silny elektromagnes bezrdeniowy o indukcji 4 T. Umożliwił on w 1964 roku uzyskanie temperatury 0,06 K. Moc elektryczna magnesu była równa 1,5 MW. Widoczny jest, wsunięty od góry do wnętrza magnesu dewar kriostatu

około 100 m od budynku Zakładu. Na zdjęciu 2 pokazano po jednym zwoju cewki wewnętrznej i zewnętrznej magnesu.

W roku 1960 Roman S. Ingarden zrezygnował z kierowania Zakładem, a zastąpił go przybyły z emigracji w Anglii Józef Mazur. Dla Pracowni Magnetycznej początek lat sześćdziesiątych to czas budowy anizometru oporowego, niezwykle precyzyjnej wagi magnetycznej, i przygotowywanie przez Czesława Bazana pracy doktorskiej, a także, co najistotniejsze z punktu widzenia tego artykułu, przygotowanie przez niego aparatury i osprzętu do osiągnięcia temperatur milikelwinowych. To ostatnie zamierzenie było niezwykle ambitne i, prawdę mówiąc, zdawało się przekraczać możliwości pracowni.

Spośród kilku znanych metod obniżania temperatury przez zastosowanie silnego pola magnetycznego wybrano metodę adiabatycznego rozmagnesowania soli paramagnetycznej. Fizyczne podstawy tej metody podał Francis Simon w 1950 roku. Jeżeli mamy układ, w którym entropia zależy nie tylko od temperatury, lecz także od jakiegoś parametru, przykładowo od namagnesowania, to wówczas można postąpić



Fot. 2. Wyeksploatowane zwoje cewki wewnętrznej i zewnętrznej elektromagnesu. Magnesy typu Bittera miały uzwojenie wykonane ze spiralnie połączonych kręgów miedzianej blachy przekładanych izolacją. W duże otwory w tych kręgach wsunięte były pręty centrujące a przez małe otwory pompowana była pod dużym ciśnieniem destylowana woda chłodząca

w następujący sposób. W warunkach izotermicznych zmieniamy ten parametr (namagnesowanie), tak by spowodować obniżenie entropii układu, a następnie warunki zmieniamy na adiabatyczne i powracamy do pierwotnej wartości parametru, uzyskując w ten sposób obniżenie temperatury układu. W doświadczeniu wrocławskim proces izotermicznego magnesowania próbki (soli paramagnetycznej) i odprowadzenia wydzielającego się wówczas ciepła do kąpeli helowej miał następować w temperaturze 1,2 K. Następnie, po zapewnieniu adiabatyczności próbki, miało nastąpić zredukowanie do zera pola magnetycznego i w konsekwencji obniżenie temperatury próbki. Generalnie, im niższa jest temperatura kąpeli helowej oraz im silniejszym polem magnetycznym magnesujemy próbkę, tym niższą temperaturę można osiągnąć.

Aby móc przeprowadzić taki eksperyment, zakupiono za dewizy bardzo drogą i dużą (wielkości sporej szafy) rotacyjną pompę próżniową o prędkości pompowania około 400 m³/h zdolnej do obniżenia temperatury ciekłego helu do ok. 1,2 K, zamontowano ją w piwnicy pod magnesem, zaprojektowano i wykonano specjalny kriostat, składający się z wyjątkowo skomplikowanej mosiężnej kapy i systemu trzech szklanych dewarów (dewar to wąski i długi termos szklany, nazwa pochodzi od nazwiska wynalazcy – Jamesa Dewara). Wykonano także komorę pomiarową, zaprojektowano i wykonano system skompensowanych cewek odbiorczych do pomiaru podatności soli paramagnetycznej (i wyznaczania w ten sposób temperatury soli), skonstruowano indukcyjny mostek kompensacyjny do pomiaru sygnału z cewek odbiorczych,



Fot. 3. Autor artykułu podczas pomiarów w pracowni Czesława Bazana, rok 1966. Widoczne jest wyposażenie pracowni: jasny, duży zbiornik to destylator wody przeznaczanej do chłodzenia magnezu, po lewej stronie widać odłączniki silnopiętrowe zasilania magnezu, na stołach znajdują się mierniki analogowe, kompensatory prądu stałego do pomiaru niskich napięć, szklany akumulator kwasowy 2 V zasilający kompensator, galwanometry skrzynkowe, różne samodzielnie wykonane układy elektryczne oraz deputatowa, codzienna butelka mleka za pracę w warunkach szkodliwych dla zdrowia

wykonano układ wysokiej próżni posiadający możliwość elastycznego łączenia i rozłączania z kriostatem umieszczonym w magnezie, wykonano i przecechowano termometry i termopary kontrolne. Wykonanie wszystkich niezbędnych obliczeń, projektów konstrukcyjnych i przyrządów (z wyjątkiem prac szklarskich) leżało w gestii Czesława Bazana.

Szczególną pozycję w Zakładzie posiadał szklarz, Adam Bartkowski, przedwojenny mistrz szklarski wyszkolony w firmie Philips. Szkło zwykłe czy kwarcowe nie posiadało dla niego żadnych tajemnic. Śmiał twierdzić, że bez jego złotych rąk i gotowości do pomocy nie byłaby możliwa tak efektywna praca Zakładu. Zaslugą Bartkowskiego było wykonanie dla pracowni magnetycznej bardzo skomplikowanego szklanego kriostatu z odłączanym układem wysokiej próżni i szklanym szlifem pracującym w temperaturze 4,2 K, co było wówczas ewenementem w konstrukcji kriostatów.

Niemożliwe stało się osiągalne i w 1964 roku Czesław Bazan podczas próbnego adiabaticznego rozmagnesowania alunu chromowo-żelazowego osiągnął temperaturę 0,06 K. Na skutek dopływów ciepła pochodzącego z promieniowania i wibracji mechanicznych, temperatura soli paramagnetycznej powoli się zwiększała i po kilkunastu minutach osiągała temperaturę otoczenia czyli 1,2 K. Sukces był olbrzymi, lecz od testowego osiągnięcia temperatur milikelwinowych do możliwości badania zjawisk fizycznych w tej temperaturze droga była daleka. Na tej drodze stały kolejne przeszkody: zbyt słaba izolacja termiczna bloku soli

oraz brak odpowiedniego klucza ciepłego mogącego dowolnie sterować przepływem strumienia ciepłego między oziębioną solą paramagnetyczną a zewnętrzną kąpielą helową o temperaturze 1,2 K.

Był początek lata 1965 roku i autor niniejszych wspomnień kończył właśnie czwarty rok studiów na Uniwersytecie Wrocławskim, kiedy Józef Mazur, prowadzący wówczas wykład fizyki niskich temperatur, zaproponował mu wykonanie pracy magisterskiej w Zakładzie Niskich Temperatur Instytutu Fizyki PAN. Ponieważ praca miała być trudna, potrzebni byli do niej dwaj studenci. Zaproponowałem więc wspólne wykonanie tej pracy mojemu koledze z roku, Andrzejowi Czopnikowi (późniejszemu profesorowi Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu). Andrzej zgodził się i jesienią, ponaglani jeszcze przez Józefa Mazura, zgłosiliśmy się do kierowanej przez Czesława Bazana pracowni. Wtedy to poznaliśmy temat naszej pracy. Mieliśmy przeprowadzić pomiary oporu ciepłego nałożonych na siebie złącz metalicznych typu metal normalny – nadprzewodnik w zakresie temperatur od 0,1 K do 1,2 K, wykorzystując do tego celu metodę rozmagnesowania adiabaticznego. Czesław Bazan zamierzał w ten sposób przetestować nowinkę literaturową jaką było wykrycie efektu, że powierzchnia graniczna między metalem w stanie normalnym a metalem w stanie nadprzewodzącym generuje spory opór ciepły, który można łatwo zmniejszyć przeprowadzając metal nadprzewodzący w stan normalny. Stos takich złącz mógłby pracować jako klucz ciepły i sterować przepływem ciepła w układzie rozmagnesowania. Razem z Andrzejem podeszliśmy entuzjastycznie do zadanego nam tematu, ponieważ dawał on możliwość pracy w awangardzie ówczesnych polskich badań fizycznych oraz umożliwiał kierowanie bardzo złożonym eksperymentem fizycznym. Czesław Bazan był wprawdzie wymagającym zwierzchnikiem, ale dał nam od razu dużą swobodę działania. Natomiast obserwacja z boku jego pracy i sposobu rozwiązywania problemów naukowych i technicznych były dla nas najlepszą szkołą fizycznego eksperymentu, rzetelności badań oraz siły charakteru. Bardzo szybko sami zaczęliśmy planować i prowadzić prace doświadczalne, tym bardziej, że nasz kierownik był już zaangażowany całkowicie w konstrukcję i wykonanie nowego, silniejszego magnezu o indukcji 10 T. Były to bardzo absorbujące prace, gdyż należało przebudować układ chłodzenia i zasilania magnezu, doświadczalnie wyznaczyć na nowo współczynnik przekazywania ciepła między wodą chłodzącą a uzwojeniem, a także opracować nową izolację międzyzwojową. My zresztą również równolegle uczestniczyliśmy w tych pracach, bo już po krótkim

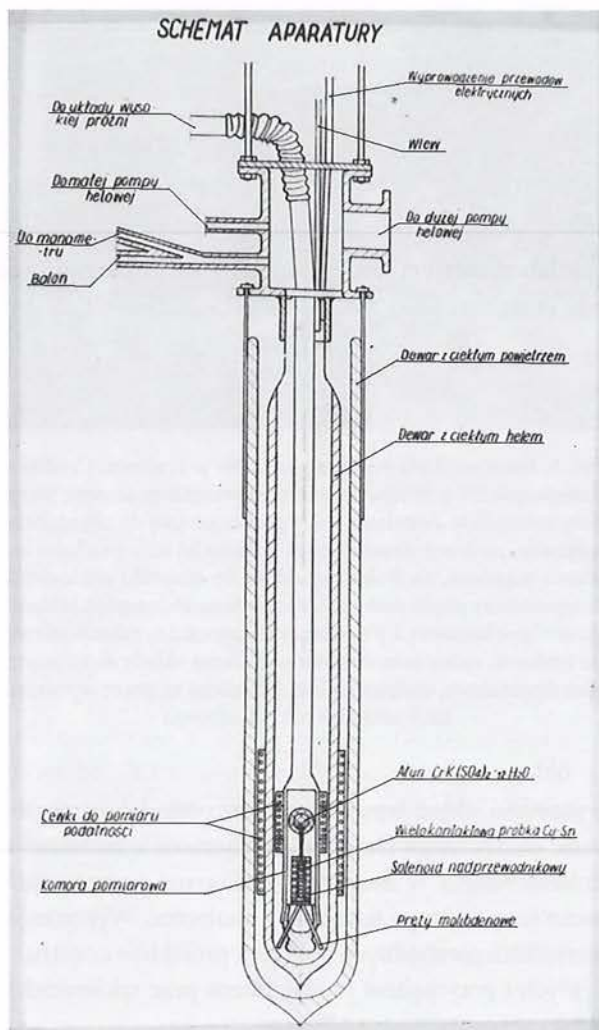
czasie zostaliśmy zatrudnieni w Zakładzie na etatach techników stażystów.

Ponieważ nasze pomiary oporu cieplnego wykonane w 1966 roku były pierwszymi i jednocześnie ostatnimi w okresie kilkunastu następnych lat pomiarami przeprowadzonymi w Polsce w temperaturach milikelwinowych, w dodatku wykonane zostały metodą nigdy już później nie używaną, opiszę je dokładniej, aby uzmysłowić złożoność wrocławskiego eksperymentu przeprowadzonego samodzielnie przez magistrantów pod kierunkiem Czesława Bazana.

Jak już wspomniałem, nasze badania dotyczyły oporu cieplnego próbki wykonanej z naprzemiennie ułożonych krążków metalu normalnego oraz nadprzewodnika (w naszym przypadku były nimi miedź i cyna). Raz badaliśmy opór próbki, gdy cyna była w stanie nadprzewodzącym – występował wówczas duży opór cieplny próbki, gdyż strumień cieplny ulegał rozproszeniu na granicy faz metal normalny – nadprzewodnik. Drugi pomiar przeprowadzaliśmy, gdy cyna była przeprowadzona w stan normalny – mieliśmy wtedy do czynienia małym oporem, co wynikało z braku wspomnianej różnicy faz. Próbkę wykonano z miedzianych krążków pokrytych cyną i następnie zgrzanych ze sobą w atmosferze wodoru; zawierała ona 140 styków miedź-cyna o średnicy 1 mm. Długość próbki wynosiła 20 mm. Do jednego końca próbki przylutowany był pęk miedzianych drucików, których pozostałe końce umieszczone były we wnętrzu soli paramagnetycznej. Sól miała postać kuli, do której te druciki były wprawiane pod ciśnieniem 1300 atm w celu zapewnienia bardzo dobrego kontaktu cieplnego na odpowiednio dużej powierzchni.

Zwykle opór cieplny próbki wyznacza się w ten sposób, że przez próbkę przepuszcza się stały w czasie strumień cieplny. Wówczas, mierząc różnicę temperatur na końcach próbki oraz znając jej rozmiary, z łatwością można obliczyć jej opór cieplny. W naszym przypadku uzyskanie stałego w czasie strumienia cieplnego było niemożliwe, ponieważ po ochłodzeniu soli przez rozmagnesowanie i wymuszeniu przepływu ciepła przez próbkę gradient temperatury na końcach próbki ulegał ciągłemu zmniejszaniu w miarę ogrzewania się soli paramagnetycznej. Z tego względu uzyskane przez nas wyniki pomiarów były obarczone bardzo dużym błędem i miały tylko szacunkową wartość. Przyczynę tego zrozumiemy, gdy poznamy przebieg eksperymentu i przyjrzymy się rysunkowi używanego w eksperymencie kriostatu (rys. 1).

We wnętrzu dewara helowego umieszczona była wąska rurka szklana o średnicy 20 mm, rozszerzająca się na końcu w kształt podłużnej komory pomiarowej zakończonej u końca szlifem. Drugi koniec



Rys. 1. Schematyczny rysunek kriostatu do rozmagnesowania adiabaticznego i pomiaru przewodnictwa cieplnego w zakresie temperatur 0,06–1,2 K. Fotokopia z pracy magisterskiej autora

rurki wychodził ponad kapę kriostatu i poprzez kulo- wy, przegubowy szlif szklany podłączony był do układu wysokiej próżni. Dolna część komory pomiarowej zamykana była finezyjnie wykonanym szklanym korkiem z wtopionymi czterema prętami molibdenowymi zapewniającymi dobry kontakt z kąpielą helową oraz dwoma cieńszymi prętami molibdenowymi zasilającymi prądem elektromagnes nadprzewodnikowy. Cztery grube pręty stykały się swoimi górnymi końcami i w tym miejscu była osadzona miedziana stopka. Do środka tej stopki przylutowana była jednym końcem próbka, której drugi koniec poprzez druciki miedziane łączył się z kulką soli paramagnetycznej. Na tej samej stopce osadzony był również elektromagnes nadprzewodnikowy obejmujący całą długość próbki. Na zewnątrz elektromagnesu, lecz we wnętrzu komory pomiarowej umieszczony był jeszcze pleksiglasowy каркаs (nie uwidoczniiony na rysunku) z trzema pionowymi cienkimi żyłkami nylonowymi centrującymi położenie soli paramagnetycznej.

Jako ciekawostkę warto nadmienić, że wspomniany elektromagnes był pierwszym polskim elektromagnesem nadprzewodnikowym, a w dodatku wykonanym od początku do końca samodzielnie przez magistrantów! Jako materiał na drut nadprzewodnikowy wybrano stop bizmutu i ołowiu w stosunku 1 : 1. Ze stopu tego wyciśnięto drut o średnicy 0,3 mm, używając laboratoryjnej prasy hydraulicznej. Zmierzono prądy krytyczne tego drutu. Okazało się, że w polu magnetycznym o indukcji 2 T i temperaturze 4,2 K może przez niego płynąć prąd o gęstości 1000 A/cm². Natężenie prądu krytycznego wzrastało trzykrotnie w temperaturze 1,2 K. Po uporaniu się z lutowaniem kilku odcinków drutu w jeden przewód i zaizolowaniem go nawinięto cewkę nadprzewodzącą o długości 40 mm i otworze wewnętrznym 5 mm przy średnicy zewnętrznej 12 mm. Elektromagnes generował indukcję 0,075 T przy natężeniu prądu 3 A. Jednakże najistotniejsze było to, że pracował on bez wydzielania ciepła Joule'a wpływającego na wzrost temperatury stopki.

Korek szklany z karkasem, elektromagnesem, próbką i kulką soli wsuwany był ostrożnie od spodu do komory pomiarowej i uszczelniany samodzielnie wykonanym smarem próżniowym na bazie alkoholu i gliceryny. Cechą szczególną tego smaru było to, że uszczelniał on wysoką próżnię przy temperaturze 1,2 K. Na zewnątrz komory pomiarowej, na wysokości soli paramagnetycznej umieszczone były nawinięte przeciwsobnie cewki odbiorcze do pomiaru podatności soli. Cewki te tworzyło 8 niezwykle precyzyjnie nawiniętych warstw miedzianego drutu o przekroju 0,05 mm. Cewka nadawcza była umieszczona na zewnątrz dewara helowego.

Kriostat składał się z dwu dewarów: zewnętrznego z ciekłym powietrzem (w tamtych czasach powszechne było stosowanie jako osłony termicznej ciekłego powietrza a nie, jak w późniejszych latach, ciekłego azotu) oraz wewnętrznego wąskiego dewara helowego z komorą pomiarową. Od góry oba dewary zamykała skomplikowana mosiężna kapa. Poprzez tę kapę wewnątrz kriostatu połączone było z następującymi układami: systemem odzysku helu wraz regulatorem ciśnienia i małą pompą helową, dużą pompą helową zdolną do obniżenia temperatury kąpeli helowej do 1,2 K oraz z układem wysokiej próżni wytwarzającym warunki adiabatyczne w komorze pomiarowej. Przez kapę przepuszczone były również pomiarowe i kontrolne przewody elektryczne.

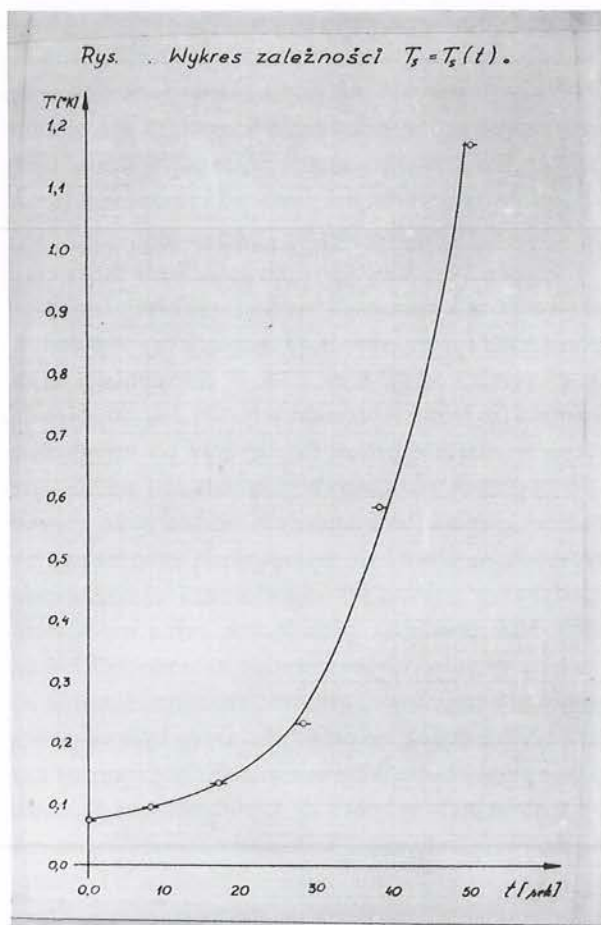
Ciekły hel do wnętrza kriostatu był nalewany w pomieszczeniu, gdzie działała skraplarka helowa, więc należało kriostat tam przenieść z niezwykłą ostrożnością (z uwagi na możliwość ułamania próbki) i później wnieść z powrotem do pracowni. Tutaj był wsu-

wany od góry do pionowo ustawionego, bezrdzeniowego elektromagnesu i przyśrubowywany na sztywno do specjalnych metalowych prętów zamocowanych w suficie pracowni. Po podłączeniu wszystkich przewodów helowych oraz elektrycznych przewodów zasilających i kontrolnych kriostat był gotowy do przeprowadzenia procedury rozmagnesowania i pomiarów.

Pierwszą czynnością było wyznaczenie krzywej cechowania soli paramagnetycznej, czyli zależności jej podatności magnetycznej od temperatury w przedziale temperatur od 4,2 K do 1,2 K. Z ekstrapolacji tej zależności do temperatur niższych od 1,2 K, odpowiadających w zasadzie prawu Curie, oraz po uwzględnieniu poprawek na stosowany kształt soli paramagnetycznej i wpływ wewnętrznych oddziaływań magnetycznych, możliwe było wyznaczenie temperatury termodynamicznej soli po ochłodzeniu (rozmagnesowaniu). Następnie przy pracujących pełną mocą pompach utrzymujących temperaturę helu równą 1,2 K następowało stopniowe izotermiczne magnesowanie soli, a wytwarzające się przy tym ciepło było odprowadzane poprzez druciki miedziane, próbkę, stopkę i molibdenowe pręty w korku do kąpeli helowej. Stosowano przy tym indukcję 2 T. Po dostatecznie długim czasie zapewniano warunki adiabatyczności soli i dokonywano wyłączenia napięcia na elektromagnesie. Następowala demagnetyzacja soli połączona z gwałtownym obniżeniem jej temperatury, zwykle do 0,06 K. Strumień ciepła zaczynał płynąć od ciekłego helu do stopki i dalej – poprzez próbkę – do oziębionej soli paramagnetycznej, której temperatura była w tym czasie około 100 razy niższa niż temperatura ciekłego helu. Jednocześnie mierzono co 10 sekund podatność soli.

Znając prędkość ogrzewania soli, jej masę i temperaturową zależność jej ciepła właściwego, można było obliczyć (a właściwie oszacować) strumień ciepły płynący przez próbkę. Natomiast, znając geometrię próbki, łatwo już było oszacować jej opór cieplny. Na rysunku 2 podaję, jak wzrastała temperatura soli po dokonaniu rozmagnesowania dla przypadku stanu zaporowego. Stan przewodzenia uzyskiwano, niszcząc nadprzewodnictwo cyny zewnętrznym polem magnetycznym magnesu nadprzewodnikowego. Wówczas wyrównywanie się temperatur soli i kąpeli helowej następowało w czasie około 10 razy krótszym.

Pomiary opisane powyżej mogą się wydawać niespecjalnie trudne, jednak w rzeczywistości były one skomplikowane i to nie tylko pod względem naukowym i technicznym, ale również logistycznym. Wymagały bowiem koordynacji wielu złożonych układów mających wpływ na przebieg doświadczenia, ale często „kapryśnych”. Wszystkie układy powinny być być sprawne i poprawnie zadziałać tego samego dnia.



Rys. 2. Zmiana temperatury soli paramagnetycznej w funkcji temperatury dla zaporowego stanu złącz cyna-miedź. Dla stanu przewodzenia, zmiana temperatury soli od 0,06 K do 1,2 K następowała w czasie kilku sekund. Fotokopia z pracy magisterskiej autora

Takich dni mieliśmy dokładnie trzy w ciągu ostatnich dwóch miesięcy pracy. Zważywszy, że mieliśmy zwykle dwie próby w tygodniu i każda wymagała dwóch dni wstępnych przygotowań, te trzy dni poprawnie przeprowadzonych pomiarów były ukoronowaniem całego roku pracy. Były to pierwsze w Polsce pomiary przeprowadzone w zakresie temperatur od 0,06 K do 1,2 K. Jak się później okazało, również ostatnie na przestrzeni następnych kilkunastu lat.

Mimo tego, że otrzymane przez nas wyniki były wprawdzie szacunkowe i nie nadawały się do publikacji, jak również nie wskazywały na możliwość zastosowania aplikacyjnego naszego klucza, to jednak dały nam – raczkującym jeszcze badaczom – poczucie dumy z wykonania postawionego przed nami trudnego zadania oraz z uczestnictwa w tak zaawansowanym eksperymencie fizycznym. Otrzymaliśmy również najwyższe oceny od promotora i komisji egzaminacyjnej.

Jesienią 1966 roku, uchwałami Rady Ministrów oraz Prezydium Polskiej Akademii Nauk, zdecydowano o fuzji między Zakładem Niskich Temperatur

PAN, kierowanym już wtedy przez Bolesława Makieja, a Zakładem Badań Strukturalnych PAN, kierowanym przez Włodzimierza Trzebiatowskiego. Ten ostatni został dyrektorem nowo powołanego Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu, a jedną z jego pierwszych decyzji dotyczącej pracy pracowni magnetycznej było przerwanie prac nad temperaturami milikelwinowymi i skierowanie całości sił na rozwój silnych pól magnetycznych przez budowę nowych elektromagnesów bezrdzeniowych. Wtedy to autor tego opracowania wraz Andrzejem Czopnikiem przeniósł się do Zakładu Badań Magnetycznych Instytutu, którego kierownikiem był Bohdan Staliński; rozpoczęliśmy tam badania międzymetalicznych związków pierwiastków ziem rzadkich wykazujących zlokalizowane momenty magnetyczne. Tam też uzyskaliśmy naukowe stopnie doktora i doktora habilitowanego, a Andrzej uzyskał tytuł profesora.

Autor, bywając od czasu do czasu w dawnej pracowni Czesława Bazana, która już wtedy była w gestii Międzynarodowego Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych, widział już nie używaną, lecz wiszącą ciągle na ścianie mosiężną kapę wraz z komorą pomiarową ze starego kriostatu do rozmagnesowania adiabatycznego. Na bocznej ścianie tej kapy wciąż widniał wygrawerowany przed laty przez Bazana napis „23 grudnia 1964 roku osiągnięto temperaturę 0,06 K”. Przed pisaniem tego artykułu autor chciał ją znowu odszukać, aby zrobić jej zdjęcie – bez skutku. Powiedziano mu, że historyczna pamiątka została wyrzucona dawno temu na złom!

Od przełomu lat 60. i 70. ubiegłego wieku kriostaty oparte o efekt rozmagnesowania adiabatycznego odeszły do lamusa, a szerokim frontem do laboratoriów



Fot. 3. Czesław Bazan przy kriostacie do rozmagnesowania adiabatycznego. W górnej części zdjęcia widoczna jest szeroka rura prowadząca do dużej rotacyjnej pompy próżniowej obniżającej temperaturę kąpeli helowej do 1,2 K. Serwis YouTube, Polska Kronika Filmowa 19B/65

niskotemperaturowych weszły chłodziarki uzyskujące temperatury do 0,03 K przez mieszanie dwu izotopów helu: ^4He i ^3He . Wykorzystują one efekt różnicy entropii między fazą czystego ^3He a fazą złożoną z mieszaniny ^4He i ^3He , co pozwala na standardowe uzyskiwanie w tych kriostatach stabilnych i precyzyjnie regulowanych temperatur obszaru pojedynczych milikelwinów. Są one również z reguły wyposażone w elektromagnesy nadprzewodnikowe o coraz większej indukcji, aż do 16 T. Aparatura ta jest niestety droga i wymaga wysoko wyspecjalizowanej obsługi.

Pierwszy supersilny elektromagnes bezrdzeniowy uruchomiony w 1960 roku przez Czesława Bazana zakończył swój naukowy żywot w marcu 1973 roku, lecz wcześniej, bo w roku 1968, dał początek Międzynarodowemu Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych i Niskich Temperatur, którego pierwszym dyrektorem został Włodzimierz Trzebiatowski. W Laboratorium tym pod kierunkiem Czesława Bazana skonstruowano w ciągu kilkunastu lat serię coraz to silniejszych elektromagnesów bezrdzeniowych typu Bittera o indukcji: 10 T, 15 T i 20 T.

Natomiast powstały jesienią 1966 roku Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN, obchodzący obecnie pięćdziesięciolecie swojego istnienia, posiada uznany europejski status. Na początku lat 90. ubiegłego wieku, a więc w 25 lat po przerwaniu prac w najniższych temperaturach, Instytut zakupił rozcieńczalnik ^4He - ^3He wraz z elektromagnesem nadprzewodnikowym, otwierając tym samym nową przestrzeń dla naukowej działalności Instytutu. Początki nie były łatwe, bo nie było wyszkolonej kadry i trzeba było, jak zwykle w takich okolicznościach, płacić frycowe za naukę. Z czasem sytuacja się unormowała i obecnie w Instytucie jest kilka chłodziarek pracujących w różnych pracowniach uzyskujących temperatury w zakresie milikelwinowym. Działa również Pracownia Najniższych Temperatur specjalizująca się w bardzo precyzyjnych elektrycznych i galwanomagnetycznych pomiarach do temperatury 30 mK.

Patrząc teraz z perspektywy czasu na sprawę wrocławskich badań w bardzo niskich temperaturach, autor, choć wspomina je z sentymentem, nie ma już tak krytycznego stosunku do decyzji o ich przerwaniu. Czas pokazał, że stosowanie metody rozmagnesowania adiabatycznego w celu uzyskiwania temperatur milikelwinowych prowadziło w ślepą uliczkę. Zbyt trudno jest w tej metodzie stabilizować temperaturę, małe są pojemności cieplne zasobników zimna i trudno jest skonstruować klucze cieplne o odpowiedniej efektywności. W dodatku stosowanie elektromagnesów typu Bittera w tych eksperymentach prowadzi do trudnych do wyeliminowania wibracji i elektromagnetycz-

nych zakłóceń. Nadszedł czas chłodziarek – rozcieńczalników ^4He - ^3He . Ich wysoka cena oraz brak wykrywalnej tematyki badawczej w ośrodku wrocławskim, na potrzeby której takie temperatury należałoby rozwijać, nie rokował na ich prędkie zakup. W latach osiemdziesiątych posiłkowano się doraźnie krio-pompani na bazie ^3He , które teoretycznie mogły obniżać temperaturę do 0,3 K. Były one jednak mało praktyczne, kapryśne i drogie, bo zawierały ^3He . Autor jest zdania, że dopiero odkrycie na przełomie lat 70. i 80. efektu mieszanej wartościowości w związkach ziem rzadkich i, nieco później, zjawiska ciężkich fermionów zwróciło uwagę badaczy na temperatury milikelwinowe. W Polsce nastał jednak wtedy mrok stanu wojennego z wszystkimi jego późniejszymi konsekwencjami. Dopiero początek lat 90. był tym okresem, który przyniósł w kraju zwiększenie nakładów na badania naukowe i zapoczątkował stopniowe zasypywanie przepaści między standardami polskich i zachodnich laboratoriów.

W kilku wyspecjalizowanych laboratoriach na świecie wciąż jednak trwa wyścig do osiągania jak najniższych temperatur. Są to niezwykle skomplikowane i szalenie drogie prace. Ciekawostką może być to, że do osiągnięcia celu wykorzystują one opisaną w niniejszym artykule metodę rozmagnesowania adiabatycznego. Jednak w tym przypadku dokonuje się rozmagnesowania momentów magnetycznych jąder atomowych a nie momentów magnetycznych elektronów na powłokach atomowych. Ostatnie znane autorowi doniesienie naukowe na ten temat pochodzi z roku 1999, kiedy to grupa fińskich naukowców z laboratorium im. Lounasma (Aalto University), używając rodu jako medium poddawanego rozmagnesowaniu, uzyskała temperaturę 100 pikokelwinów (10^{-10} K). Z zasad termodynamiki wiadomo, że wyścig ten jest właściwie wyścigiem bez możliwości osiągnięcia mety, bo temperatura zera absolutnego jest niemożliwa do uzyskania, aczkolwiek zbliżyć się do niej możemy na dowolnie bliską odległość.

Jeżeli takie są prawa fizyki, to może zrodzić się uzasadnione pytanie o przyczynę tego ciągłego dążenia fizyków do jak najniższej temperatury. Myślę, że powody są dwa. Pierwszy, to ten wyrażony we wstępie tego artykułu, związany z ludzką naturą. Natomiast drugi jest ważniejszy – ma poznawczy i utylitarny charakter. Obniżając bowiem temperaturę jakiegokolwiek substancji: cieczy, gazu lub ciała stałego i powodując coraz większe uspokojenie występujących w nim drgań cząsteczek i atomów wywołanych ciepłem otoczenia, możemy wejść w obszar temperatur niedostępnych jeszcze dla innych badaczy. Otwierają się wtedy przed nami nieznane własności ciał i nowe zjawiska fizyczne.

Ich opis przynosi zawsze naukowy splendor i – zwykle po niedługim czasie – zastosowania użytkowe.

W XIX wieku, gdy temperaturę obniżono od 300 K (temperatura pokojowa) do około 100 K, zaobserwowano skraplanie i zestalanie się gazów oraz zmianę własności chemicznych i fizycznych substancji technicznie użytecznych. A była to tylko trzykrotna zmiana temperatury. Jeszcze bardziej potrafiiono obniżyć temperaturę na początku XX wieku, bo aż do 2 K (czyli do temperatury 150 razy niższej od temperatury pokojowej). Skutkowało to eksplozją odkryć nowych zjawisk, z których chyba najistotniejsze to odkrycie nadprzewodnictwa i nadciekłości.

Należy uświadomić sobie, jak szeroko skropłone gazy stosowane są obecnie w nauce, medycynie i technice. Cały program kosmiczny, wielkie akceleratorzy cząstek elementarnych, silnie rozwijająca się kriomedycyna, czy banki genów i metody prokreacji *in vitro*, nie byłyby możliwe bez użycia skropłonych gazów. Natomiast techniczne opanowanie nadprzewodnictwa zrewolucjonizowało konstrukcje potężnych elektromagnesów i umożliwiło budowę lewitujących superszybkich pociągów, nowoczesnych broni czy też najpotężniejszego obecnie urządzenia badawczego, jakim jest Wielki Zderzacz Hadronów. Okazuje się również, że gdy wkraczamy w obszar temperatur bliskich zeru bezwzględnemu, nasza intuicja i powszednie rozumienie zjawisk zawodzą, bo odkrywamy zjawiska nie dające się opisać znanymi, klasycznymi prawami fizyki. Zjawiska, dla których element prawdopodobieństwa i pewnej nieoznaczoności sytuacji ma niezwykle istotne znaczenie. Mam tu na myśli zjawiska kwantowe, których najlepszym przykładem jest chyba efekt tunelowy, również już wykorzystany technicznie w konstrukcji mikroskopów elektronowych. Przy obniżaniu temperatury od poje-

dynczych kelwinów do milikelwinów, a więc do temperatur w których autor przeprowadzał swój eksperyment 50 lat temu, temperatura zmniejsza się kolejne kilkaset razy. Czytelnik słusznie się spodziewa, że w tak szerokim zakresie zmian temperatury musiano odkryć nowe zjawiska i własności substancji. I jest to prawda. Są to jednak bardzo wysublimowane zjawiska kwantowe, trudne do lapidarnego opisu. Z bardziej spektakularnych wymienilibym zaobserwowany ostatnio efekt bilokacji, czyli istnienia tego samego obiektu (początkowo był to foton, ale obecnie to już jest elektron, atom, a nawet cząsteczka fulereny) w dwóch różnych miejscach przestrzeni w tej samej chwili czasu.

Zdajmy sobie sprawę z faktu, że od temperatury jednego milikelwina do najniższej osiągniętej obecnie na świecie równej 100 pikokelwinów, temperatura spada jeszcze dziesięć milionów razy! O jak małych energiach termicznych jest mowa, uświadomimy sobie, gdy skalę temperatury porównamy ze znacznie bliższą naszej intuicji skalą odległości. Gdybyśmy temperaturę ciał przyrównali do odległości i wyskalowali tak, aby temperatura pokojowa była równa odległości z Warszawy do Berlina, to wówczas temperaturę 0,06 K uzyskiwaną przed laty przez autora, można by przyrównać do długości boiska piłkarskiego, a temperatura 100 pikokelwinów osiągnięta w laboratorium Lounasmy odpowiadałaby by około jednej tysięcznej grubości ludzkiego włosa!

Czy w takim pozbawionym energii, termicznym kondensacie mogą zachodzić jakieś zjawiska fizyczne? Czy jesteśmy w stanie je zaobserwować i właściwie zinterpretować? Właśnie odpowiedź na takie pytania oraz interpretacja zjawisk występujących na granicy naszego poznania jest jednym z największych wyzwań dla badacza.

Zbigniew Kletowski jest emerytowanym profesorem nadzwyczajnym Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu. Zajmował się badaniem własności elektronowych międzymetalicznych związków o zlokalizowanych momentach magnetycznych a także hodowlą monokryształów. W ramach wspólnych projektów badawczych pracował na uniwersytetach w Amsterdamie, Kolonii, Osace i Paryżu.

Adres poczty elektronicznej autora: Z.Kletowski@int.pan.wroc.pl.

Biografia Czesława Bazana

Czesław Bazan, urodzony w 1924 roku w Rzeszowie, w rodzinie nauczycielskiej, po aresztowaniu ojca przez Rosjan w 1941 roku zostaje deportowany wraz z matką i bratem w głąb Rosji do Kraju Narymskiego w obwodzie Tomsk. Pracuje w cegielni i przy wyrębie tajgi. W roku 1943 wstępuje do 3. Dywizji Piechoty im. Romualda Traugutta. Po wojnie studiuje na Uniwersytecie Wrocławskim na kierunku fizyka. Kończy Uniwersytet ze stopniem magistra w 1952 roku. Po studiach pracuje jako asystent i starszy asystent w Katedrze Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Wrocławskiego. W roku 1958 zostaje zatrudniony w Zakładzie Niskich Temperatur Instytutu Fizyki PAN we Wrocławiu. Dwa lata później uruchamia tam pierwszy w Polsce bezrdzeniowy elektromagnes o indukcji 4 T. Projektuje i konstruuje aparaturę do badań w temperaturach milikelwinowych. Przygotowuje jednocześnie pod kierunkiem prof. Józefa Mazura rozprawę doktorską na temat właściwości magnetycznych i elektrycznych monokryształów nitkowych (whiskerów) żelaza, którą broni na Uniwersy-

tecie Wrocławskim w 1965 roku. W dniu 23 grudnia 1964 roku osiąga w Zakładzie Niskich Temperatur Instytutu Fizyki PAN we Wrocławiu po raz pierwszy w Polsce temperaturę 0,06 K na drodze adiabatycznego rozmagnesowania alunu chromowo-żelazowego. Projektuje i pilotuje budowę silniejszego elektromagnesu o indukcji 10 T. W następnych kilkunastu latach pracuje w nowo powstałym Międzynarodowym Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych i Niskich Temperatur, gdzie zespół pod jego kierownictwem konstruuje jeszcze < dwa elektromagnesy bezrdzeniowe o indukcji 15 T i 20 T. W połowie lat osiemdziesiątych na skutek gwałtownego pogorszenia się stanu zdrowia Czesław Bazan zmuszony jest zakończyć swoją aktywność zawodową. Przechodzi wtedy na emeryturę i przeprowadza się na Górny Śląsk. Kilka lat temu po benedyktyńskiej kwerendzie opracował i wydał w wydawnictwie Norbertinum monumentalną antologię relacji zesłańców „Narymska zsyłka”.

Z.K.

Czesław Lewa (1937–2016)

Czesław Lewa urodził się w 1937 roku w Siporach. W roku 1961 ukończył studia w Wyższej Szkole Pedagogicznej w Gdańsku. Stopień doktora uzyskał w 1969 roku a doktora habilitowanego – w 1977 roku. W roku 1997 Czesław Lewa otrzymał tytuł profesora w zakresie fizyki. Od roku 1961 pracował w Katedrze Fizyki WSP w Gdańsku, która to uczelnia przekształciła się w 1970 roku w Uniwersytet Gdański. W latach 1985 i 1995 pracował również na Uniwersytecie w Rennes w Francji, gdzie w roku 1999 został wyróżniony doktoratem honorowym.

Czesław Lewa był wybitnym specjalistą w zakresie spektroskopii magnetycznego rezonansu jądrowego (MR) w kraju i za granicą. Opracowane przez niego metody stosowane są głównie w diagnostyce chorób za pomocą tomografii komputerowej. Nowe metody spektroskopii MR zaproponowane przez Czesława Lewę zostały zweryfikowane eksperymentalnie i funkcjonują już w wielu laboratoriach na świecie, m.in. w Mayo Clinic w Rochester w USA i w firmie Siemens w Lille we Francji). W 1998 roku otrzymał nagrodę Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za osiągnięcia naukowe.

Oryginalność prac Czesława Lewy polega na tym, że wychodząc z opracowanych wcześniej przez Stejskala-Tannera i Morana metod określania przemieszczeń związanych tak z transportem pędu (dyfuzyjnych), jak i masy (przepływ lub konwekcja) przy zastosowaniu rezonansu magnetycznego, opracował on kilka nowych metod określania przemieszczeń spinów paramagnetycznych (jądrowych lub elektronowych) wymuszonych falą elastyczną, polem elektrycznym lub gradientem pola magnetycznego. Opierają się one na obserwacji zmian fazy poprzecznej składowej magnetyzacji paramagnetycznej wywołanych zmianą przestrzennego położenia spinów wymuszonego wybranym czynnikiem fizycznym

Elastografia MR (EMRS) umożliwia obserwację widmowej zależności absorpcji, rozpraszania w diagnostyce technicznej (emisja deformacyjna) jak i w diagnostyce medycznej. Pozwala to na odróżnienie tkanek zdrowych i patologicznych, nowotworowych czy stwardnieniowych (np. naczyń wieńcowych) oraz na



Czesław Lewa

obrazowanie pola emisyjnego wewnętrznych źródeł promieniowania elastycznego.

Spektroskopia elastomagnetycznego MR (EMMRS) pozwala na identyfikację oraz pomiar rozkładu ruchliwości elektrycznej naładowanych elementów materii (jony, rodniki swobodne, protony czy molekuły związane z nośnikami ładunków). Może ona przybliżyć rozpoznanie subtelnych oddziaływań (np. w środowiskach biologicznych, gdzie modyfikacje i przemieszczenia ładunku mogą być istotnym elementem determinującym rozwój zmian patologicznych). Poprzez pomiar czasu życia krótko żyjących nośników ładunku otwiera ona drogę do pełniejszego poznania kinetyki niektórych reakcji chemicznych (np. w katalizowanych procesach technologicznych). Może również umożliwić rozpoznanie mechanizmów odpowiedzialnych za patologiczny lub terapeutyczny wpływ pola elektromagnetycznego na układy biologiczne.

Profesor Czesław Lewa zmarł po długiej chorobie w sierpniu 2016 roku.

Bogumił B. J. Linde

Danuta Kielczewska (1945–2016)

– twórczyni doświadczalnej fizyki neutrin w Polsce

Warszawska Grupa Neutrinowa

Fizyka neutrin to dziedzina niezwykle interesująca i stosunkowo młoda. Jej eksperymentalne początki związane są z pierwszymi obserwacjami oddziaływań neutrin elektronowych dokonanych przez Fredericka Reinesa i Clyde'a Cowana w latach 50., odkrycie później nagrodzone Nagrodą Nobla. Przez ostatnie kilkadziesiąt lat, jednym z najważniejszych pytań stawianych sobie przez fizyków neutrin na całym świecie, było pytanie o istnienie zjawiska oscylacji neutrin, które może zachodzić tylko wtedy, gdy neutrina mają masę. Odpowiedź na to pytanie poznaliśmy dopiero w końcu lat 90. a w jej udzieleniu swój udział miała również Danuta Kielczewska – uczestniczka pionierskiego eksperymentu IMB, a później przełomowego eksperymentu Super-Kamiokande, który dokonał jednego z najważniejszych odkryć w fizyce eksperymentalnej ostatnich dekad – zaobserwował tak zwane oscylacje neutrin. Danuta Kielczewska jest uznawana przez środowisko naukowe za twórczynię doświadczalnej fizyki neutrin w Polsce.

Praca doktorska

Pierwsze kroki w fizyce Danuta Kielczewska stawiała w grupie wybitnego polskiego fizyka, Jerzego Pniewskiego, znanego z dokonania – wspólnie z Marianem Danyszem – przełomowego odkrycia hiperjader. Jej praca skupiała się na badaniach wspomnianych hiperjader i zaowocowała w 1975 roku obroną rozprawy doktorskiej pt: „Oddziaływania w stanach końcowych wybranych hiperjader p-powłokowych”. Promotorem pracy był prof. Janusz Zakrzewski. W rozprawie doktorskiej autorki możemy przeczytać: *Materiał doświadczalny do niniejszej pracy zebrany został przy użyciu emulsji jądrowej naświetlonej powolnymi mezonami K^-* . Eksperyment prowadzony był w ramach Europejskiej Współpracy K^- . W następnych latach, działając dalej w ramach współpracy K^- , Danuta Kielczewska wyjechała na dwa staże zagraniczne: na Uniwersytecie w Brukseli (Université

Europejska Współpraca K^- składała się z następujących międzynarodowych ośrodków badawczych:

- › Institut za Fiziku, Belgrad,
- › Institut für Hochenergiephysik, DAW, Zeuthen/Berlin,
- › Université Libre de Bruxelles, Bruksela,
- › Institute of Advanced Studies, Dublin,
- › University College Dublin, Dublin,
- › University College London, Londyn,
- › Instytut Fizyki Doświadczalnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa,
- › Instytutu Badań Jądrowych, Warszawa.

Libre de Bruxelles) oraz na Northwestern University, Evanston, w Stanach Zjednoczonych.

Pierwsze kroki w fizyce neutrin

Kolejny staż w Stanach Zjednoczonych okazał się przełomowy, albowiem wiązał się z pracą w grupie badawczej późniejszego noblisty, Fredericka Reinesa. Kielczewska postanowiła zmienić dotychczasową tematykę badawczą i zaangażować się w obiecującą i będącą na wczesnym etapie rozwoju gałąź fizyki doświadczalnej: fizykę neutrin. Staż odbywał się na Uniwersytecie Kalifornijskim w Irvine w latach 1982–83. Stażystka okazała się cennym członkiem grupy w Irvine i współpraca była kontynuowana m.in. podczas kolejnego stażu, w latach 1987–89.

Danuta Kielczewska, wraz z grupą badawczą z Irvine, od samego początku brała udział w eksperymencie Irvine–Michigan–Brookhaven (IMB). Było to wspólne przedsięwzięcie Uniwersytetu Kalifornijskiego w Irvine, Uniwersytetu Michigan oraz Brookhaven National Laboratory. Obserwatorium znajdowało się w kopalni Fairport na brzegu jeziora Erie w Stanach Zjednoczonych. Wodny detektor Czerenkowa został zbudowany w celu poszukiwania rozpadu protonu, ale ostatecznie przeszedł do historii dzięki rejestracji

Detektor Czerenkowa. Aby zaobserwować neutrin, potrzebujemy sposobu rejestracji cząstek, które zostają wyprodukowane w jego oddziaływaniu z materią w detektorze. Jednym z takich sposobów jest obserwacja tzw. promieniowania Czerenkowa, czyli światła emitowanego przez wysokoenergetyczne cząstki naładowane. Światło to jest wysyłane do przodu w kształcie stożka, a badanie jego charakterystyki pozwala na ustalenie, jaka cząstka je wytworzyła. Zjawisko Czerenkowa pozwala budować nam wielkie wodne detektory, które są w stanie rejestrować wielkie liczby oddziaływań neutrin.

neutrin z wybuchu supernowej o nazwie SN1987A. Ta obserwacja stała się podstawą pracy habilitacyjnej „Neutrinos from Supernovae” uzyskanej w 1995 roku na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i opublikowanej w międzynarodowym czasopiśmie „International Journal of Modern Physics”. Praca zawiera dane również z eksperymentu IMB, nad którymi Danuta Kielczewska pracowała.

Odkrycie oscylacji neutrin

Badania eksperymentu IMB i jego konkurenta z Japonii – Kamiokande – sygnalizowały, że obserwowane neutrina z ziemskiej atmosfery mogą podlegać zjawisku oscylacji. Potwierdzenie tego przypuszczenia byłoby ekscytującym odkryciem, ponieważ dotychczasowy model teoretyczny opisujący świat cząstek elementarnych, zwany Modelem Standardowym, zakładał, że neutrina nie mają masy, wobec czego zjawisko oscylacji nie jest możliwe.

Aby ostatecznie rozwiązać tę zagadkę, naukowcy z obydwu eksperymentów połączyli siły i rozpoczęli pracę nad nowym projektem badawczym o nazwie Super-Kamiokande. Miał być to największy na świecie wodny detektor Czerenkowa, pojemnik w kształcie walca zawierający 50 tys. ton wody. Zbudowany

Eksperyment Super-Kamiokande (SK). Najśłynniejszy na świecie wodny detektor Czerenkowa. Znajduje się w japońskiej kopalni niedaleko miasteczka Kamioka i został zbudowany w celu badania neutrin pochodzących z atmosfery, słońca i gwiazd supernowych. Jest to wielki podziemny zbiornik z wodą otoczony tysiącami czujników reagujących na światło, zwanych fotopowielaczami. W 1997 roku na podstawie danych Super-Kamiokande po raz pierwszy potwierdzono istnienie zjawiska oscylacji neutrin, odkrycie nagrodzone Nagrodą Nobla w roku 2015.

pod ziemią w kopalni Kamioka, o wysokości porównywalnej z wysokością kilkunastopiętrowego budynku, został oddany do użytku w 1996 roku i działa do dziś.

Danuta Kielczewska od samego początku była zaangażowana w prace badawcze nad przygotowaniem i uruchomieniem detektora. W drugiej połowie lat 90. spędzała rokrocznie pół roku na Uniwersytecie Kalifornijskim w Irvine i pół roku na Uniwersytecie Warszawskim, dzieląc swój czas na działalność dydaktyczną i przygotowania do eksperymentu. Dzięki Kielczewskiej, Wydział Fizyki UW był wówczas jedyną europejską uczelnią, która była członkiem współpracy Super-Kamiokande. W tym okresie powstała, oczywiście pod kierunkiem Danuty Kielczewskiej, pierwsza praca magisterska związana z neutrinami.

– Pani prof. Danuta Kielczewska była moją promotorką od wiosny 1997 roku – wspomina Urszula Gołębiewska, wtedy magistrantka. – Z proponowanych tematów prac magisterskich tytuł „Badanie błędów systematycznych w rozkładach kątowych neutrin atmosferycznych mierzonych w detektorze Super-Kamiokande” był najdłuższy i najbardziej intrygujący. Po prawie dwudziestu latach mogę stwierdzić, że projekt którego dotyczył, był też tym, który przyniósł ogromne postępy i wyniósł fizykę neutrin poza Model Standardowy.

W tych pionierskich czasach grupę neutrinową na Wydziale Fizyki UW tworzyły tylko dwie osoby. Dane z eksperymentu Super-Kamiokande były przywożone z USA na taśmach magnetycznych i analizowane na komputerach Wydziału Fizyki. Do przetwarzania tych danych używane było oprogramowanie pochodzące również z USA.

W 1998 eksperyment Super-Kamiokande ogłosił swoje najważniejsze odkrycie. Podczas odbywającej się w Takayamie XVIII Międzynarodowej Konferencji o Fizyce i Astrofizyce Neutrin (Neutrino98) Takaaki Kajita, szef grupy analizującej oddziaływania neutrin z atmosfery, zaprezentował dane jednoznacznie wskazujące na występowanie oscylacji neutrin. Była to sensacja w świecie fizyków cząstek elementarnych, a w 2015 roku odkrycie zostało uhonorowane Nagrodą Nobla.

Danuta Kielczewska także uczestniczyła w tej konferencji. – Gdy spytałam ją o wrażenia, odpowiedziała po prostu: „Wszyscy spoza współpracy Super-Kamiokande byli bardzo podekscytowani wynikami potwierdzającymi oscylacje neutrin, ale my pracowaliśmy na tych danych od dawna, więc nie było u nas takich emocji” – cytuje swoją promotorkę Urszulę Gołębiewską.



Danuta Kielczewska w otoczeniu młodszych kolegów na konferencji Neutrino98. Pierwszy z lewej stoi Karol Lang, absolwent Uniwersytetu Warszawskiego i obecny szef eksperymentu neutrinowego MINOS+

W tym samym roku opublikowano w prestiżowym czasopiśmie *Physical Review Letters* artykuł zatytułowany „Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos”. Jest uznawany za przełomowy – uzyskał dotąd już ponad 3 tysiące cytowań. Kielczewska była jego współautorem a jedyną europejską uczelnią, którą możemy w tym artykule znaleźć, jest Uniwersytet Warszawski.

Aby dokładniej zbadać zjawisko oscylacji, naukowcy postanowili zbudować sztuczną wiązkę neutrin. Powstał eksperyment K2K, w którym neutrina z wiązki w laboratorium KEK kierowane były do oddalonego o 300 km detektora Super-Kamiokande. W tym eksperymencie Danuta Kielczewska uczestniczyła razem ze swoją doktorantką, Joanną Zaliorską. – Profesor Kielczewskiej zawsze zależało, żebym brała udział w bieżących analizach dotyczących tego pierwszego eksperymentu, który potwierdził istnienie oscylacji neutrin przy użyciu wiązki z akceleratora – wspomina Joanna. – Jej kontakty z międzynarodowym środowiskiem fizyków pozwoliły mi na czynny udział w eksperymencie K2K w czasie mojego kilkuletniego pobytu

Eksperyment K2K: KEK-2-Kamioka. W poszukiwaniu śladów oscylacji neutrin naukowcy postanowili sami stworzyć wiązkę tych tajemniczych cząstek, aby lepiej poznać ich naturę. Produkcji neutrin podjęło się japońskie laboratorium KEK, które do tego celu użyło akceleratora protonów. Ich zderzenia z grafitową tarczą pozwalały na produkcję wtórnych mezonów, rozpadających się na neutrina. Odpowiednio skupiona wiązka była kierowana w stronę Super-Kamiokande, w którym rejestrowano ich oddziaływanie. Odległość między obydwojema laboratoriami wynosiła ok. 250 km, wystarczająco dużo, aby można było obserwować efekty zjawiska oscylacji.

w Japonii w laboratorium KEK w Tsukubie, gdzie pracowałam nad pracą doktorską.

Danuta Kielczewska uczestniczyła w eksperymentach Super-Kamiokande i K2K, poczynawszy od etapu ich przygotowania, przez cały czas trwania tych eksperymentów. Jej rolę w tych eksperymentach najlepiej można ocenić przeglądając listę wystąpień konferencyjnych. Były to często wystąpienia o charakterze przeglądowym, co pokazuje, że wkład Danuty Kielczewskiej w te eksperymenty był istotny i doceniany przez współpracowników. W 2005 powierzono jej przygotowanie i prowadzenie sesji dotyczącej fizyki neutrin na największej europejskiej konferencji fizyki wysokich energii HEP2005 w Lizbonie. Dowodem uznania, tym razem wśród fizyków japońskich, było również zaproponowanie Kielczewskiej stanowiska profesora wizytującego w laboratorium KEK, gdzie spędziła kilka miesięcy w 2005 roku.

Polska Grupa Neutrinowa

Pod koniec lat 90. wraz ze wzrostem popularności neutrin wśród fizyków coraz więcej polskich naukowców zaczęło zajmować się tą dziedziną. Wkrótce powstała Polska Grupa Neutrinowa, skupiająca fizyków z czterech ośrodków akademickich: Katowic, Krakowa, Warszawy i Wrocławia. Danuta Kielczewska pełniła kluczową rolę w jej tworzeniu, a później kierowaniu nią, razem z pozostałymi liderami: Ewą Rondio, Agnieszką Zalewską (późniejszą szefową Rady CERN), Janem Kisiem i Janem Sobczykem. Początkowo współpraca dotyczyła głównie wspólnego udziału we włoskim eksperymencie Icarus, ale z czasem rozszerzyła się też na inne projekty.

W tym czasie Kielczewska zaczęła skupiać wokół siebie coraz więcej studentów a potem doktorantów. Z Ewą Rondio z Narodowego Centrum Badań Jądrowych stworzyły Warszawską Grupę Neutrinową (<http://neutrino.fuw.edu.pl>), która liczy w tej chwili ponad 10 osób.

Eksperyment T2K

Rok 2006 rok okazał się przełomowy dla Polskiej Grupy Neutrinowej, liczącej wówczas 25–30 fizyków i studentów. Powstający w Japonii eksperyment T2K (następca K2K, również badający neutrina ze sztucznej wiązki akceleratorowej), poszukiwał fizyków chcących współpracować przy tworzeniu bliskiego detektora eksperymentu. Wcześniejsze zaangażowanie Kielczewskiej i jej znajomość japońskiego środowiska naukowego umożliwiło polskim neutrinowcom na przystąpienie do eksperymentu T2K i nawiązanie

Eksperyment T2K: Tokai-2-Kamioka. Eksperyment stworzony w celu zbadania rzadkiego sposobu oscylacji neutrin – pojawiania się neutrin elektronowych w wiązce neutrin mionowych. Użyto w nim wiązki neutrin znacznie silniejszej niż ta we wcześniejszym eksperymencie K2K. W 2013 roku T2K po raz pierwszy zaobserwowało neutrina elektronowe z tego rodzaju oscylacji, i razem z chińskim eksperymencie Daya Bay, badającym neutrina z elektrowni jądrowych, przyczyniło się do wyznaczenia jednego z ważnych, choć dotąd nieznanych, fizycznych parametrów oscylacji neutrin.

współpracy międzynarodowej, która zaowocowała pracą przy konstrukcji i instalacji detektora mionów. Udział w eksperymencie był finansowany z grantów badawczych. Kielczewska była koordynatorem grantu dla wszystkich polskich uczestników w latach 2007–2011 pod tytułem „Badanie oscylacji neutrin – eksperymencie drugiej generacji – budowa detektora i udział w pomiarach przeprowadzanych w eksperymencie T2K”.

W ramach realizacji tego projektu polska grupa mogła brać czynny udział w pracach eksperymentu. Umożliwiło to polskim naukowcom branie udziału w okresowych spotkaniach wszystkich uczestników eksperymentu, służących dyskusji wyników analiz prowadzonych przez różne grupy badawcze. Polska grupa uczestniczyła także w bezpośrednim nadzorowaniu zbierania danych, zarówno przy bliskim detektorze, jak i w Super-Kamiokande.

Badania T2K okazały się bardzo ważne: eksperymencie ten zaobserwował po raz pierwszy w 2013 roku pojawianie się – na skutek oscylacji – neutrin elektronowych z wiązki neutrin mionowych. O wadze tego wyniku świadczy między innymi fakt, że opisujące pomiar publikacje są już cytowane ponad 1000 razy.

Kielczewska: edukator i popularyzator

Danuta Kielczewska była świetnym dydaktykiem oraz zaangażowanym i pomocnym, choć wymagającym opiekunem naukowym wielu studentów i doktorantów. Zawsze bardzo dbała o ich rozwój naukowy, wysyłając ich jak najczęściej na międzynarodowe konferencje i szkoły letnie związane z fizyką neutrin, pomagając w szukaniu grantów i redagowaniu wniosków potrzebnych do ich uzyskania. Dzięki niej, wielu młodych naukowców miało szansę zetknąć się i bezpośrednio pracować z danymi eksperymentów Super-Kamiokande, K2K i T2K. Było to możliwe w ramach seminariów studenckich,



Danuta Kielczewska wygłasza referat przeglądowy na konferencji Astrofizyka Cząstek w Krakowie w 2007 roku

podczas przygotowywania prac licencjackich, magisterskich i oczywiście w ramach prac doktorskich. Kielczewska miała intuicję jeśli chodzi o dobór tematyki badań dla młodych naukowców, którymi się opiekowała. W przypadku kilku prowadzonych przez nią prac umożliwiło to magistrantom osiągnięcie wyników, które mogli porównywać z wynikami uzyskiwanymi

Najważniejsze międzynarodowe i krajowe wyróżnienia prof. dr hab. Danuty Kielczewskiej.

- 1) Nagroda Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego im. B. Rossi, Stany Zjednoczone, 1989 – nagroda zespołowa dla współpracy IMB za wykrycie neutrin z SN1987A
- 2) „Asahi Prize”, Japonia, 1998 – nagroda zespołowa dla współpracy Super-Kamiokande za wykrycie oscylacji neutrin
- 3) Nagroda Rektora Uniwersytetu Warszawskiego, 1999
- 4) Nagroda Rektora Uniwersytetu Warszawskiego, 2003
- 5) „Scopus Award”, Nagroda Elsevier dla polskiego autora-naukowca najczęściej cytowanego w latach 2001–2005, Warszawa, 2006.
- 6) Nagroda Breakthrough Prize in Fundamental Physics (<https://breakthroughprize.org/Laureates/1/L155>) – nagroda zespołowa dla współpracy m.in. Super-Kamiokande oraz T2K, 2015.

niewiele wcześniej w najlepszych eksperymentach neutrinowych na świecie, a często wnosić do tych analiz coś własnego.

– Można z nią było rozmawiać na różne tematy, niekoniecznie związane z fizyką – wspomina Magdalena Posiadała-Zezuła, magistrantka i doktorantka Kielczewskiej. – Często służyła przyjacielskimi radami, także w życiowych sprawach. Nigdy nie chwaliła na wyrost, ale potrafiła docenić wysiłek, który wkładaliśmy w robienie analiz i ich prezentowanie wśród fizyków z całego świata. Dzięki niej poznałam najwybitniejszych ekspertów w fizyce neutrin.

– Była ciepłą i pomocną osobą – mówi Paweł Przewłocki, również magistrant i doktorant – Bardzo ceniła szczerść i uczciwość, w nauce i życiu.

Kielczewska zdobyła duże uznanie w środowisku fizyków polskich i zagranicznych. Prowadziła liczne seminaria i konwersatoria, a także wygłaszała wykłady na Zjazdach Fizyków Polskich, gdzie prezentowała fizykę neutrin w szerokiej perspektywie, wskazując jej rolę w poznawaniu struktury Modelu Standardowego. Była niewątpliwie największym autorytetem w dziedzinie eksperymentalnej fizyki neutrin w Polsce.

Budowanie zespołu wymagało – oprócz wyjątkowej pracy naukowej – także upowszechniania nowej dziedziny badań w środowisku fizyków oraz wśród studentów. Elementem tej działalności było prowadzenie od 2004 roku specjalistycznego wykładu na Uniwersytecie Warszawskim, który przyciągał wielu słuchaczy. W pewnym momencie w warszawskiej grupie było aż 5 magistrantów. Bardzo ważne były też wykłady dla najmłodszych wielokrotnie prowadzone przez Danutę Kielczewską w ramach zajęć Krajowego Funduszu na rzecz Dzieci.

Kwestia oscylacji neutrin i nowej fizyki były bardzo gorącym i medialnym tematem. Danuta Kielczewska wielokrotnie opowiadała o nowych odkryciach w radio i na łamach prasy.

– Była zawsze bardzo szczodra i wspominała mnie [w tych wywiadach] jako swoją studentkę – mówi Urszula Gołębowska. Zawsze uważała za istotne, aby podkreślić wkład swoich młodszych współpracowników – dodaje Paweł Przewłocki.

Będziemy pamiętać Dankę jako dobrego przyjaciela, opiekuna i świetnego fizyka. Była dla nas naukowym autorytetem i dzięki niej wielu z nas związało swoje plany zawodowe z fizyką cząstek.

Tworzenie Polskiej Grupy Neutrinowej (PGN) wspomina Ewa Rondio. Tworzenie zespołu zaczęło się w 2000 roku, kiedy pojawił się pomysł wejścia do eksperymentalnej fizyki neutrin większą grupą. Idea ta wiązała się z planowanymi eksperymentami na wiązce neutrinowej wysyłanej z CERN-u do Gran Sasso. Nowy zespół miał w nich wziąć udział. Danusia została oczywiście zaproszona do udziału jako jedyny w Polsce ekspert z dużym doświadczeniem w tej dziedzinie. Po wstępnych dyskusjach wyłoniła się grupa złożona z fizyków pracujących w czterech miastach: Katowicach, Krakowie, Warszawie i Wrocławiu. Pierwsze decyzje dotyczyły wyboru eksperymentu, do którego chcielibyśmy się przyłączyć. Ważne dyskusje w tej sprawie odbyły się podczas konferencji Epiphany 2000, gdzie prezentowane były plany eksperymentów Opera i Icarus. Decyzja zapadła niewiele później – kluczowym argumentem był fakt, że eksperyment Icarus planował wykorzystać nową obiecującą technikę detekcji neutrin opartą na komorze projekcji czasowej wypełnionej ciekłym argonem. Udział Danki w tej decyzji był istotny, miała wyczucie ważności tematyki, a także potrafiła ocenić, gdzie w eksperymencie mogą być wykorzystane dotychczasowe doświadczenia członków zespołu.

Już wtedy Danką podkreślała wagę modelowania oddziaływań neutrin, a zwłaszcza poprawienie modeli przy energiach poniżej kilkuset MeV, gdzie trzeba uwzględnić

efekty jądrowe. Tematyka ta bardzo szybko zainteresowała grupę teoretyków z Uniwersytetu we Wrocławiu z Janem Sobczykiem na czele. Polska Grupa Neutrinowa włączyła się w wiele elementów analizy danych zebranych podczas testów pierwszego modułu Icarusa, które odbyły się na powierzchni (detektory neutrin zwykle umieszczone są pod ziemią, aby osłonić je od mionów produkowanych w atmosferze przez cząstki promieniowania kosmicznego). Niestety wypadek w laboratorium Gran Sasso znacząco opóźnił instalację detektora Icarus.

W tej sytuacji PGN musiała podjąć kolejne ważne decyzje dotyczące przyszłości. W tym czasie grupa była już dobrze zorganizowana, miała kilku doktorantów i zaczęła zdobywać doświadczenia w nowej dla większości z nas dziedzinie. Danką zaproponowała rozpoczęcie rozmów z organizującym się eksperymentem T2K. Przygotowała wizytę japońskiego szefa T2K w Warszawie; oprócz seminarium i dyskusji odbyło się również długie nieformalne spotkanie u niej w domu. Te zdarzenia dały początek wysiłkom mającym na celu włączenie polskiej grupy do eksperymentu T2K. Wysiłki te zakończyły się pełnym sukcesem w 2006 roku. Wejście do tego znakomitego eksperymentu zawdzięczamy Dankę. Jej rola była zasadnicza w ocenie ważności planowanych pomiarów, nawiązaniu kontaktów, wprowadzeniu grupy do eksperymentu, a potem zdefiniowaniu obszarów aktywności.

Michał (Mojsej) Żyw (1905–1943)

Lech Maligranda [§], Jarosław G. Prytuła [‡]

[§] Wydział Nauk Technicznych i Matematyki, Uniwersytet Technologiczny, Luleå, Szwecja

[‡] Wydział Mechaniki i Matematyki, Lwowski Uniwersytet Narodowy im. Iwana Franko, Lwów, Ukraina

1. Wstęp

Michał Żyw był polskim fizykiem wyznania mojżeszowego, zajmującym się głównie promieniotwórczością oraz fizyką jądra atomowego. Większość prac poświęcił promieniotwórczości i w tej dziedzinie odnosił sukcesy. W 1935 roku został magistrem fizyki na Uniwersytecie Warszawskim. Opublikował jedenaście prac naukowych.

Zainteresowaliśmy się Żywem ze względu na trzy fakty. Na konferencji „Exact Sciences and Mathematics in Central-Eastern Europe From the Mid-XIX Century Till WW II” (Kraków, 11–13.06.2015 r.), na której byliśmy obecni, profesor Andrzej Kajetan Wróblewski z Uniwersytetu Warszawskiego wygłosił odczyt *Physics in Poland (1918–1939)*, w którym to pojawiała się nazwisko Michała Żywa jako ważnego fizyka Polski przedwojennej. Jednocześnie padła informacja, że niewiele wiadomo z jego życia np. z odczytu wynikało, że nieznana jest nawet jego data urodzenia. To po pierwsze, a po drugie usłyszeliśmy też pytanie: w jaki sposób Żyw był związany ze Lwowem? Postanowiliśmy rozwiązać tę zagadkę. Zostały odszukane dokumenty Żywa w archiwum we Lwowie i potrafimy podać pewne dane dotyczące jego osoby. Nie udało się natomiast odszukać zdjęcia, na którym Żyw byłby dobrze widoczny. Po trzecie, odnalezione zostały niektóre manuskrypty i rękopisy złożonych do druku prac matematyków, fizyków i astronomów lwowskich z lat 1940–1941, które miały być opublikowane w *Zapiskach Naukowych Lwowskiego Państwowego Uniwersytetu im. Iwana Franko, Wydziału Matematyczno-Fizycznego*, Tom I w 1940 lub 1941 roku. Wśród tych prac na liście była też praca Żywa *O rozbiciu jądra uranu* [Z11]. Niestety, do tej pory nie udało się odnaleźć tego manuskryptu (choć w 2014 roku zostały odnalezione pewne maszynopisy z listy) złożonego do opublikowania w *Zapiskach*, a pierwszym z nich była praca fizyka Antoniego Raabego (1915–1942). Praca ta została już opublikowa-

na w [Ra14] wraz z życiorysem Raabego [MP14]. Zostały odnalezione kolejne maszynopisy oraz rękopisy i planowane jest ich opublikowanie w przyszłości, a historia związana z tymi pracami jest opisana w [MP16]. Mamy nadzieję, że manuskrypt Żywa [Z11] też się kiedyś odnajdzie.

2. Biografia

Michał (Mojsej) ¹ Żyw urodził się 16 sierpnia 1905 roku w Lidzie koło Grodna. Był Polakiem wyznania mojżeszowego, co obecnie zyskało formę Polak pochodzenia żydowskiego.

Świadectwo dojrzałości nr 39 uzyskał 8 czerwca 1925 roku w Gimnazjum Męskim im. Jakóba Finkla w Warszawie. 28 września 1925 roku został immatrykulowany na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Warszawskiego pod numerem 19585 i w latach 1925–1932 studiował fizykę na tym Wydziale. W 1932 roku uzyskał dyplom magistra fizyki 1 stopnia nr 282. Niestety, jak nas poinformowało Archiwum Uniwersytetu Warszawskiego, nie zachowała sięteczka studencka Żywa i dane pochodzą z wpisu do albumu studentów.

Zachowała się jednakteczka M. Żywa w Archiwum we Lwowie [Zy40]. Z tłumaczenia na ukraiński polskiego dyplomu magistra filozofii z dnia 4 października 1932 roku czytamy, że Żyw zdał następujące egzaminy wraz z ocenami: geometria analityczna – 3, analiza z elementami algebry wyższej – 4, mechanika teoretyczna – 3, podstawy nauk filozoficznych – 4, fizyka teoretyczna – 5, fizyka eksperymentalna – 4 oraz

1. W niektórych dokumentach, jak np. ewidencyjna karta osobowa z 7 lutego 1940 roku, pojawiają oprócz imienia Michał także Mojsej, Moisiej i Mojszej, a imię odojcowskie (otczestwo) to: Szolomowicz.

przedstawił z oceną dobrą pracę magisterską na temat *Ładunek atomów odskoku radu D*. Praca ta została opublikowana w [Z1] jako jego pierwsza publikacja. Wygłosił też dwa odczyty [Z16] i [Z17] na ten temat.

Żyw w latach 1930–1939 współpracował jako wolontariusz z Pracownią Radiologiczną Towarzystwa Naukowego Warszawskiego im. Mirosława Kernbauma w Warszawie², której kierownikiem był Ludwik Wertenstein³. Żyw nie był zatrudniony, gdyż sytuacja finansowa pracowni nie była dobra. Nie wiadomo z czego utrzymywał się w tym czasie. Z adresu w pracy [Z2] możemy wnosić, że w 1933 roku pracował w Laboratorium Naukowym Instytutu Radiotechnicznego w Warszawie. Może pracował nawet jakiś czas w tym Instytucie. W okresie 1938–1939 pracował jako adiunkt w Laboratorium Fizyki Atomu w Wolnej Wszechnicy Polskiej w Warszawie. Była to pracownia utworzona w 1934 roku pod kierownictwem Wertensteina. Jednocześnie pracował też w Pracowni Radiologicznej i współpracował z Oskarem Stelmanem nad ultradźwiękami, o czym dowiadujemy się z życiorysu Żywa (Ryc. 1).

Józef Rotblat⁴, autorytet w dziedzinie promieniotwórczości, przy wspominaniu uczniów Wertensteina

tak pisze o zdolnościach Żywa, z którym razem pracował w Pracowni i spotykał się na co dzień ([Ro65, str. 637]):

Wspomnę tu przede wszystkim Michała Żywa, bo-
daj że jednego z naszych najzdolniejszych fizyków,
który miał nadzwyczajną intuicję naukową i wspa-
niały zmysł doświadczalny.

Natomiast Andrew Brown pisząc o życiu i twórczo-
ści Rotblata informuje (por. [Br12, str. 9]):

Laboratorium Radiologiczne było tolerancyjnym
schronieniem dla młodych naukowców żydow-
skich, którym odmówiono kariery naukowej w in-
nych miejscach. Rotblat dołączył do tej utalentowa-
nej grupy, wśród której byli Józef Hershaft, Abram
Wronsberg i Michał Żyw⁵.

Bardzo pomocny w poszukiwaniach informacji
o Żywie okazał się list od prof. Wróblewskiego z 18
czerwca 2015 roku, jaki otrzymał pierwszy z autorów
niniejszego tekstu. Przytoczmy więc informacje w nim
zawarte dotyczące Żywa.

Najpierw Żyw. Informacje na jego temat są wy-
jątkowo skąpe. Jego nazwisko jako współpracow-
nika Pracowni Radiologicznej pojawia się w *Spra-
wozданиях* Ludwika Wertensteina pisanych dla
Roczników TNW począwszy od 1932 r. aż do 1939
(ostatnie dane pochodzą już z czasów powojen-
nych, od małżonki Wertensteina, która przeżyła).

Na temat Pracowni Radiologicznej jest obszer-
ne opracowanie prof. Hurwica w „Postęпах Fیزی-
ki”. Artykuł Hurwica jest na s. 151. Dalej, po s. 157
jest fotografia zbiorowa (niestety marnej jakości),
na której widać głowę Żywa.

Łącznie Żyw opublikował jako autor lub współ-
autor 6 „twardych” artykułów. W *Sprawozda-
niach* Wertensteina jest mowa też o innych ba-
daniach Żywa, ale nie zakończonych publikacją.

2. Pracownia Radiologiczna Towarzystwa Naukowego Warszawskiego im. Mirosława Kernbauma została założona oficjalnie w sierpniu 1913 roku i była pierwszą pracownią badania promieniotwórczości, która odegrała istotną rolę w tych badaniach. Fundatorem był Józef Kernbaum, ojciec Mirosława oraz Kasa Mianowskiego. Maria Skłodowska-Curie zgodziła się zdalnie pełnić kierownictwo Pracowni i skierowała do niej swoich najzdolniejszych asystentów z Polski: Jana Kazimierza Danysza i Ludwika Wertensteina. Obaj przybyli do kraju i z zapalem zabrali się do organizowania nowej placówki. Otwarcie nastąpiło w lutym 1914 roku. Mirosław Kernbaum (1882–1911) był autorem pionierskich prac z zakresu radiolizy wody wykonanych w paryskiej pracowni Marii Skłodowskiej-Curie. Po powrocie do Krakowa, w wyniku splotu tragicznych okoliczności, popełnił samobójstwo w wieku zaledwie 29 lat (por. [Hu86]).

3. Ludwik Wertenstein (ur. 16 kwietnia 1887 w Warszawie – zm. 18 stycznia 1945 w Budapeszcie) był w latach 1913–1914 asystentem, 1921–1925 – zastępcą kierownika, a od roku 1926 – kierownikiem Pracowni Radiologicznej TNW (formalnie kierowanej przez Marię Skłodowską-Curie do 1926). W 1918 roku został mianowany profesorem radiologii Wolnej Wszechnicy Polskiej, w latach 1927–1930 był dziekanem Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego tej uczelni, zaś w latach 1933–1935 prowadził wykłady z mechaniki teoretycznej i termodynamiki w Oddziale Wolnej Wszechnicy Polskiej w Łodzi. Był współzałożycielem (1920) Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Jego żoną była Matylda z d. Meyer (8 IX 1885 – 10 VI 1952). Ich dzieci: córka Wanda (1917–2003) i syn Piotr (ok. 1920–2003). Więcej informacji o Ludwiku znajdziemy np. w https://pl.wikipedia.org/wiki/Ludwik_Wertenstein

4. Józef Rotblat (ur. 4 listopada 1908 w Warszawie – zm. 31 sierpnia 2005 w Londynie), polski fizyk i radiobiolog żydowskiego pochodzenia, współzałożyciel i lider pacyfistycznego ruchu naukowców

Pugwash, laureat Pokojowej Nagrody Nobla w 1995 roku. Współtwórca pierwszej bomby atomowej. Więcej informacji o Rotblacie znajdziemy np. w M. C. Underwood, *Józef Rotblat: jego życie i osiągnięcia* (tłumaczyła M. Staszal), *Postępy Fizyki* 60 (2009), z. 5, 198–204, J. Komender, *Życie i działalność profesora Józefa Rotblata*, *Nauka* 3 (2011), 157–161 i https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Rotblat.

5. W roku 1934 skład Pracowni Radiologicznej był następujący (zob. [Sk34, str. 12]): kierownik honorowy – Maria Skłodowska-Curie, kierownik – Ludwik Wertenstein oraz współpracownicy: Marian Danysz, Józef Hershaft, Henryk Herszfeld, Józef Rotblat, Oskar Stelman, Zofia Wasiutyńska, Abram Wronsberg i Michał Żyw. W roku akademickim 1936/1937 zaś (zob. [Sk37, str. 14]): kierownik – Ludwik Wertenstein, asystent – Zofia Wasiutyńska i współpracownicy: Wacław Michał Bargiel, Halina Chęcińska, Jerzy Grünstein, Henryk Herszfeld, Teofil Lisiński, Ewa Nuswaldówna, Józef Rotblat, Halina Templówna, Abram Wronsberg i Michał Żyw.

Trzeba pamiętać, że Żyw nie był zatrudniony w Pracowni Radiologicznej, lecz jedynie był wolontariuszem. Pracownia była permanentnie niedofinansowana i tylko w niektórych okresach miała jednego płatnego asystenta. Brak danych o tym skąd Żyw brał pieniądze na utrzymanie. Data urodzenia nie jest znana, ale w początkach lat 1930 był prawie na pewno studentem, tak jak Marian Danysz (z którym razem prowadzili badania); Danysz był studentem elektrotechniki na Politechnice Warszawskiej, ale znał Wertensteina od dziecka ze względu na swego ojca Jana Kazimierza Danysza – dlatego zainteresował się fizyką i spędzał wolny czas w Pracowni Radiologicznej.

Żyw występuje zwykle jako Michał, ale w artykule Konstantego Zakrzewskiego „After six years of war” Acta Phys. Polonica 9, s. 1 (1947), gdzie są podsumowane straty osobowe fizyki polskiej podczas wojny i okupacji, jest informacja: „Moisiej Żyw, Ph.D., collaborator of late prof. L. Wertenstein, perished at the slaughter of the Warsaw Ghetto in 1943”. Stąd mamy przybliżoną datę śmierci oraz informację, że swe żydowskie imię zwykle zmieniał na polsko brzmiące: Michał.

Zupełnie nie wiadomo mi (ani np. Hurwicowi) skąd wzięły się jego związki ze Lwowem. Jeżeli Pan Profesor coś ma, to proszę o podzielenie się za mną tą informacją.

Po informacjach o dacie i miejscu urodzenia Żywa przechodzimy więc do jego pobytu we Lwowie. Wybuch II wojny światowej, we wrześniu 1939 roku, spowodował wyjazd z Warszawy uczonych (również tych pochodzenia żydowskiego), którzy uciekając przed Niemcami schronili się np. we Lwowie, jak zrobili to matematycy mgr Stanisław Hartman, dr Marian Mojżesz Jakob, doc. Bronisław Knaster, prof. Władysław Nikliborc, doc. Stanisław Saks, dr Edward Szpilrajn (Marczewski), mgr Menachem Wojdyśławski, mgr Zygmunt Zahorski, fizyk dr Bruno Winawer, radiochemik prof. Henryk Herszfeld, astronom mgr Ludwik Zajdler oraz inżynier prof. Janusz Groszkowski⁶.

U Steinhausa czytamy (zob. [St92, str. 176]):

Trzeba wiedzieć, że skład ludności lwowskiej zmienił się znacznie przez napływ uchodźców z Warsza-

Michał Żyw.

Я народився 16 серпня 1905 р. в Мзж. В році 1925
вступив на математичну секцію Математично-
Фізичного факультету Львівського Університету.
Після трьох років студії перейшов на фізику. Закінчив
здобувши в 1931 році. (Немає згадки про фізику). В
1930 році працював в Радіофізичній лабораторії Львів-
ського Університету. Після цього працював в Радіофізичній
лабораторії Львівського Університету до останніх часів.
В останні роки працював в Радіофізичній
лабораторії.
В 1938 році я став асистентом в Радіофізичній лабораторії
Академії наук України Львівського Університету. Після
приїзду в місто в Радіофізичній лабораторії і в
цей час працюю з О. Євдокимовим про загальну
теорію відносності.

Michał

Львів, 7.ІІ.1940

Ryc. 1. Życiorys Żywa z 7 lutego 1940 roku, napisany po ukraińsku

wy, z Krakowa, Poznańskiego, z całej zachodniej Polski. „Ludność” się podwoiła. Z uchodźców 75 % stanowili Żydzi.

Wiadomo, że Michał Żyw też przybył do Lwowa i pracował w Katedrze Fizyki Eksperymentalnej Państwowego Uniwersytetu im. Iwana Franko. Jest on bowiem na obu listach obsad Katedry Fizyki Eksperymentalnej, kierowanej przez Stanisława Lorie, ze stycznia 1940 roku i z 19 października 1940 roku. Nie wiadomo tylko kiedy dokładnie znalazł się we Lwowie pod koniec 1939 roku, jednak prawdopodobnie było to w okolicach 3 listopada 1939 roku, gdyż odpis dyplomu magisterskiego Żywa oraz zaświadczenie L. Wertensteina są właśnie z tą datą (zob. [Zy40]).

Roman Ingarden informuje w [In09], że miał zajęcie z asystentem M. Żywem w 4 semestrze roku akademickiego 1939/1940 oraz w 5 semestrze roku akademickiego 1940/1941 z laboratorium II fizyki eksperymentalnej w ilości odpowiednio 54 i 36 godzin.

W Archiwum Uniwersytetu Lwowskiego zostały odnalezione dokumenty z 7 lutego 1940 roku, wypełnione po ukraińsku, przez Mojseja Żywa: życiorys (Ryc. 1), „Osobowa karta ewidencyjna kadrów” i spis prac (Ryc. 2). W karcie wypisał on dobrą znajomość języka polskiego i rosyjskiego oraz słabą angielskiego, francuskiego, niemieckiego i ukraińskiego. Dowiadujemy się, że jest nieżonaty. Ponadto znajdujemy tam jego adres zamieszkania, tzn. Lwów ul. Henina 22/3⁷.

6. Janusz Groszkowski (1898–1984), Stanisław Hartman (1914–1992), Henryk Herszfeld (1883–?), Marian Mojżesz Jakob (1900–1944), Bronisław Knaster (1893–1980), Władysław Nikliborc (1899–1948), Stanisław Saks (1897–1942), Edward Szpilrajn-Marczewski (1907–1976), Bruno Winawer (1883–1944), Menachem Wojdyśławski (1918–1942), Zygmunt Zahorski (1914–1998), Ludwik Zajdler (1905–1985).

7. Ulica Henina była nazwana w 1908 roku na cześć porucznika Henina, który kierował bohaterską obroną klasztoru Karmelitów

Prof. Henryk Herszfinkel i asystent Michał Żyw w dniach 16–25 listopada 1940 roku byli na konferencji w Instytucie Fizyki Akademii Nauk ZSRR w Moskwie. Możliwe też, że opublikowali artykuły w materiałach konferencyjnych.

26 maja 1941 roku Żyw złożył podanie do prorektora Lwowskiego Państwowego Uniwersytetu o dopuszczenie do egzaminów doktorskich (kandydakich) wraz z opinią Lorii, gdzie podał plan zdawania egzaminów ([Zy41]): język angielski – koniec czerwca 1941, specjalistyczny egzamin z fizyki – wrzesień 1941, fizyka ogólna – styczeń 1942 oraz materializm dialektyczny i historyczny – kwiecień 1942. Loria w opinii napisał:

Obszarem jego specjalnych zainteresowań jest fizyka jądra i nauka o promieniotwórczości. Jest on dobrze obeznany z literaturą naukową, ma dobre podstawy teoretyczne i eksperymentalne oraz jest dojrzały, by starać się o stopień kandydata nauk.

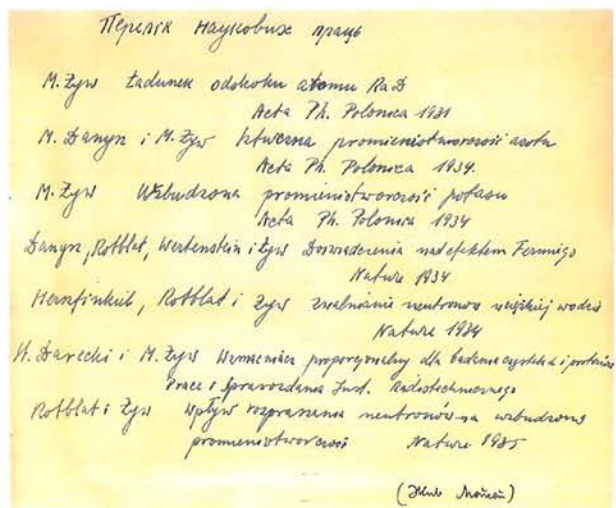
Z powodu wybuchu wojny niemiecko-radzieckiej 22 czerwca 1941 roku cały plan związany z doktoratem się nie powiódł. Na tłumaczeniu dyplomu z języka polskiego na ukraiński znajdujemy zapis, że 23 czerwca 1941 roku Żyw odebrał oryginały zaświadczeń. Po zajęciu Lwowa przez Niemców 30 czerwca 1941 roku i włączeniu Lwowa 1 sierpnia 1941 roku do Generalnej Guberni (jako dystrykt galicyjski) prawdopodobnie powrócił do Warszawy, jak uczyniło to wiele osób związanych z Uniwersytetem (np. matematycy Hartman, Marczewski, Saks, Zahorski i fizyk Winawer oraz inżynier Groszkowski). Nic nam nie wiadomo o rodzicach i rodzeństwie Żywa.

Michał Żyw zginął w getcie warszawskim w 1943 roku. Informację znajdujemy u Zakrzewskiego [Za47, str. 5] oraz w materiałach nadesłanych przez Matyldę Wertensteinową i opublikowanych w „Sprawozdaniach z czynności naukowych”, Rocznik Towarzystwa Naukowego Warszawskiego 31–38 (1938–1945), str. 40.

3. Osiągnięcia naukowe Michała Żywa

Rozpocniemy od kopii załączonego spisu prac Żywa (Ryc. 2), który sporządził po ukraińsku będąc we Lwowie. Jest tu wymienione 7 prac, choć my w spisie mamy ich w tej chwili 11.

W 1934 roku Marian Danysz (syn Jana)⁸ i Michał Żyw otrzymali sztuczny promieniotwórczy fluor, bombardując azot cząstkami α . Informacja o nowym



Fot. 2. Spis prac naukowych Żywa napisanych do 1940 roku

radioizotopie, fluor 17, została opublikowana w *Nature* nie przez nich, ale przez Wertensteina [Z3]. Sami Danysz i Żyw opublikowali ją w *Acta Physica Polonica* [Z3] i w *Sprawozdaniach Towarzystwa Naukowego Warszawskiego* [Z5] oraz 18 kwietnia 1934 roku poinformowali w odczycie na ten temat na posiedzeniu Polskiego Towarzystwa Fizycznego (PTF) [Z18]. M. Danysz wspomina Wertensteina i Żywę w [Da65, str. 632].

W analogiczny sposób Żyw otrzymał sztuczny promieniotwórczy skand z potasu i opublikował wynik w *Nature* [Z6] i w *Acta Phys. Polonica* [Z7] oraz 12 grudnia 1934 roku podał go w odczycie na posiedzeniu PTF [Z17].

w Warszawie), fizyk-eksperymentator w dziedzinie fizyki jądra atomowego i cząstek elementarnych, współodkrywcą jednego z izotopów promieniotwórczych fluoru (1934, z M. Żywem), współodkrywcą (wraz z Jerzym Pniewskim) pierwszego hiperjądra (1952) i stanów izomerycznych hiperjąder (1962) oraz współodkrywcą podwójnego hiperjądra (1962). Studiował na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Podczas studiów pracował jako wolontariusz w Pracowni Radiologicznej Towarzystwa Naukowego Warszawskiego u Ludwika Wertensteina. Po studiach pracował w Instytucie Radowym, Laboratorium Fizycznym, Państwowego Instytutu Telekomunikacyjnego (1937–1939), na Uniwersytecie Warszawskim (od 1947 roku Katedra Fizyki Doświadczalnej, Katedra Atomistyki, Katedra Cząstek Elementarnych, Zakład Fizyki Wielkich Energii), w Instytucie Badań Jądrowych (Laboratorium Promieni Kosmicznych, Zakład Fizyki Wielkich Energii). Za granicą przebywał i pracował na Uniwersytecie w Bristolu (1949–1952), w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej koło Moskwy (1956–1959 jako zastępca dyrektora). Był profesorem Uniwersytetu Warszawskiego (od 1954 roku) i członkiem Polskiej Akademii Nauk (od 1961 roku). Jego uczniowie zapamiętali go jako profesora z fenomenalną intuicją naukową i zamyśleniem do szybkiej jazdy samochodem.

Bosych w czasie szturmów Lwowa przez wojska szwedzkie, zajętego 6 września 1704 roku. Poległ Hening i jego współtowarzysz, porucznik Wąsowicz, z częścią załogi. Reszta ratowała się ucieczką.

8. Marian Danysz (ur. 17 marca 1909 w Paryżu – zm. 9 lutego 1983

J. Rotblat napisał o odkryciu ([Ro65, str. 636]):

W niecałe 3 miesiące po odkryciu przez Joliotów sztucznej promieniotwórczości Danysz i Żyw odkryli promieniotwórczy fluor.

Mamy to odkrycie odnotowane także w książce o nauce polskiej z 1981 roku, gdzie dziennikarz Maciej Iłowiecki wspomina naszego bohatera pisząc ([Ił81, str. 260]):

W trzy miesiące po odkryciu przez Irenę i Fryderyka Joliot-Curie sztucznych izotopów promieniotwórczych (w Paryżu w 1934 r.), w warszawskiej Pracowni Radiologicznej otrzymano pierwszy promieniotwórczy fluor i skand (Marian Danysz i Michał Żyw). Wkrótce potem Józef Rotblat otrzymał promieniotwórczy kobalt (izotop o rozległym zastosowaniu w medycynie i technice).

Dodajmy do tego informację A. K. Wróblewskiego z wyżej już wspomnianego listu:

Kiedy Danysz i Żyw odkryli nowy radioizotop, fluor 17, to informację o tym opublikowali w *Nature* (134, s. 564 (1934)) nie oni, ale Werternstein, który napisał: „Messr. Danysz i Żyw working in my laboratory... etc.” Z tego wynika, że ponieważ obaj odkrywcy byli wtedy nieznanymi młodzieńcami, to Werternstein chciał ich przedstawić światu. Pod swoim nazwiskami Danysz i Żyw opublikowali to odkrycie w *Acta Phys. Polonica* 3, s. 485 (1934).

Odkrycie promieniotwórczego fluoru i skandu odnotowane zostało w książkach Hurwica [Hu93, str. 103], Wróblewskiego [Wr06, str. 515] i Browna [Br12, str. 10] oraz w pracach np. Rotblata [Ro65, str. 636], Hurwica [Hu77, str. 266], [Hu86, str. 162-163], Piecha [Pi83, str. 244], Lipkowskiego [Li10, str. 65 i 86], Skwarzeca [Sk11, str. 264] i Wróblewskiego [Wr14, str. 267].

Ponadto Żyw, wspólnie z M. Danyszem, J. Rotblatem i L. Werternsteinem w [Z8], opublikowali wyniki badań nad efektem Fermiego, oraz w pracy z J. Rotblatem odkryli zjawisko spowolnienia neutronów w ciężkiej wodzie [Z10] (próbę wyjaśnienia tego zjawiska mamy w [He38, str. 22]).

Jakikolwiek opis osiągnięć fizyki przedwojennej wspomnieć musi o osiągnięciach Pracowni Radiologicznej TNW. I tak fizyk Tadeusz Piech (1901–1990), opisując w 1983 roku osiągnięcia fizyki tego okresu, wspomina też o osiągnięciach Pracowni Radiologicznej TNW ([Pi83, str. 244]):

(...) prace samego Werternsteina oraz pokaźnej liczby jego współpracowników szły w dwóch kierunkach. Przede wszystkim zajmowano się aktualnymi zagadnieniami promieniotwórczości. W tej dziedzinie Pracownia może się poszczycić takimi wynikami, jak dokładne oznaczenie szeregu

fizykochemicznych własności radonu (Werternstein), badania nad „efektem Fermiego” (Werternstein, Rotblat, Marian Danysz – syn Jana, M. Żyw) oraz odkrycie dwóch nowych radiopierwiastków (izotopów promieniotwórczych), radiofluoru (Danysz i Żyw), powstającego przez bombardowanie azotu promieniami α , i radioskandu (Żyw), powstającego w analogicznych warunkach z potasu.

Polski fizykochemik Józef Hurwic (ur. 23 maja 1911 w Warszawie), zmuszony do opuszczenia Polski po wydarzeniach marcowych 1968 roku, tak opisał z Marsylii historię Pracowni Radiologicznej, gdzie oprócz już wspomnianych osiągnięć Danysza i Żywa (promieniotwórczy radiofluor) oraz Żywa (radioskand) odnotowuje jeszcze, że ([Hu86, str. 162-163]):

Herszfinkel wraz z Józefem Rotblatem i Żywem [Z9] badali spowalnianie neutronów w wodzie zwykłej i ciężkiej, mierząc aktywność promieniotwórczą wzbudzaną w srebrze przez spowolnione neutrony. (...) Stwierdzili, że neutrony po przejściu przez warstwę wody ciężkiej wzbudzają mniejszą aktywność niż po przejściu przez taką samą warstwę wody zwykłej. Prace te znalazły później zastosowanie do wyboru moderatora w różnych reaktorach uranowych.

Podziękowanie. Dziękujemy Andrzejowi Kajetanowi Wróblewskiemu z Warszawy za list z 18 czerwca 2015 roku z informacjami o Michale Żywie i za zgodę na opublikowanie jego fragmentów oraz także za sprostowanie pewnych danych w przypisie ósmym dotyczących promotora jego pracy doktorskiej – Mariana Danysza, Walerianowi Piotrowskiemu z Warszawy za informacje o Michale Żywie z Archiwum Uniwersytetu Warszawskiego oraz Archiwum Lwowskiego Państwowego Uniwersytetu im. Iwana Franko za skany z teczeki osobowej M. Żywa.

4. Spis prac naukowych Żywa

[Z1] *Ładunek atomów odskoku radu D*, *Acta Phys. Polonica* 1 (1932), 259–269 [rękopis otrzymany dnia 23 I 1932].

[Z2] (współautor S. Dierewianko⁹), *Wzmacniacz lampowy do rejestracji słabych impulsów*, *Przegląd Radiotech-*

9. Stefan Dierewianko (zmienił nazwisko na Darecki w 1934 roku) (15 VIII 1906 Warszawa – 15 I 1990 Warszawa), pionier polskiej radiotechniki, profesor Politechniki Warszawskiej, redaktor wielu specjalistycznych czasopism: „Przeglądu Telekomunikacyjnego”, „Wiadomości Telekomunikacyjnych”, „Kwartalnika Telekomunikacyjnego”, „Nowego Radioamatora Polskiego” i innych. Więcej o nim można przeczytać w https://www.google.se/?gws_rd=ssl#q=Stefan+Dierewianko.

- niczny 12 (1934), z. 1–2, 7–8 i dalsza część 12 (1934), z. 3–4, 12–15 [wpłynęła w kwietniu 1933]¹⁰.
- [Z3] (współautor M. Danysz), *An artificial radioelement from nitrogen* (a letter to the Editor sent by L. Wertenstein), *Nature* 133 (1934), 564–565 [rękopis 14 IV 1934].
- [Z4] (współautor M. Danysz), *Un radioélément nouveau* [Nowy radjopierwiastek], *Acta Phys. Polonica* 3 (1934), 485–492 [rękopis 24 IX 1934].
- [Z5] (współautor M. Danysz), *Nowy radjopierwiastek*, Sprawozdania z posiedzeń Tow. Naukowego Warszawskiego, Wyd. III Nauk Mat.-Fiz. 27 (1934), z. 1–6, 59–65.
- [Z6] *Induced radioactivity of potassium* [Wzbudzona promieniotwórczość potasu], *Nature* 134 (1934), 64–65 [wpłynęła 14 VII 1934].
- [Z7] *Radioactivité provoquée du potassium* [Wzbudzona promieniotwórczość potasu], *Acta Phys. Polonica* 3 (1934), 499–502 [rękopis 24 IX 1934].
- [Z8] (współautorzy M. Danysz, J. Rotblat i L. Wertenstein), *Experiments on the Fermi effect* [Doświadczenia nad efektem Fermiego], *Nature* 134 (1934), 970–971 [wpłynęła 22 XII 1934].
- [Z9] (współautorzy H. Herszfeld i J. Rotblat), *Loss of velocity of neutrons in heavy water* [Zwalnianie neutronów w ciężkiej wodzie], *Nature* 135 (1935), 653–654 [wpłynęła 27 IV 1935].
- [Z10] (współautor J. Rotblat), *Effects of scattering neutrons on induced radio-activity* [Wpływ rozpraszania neutronów na wzbudzoną promieniotwórczość], *Nature* 137 (1936), 185–186 [wpłynęła 1 II 1936].
- [Z11] *O rozbiciu jądra uranu*, *Zapiski Naukowe Lwowskiego Państwowego Uniwersytetu im. Iwana Franko. Wydział Matematyczno-Fizyczny*, Tom I, Lwów 1940, zagubiona.

Ponadto w „Sprawozdaniach z czynności naukowych. Rocznik Towarzystwa Naukowego Warszawskiego” (SprRTNW) podane zostały następujące wykonane lub będące w toku badań prace:

- [Z12] *O zanikaniu ugrupowań promieniotwórczych wskutek adsorpcji*, *Prace VI-go Zjazdu Fizyków 1932* (29 IX – 2 X 1932 Warszawa). Jednak na Zjeździe wygłosił inny odczyt [Z17].
- [Z12] L. Wertenstein, M. Żyw i J. Rotblat, *Wzbudzenie sztucznej promieniotwórczości neutronami*, SprRTNW 27 (1934), str. 35.
- [Z13] *Dezintegracja za pomocą neutronów*, praca w toku badań, SprRTNW 26 (1933), str. 37.
- [Z14] (współautor M. Danysz), *Sztuczna promieniotwórczość azotu*, *Acta Phys. Polonica* 1934, anon-sowana, ale nie ma jej w wyżej wymienionym czasopiśmie.

10. Żyw w swoim spisie prac – Ryc. 2, wypisał pracę S. Darecki i M. Żyw, *Wzmacniacz proporcjonalny dla badania cząstek α i protonów*, *Prace i Sprawozdania Instytutu Radiotechnicznego*. Wydaje się, że jest to praca [Z2]. Żyw swój spis prac pisał we Lwowie po latach z pamięci i dlatego pewne tytuły jego prac nie są zgodne z faktycznymi tytułami.

5. Odczyty Michała Żywa

Wymieńmy jeszcze, w porządku chronologicznym, odczyty wygłoszone przez Żywą na Posiedzeniach Polskiego Towarzystwa Fizycznego, Oddział w Warszawie, które zostały odnotowane w Rocznikach Towarzystwa Naukowego Warszawskiego (RTNW) bądź na Zjeździe Fizyków:

- [Z16] *O ładunku atomów odskoku RaD* (odczyt 30 IV 1932), RTWNW 25 (1932), 27.
- [Z17] *O ładunku atomów odskoku Radu D* (odczyt 1 X 1932 na VI Zjeździe Fizyków Polskich), streszczenie w: *Program VI Zjazdu Fizyków Polskich w Warszawie* 29 IX – 2 X 1932, 21.
- [Z18] (wspólnie z M. Danysz), *Nowy radjopierwiastek* (odczyt 18 IV 1934), RTNW 27 (1934), 19.
- [Z19] *Promieniotwórczość wzbudzona potasu* (odczyt 12 XII 1934), RTNW 28 (1935), 8.
- [Z20] (wspólnie z M. Danysz, J. Rotblat i L. Wertenstein), *Przyczynek do znajomości efektu Fermiego* (odczyt 12 XII 1934), RTNW 28 (1935), 11.

6. Literatura

- [Br12] A. Brown, *Keeper of the Nuclear Conscience. The Life and Work of Joseph Rotblat*, Oxford Univ. Press, New York 2012.
- [Da65] M. Danysz, *Wspomnienie o Ludwiku Wertensteinie*, *Postępy Fizyki* 16 (1965), z. 6, 631–632.
- [He38] F. A. Heijn, *Radioactivity induced by neutrons*, doktorat, Delft 1938, 96 stron.
- [Hu77] J. Hurwic, *The Polish contribution to mathematical and physical sciences in the years 1918–1970*, *Organon* 12/13 (1976/1977), 261–274.
- [Hu86] J. Hurwic, *Pracownia Radiologiczna im. Mirosława Kernbauma przy Towarzystwie Naukowym Warszawskim. W 40. rocznicę śmierci Ludwika Wertensteina*, *Postępy Fizyki* 37 (1986), z. 2, 151–168.
- [Hu93] J. Hurwic, *Maria Skłodowska-Curie i promieniotwórczość*, Wydawnictwo Edukacyjne Zofii Dobkowskiej, Warszawa 1993; wyd. uzupełnione i poszerzone, Warszawa 2001 [Żyw, str. 103, 122, 136–polski fizyk jądrowy].
- [Il81] M. Iłowiecki, *Dzieje Nauki Polskiej*, Wyd. Interpress, Warszawa 1981.
- [In09] R. S. Ingarden, *My reminiscence from the Lvov mathematical school (1932–1945)*, *Banach Center Publ.* 87 (2009), 91–93.
- [Li10] J. Lipkowski, *Chemia fizyczna i supramolekularna*, w: „Polskie i światowe osiągnięcia nauki”, nauki ścisłe, Fundacja Rozwoju Nauki, Rozdział 3, Warszawa 2010, 65–110.
- [MP14] L. Maligranda and J. G. Prytuła, *Antoni Raabe (1915–1942)*, *Journal of Physical Studies* 18 (2014), 2/3, 2997, 2 p.
- [MP16] L. Maligranda and J. G. Prytuła, *Nieopublikowane prace matematyków, fizyków i astronomów lwowskich z lat 1939–1941*, sierpień 2016, manuskrypt 26 stron.
- [Pi83] T. Piech, *Fizyka*, w: „Zarys Dziejów Nauk Przyrodniczych w Polsce”, Wiedza Powszechna, Warszawa 1983, 218–257.

- [Ra14] A. Raabe, *Electric singularities in the gravitational field*, Journal of Physical Studies 18 (2014), 2/3, 2997, 4 p. (po ukraińsku i po francusku).
- [Ro65] J. Rotblat, *Ludwik Wertenstein*, Postępy Fizyki 16 (1965), z. 6, 633–639.
- [Sk34] *Skład Towarzystwa Naukowego Warszawskiego*, Rocznik Towarzystwa Naukowego Warszawskiego 27 (1934), 1–13.
- [Sk37] *Skład Towarzystwa Naukowego Warszawskiego w okresie od 1 VII 1936 r. do 30 VI 1937 r.*, Rocznik Towarzystwa Naukowego Warszawskiego 30 (1937), 1–14.
- [Sk11] B. Skwarzec, *Maria Skłodowska-Curie (1876–1934) – jej życie i odkrycia naukowe*, Forum Medycyny Rodzinnej 5 (2011), nr 3, 251–265.
- [St92] H. Steinhaus, *Wspomnienia i Zapiski*, Aneks, London 1992.
- [Wr06] A. K. Wróblewski, *Historia fizyki. Od czasów najdawniejszych do współczesności*, PWN, Warszawa 2006.
- [Wr14] A. K. Wróblewski, *Polish physicists and the progress in physics (1870–1920)*, Czasopismo Techniczne 1 (2014), 255–273.
- [Za47] K. Zakrzewski, *After six years of war*, Acta Phys. Polonica 9 (1947), 1–6.
- [Zy40] *Teczka osobowa asystenta M. Żywa* (w teczce po ukraińsku mamy następujące dokumenty: osobowa karta ewidencyjna-3 strony i własnoręcznie napisany życiorys z 7 lutego 1940 roku, odpis dyplomu magisterskiego z 3 listopada 1939 roku, dwa zaświadczenia L. Wertensteina z 1 września 1939 roku i 3 listopada 1939 roku oraz spis prac naukowych – Ryc. 2), Archiwum Lwowskiego Państwowego Uniwersytetu im. Iwana Franko, sygn. Fond 119, opis 1, nr 630.
- [Zy41] *Teczka podań do egzaminów doktorskich (kandydackich)* (w teczce po ukraińsku znajduje się podanie z planem egzaminów M. Żywa oraz opinia Lorii o nim z 26 maja 1941 roku), Archiwum Lwowskiego Państwowego Uniwersytetu im. Iwana Franko, sygn. Fond 119, opis 1, nr 1626.

KRONIKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO

Fizycy w obronie noblisty

Jak donosi prasa, radio oraz portale internetowe, Instytut Pamięci Narodowej apeluje do władz miasta Krakowa o usunięcie „komunistycznych” patronów dróg. „Nazwy (...) ulic nie mogą upamiętniać osób, organizacji, wydarzeń lub dat symbolizujących komunizm” – czytamy w ustawie dekomunizacyjnej, przyjętej jednogłośnie przez Sejm w dniu 29 kwietnia. Ustawę poparł Senat. Izba nie zaproponowała poprawek. Samorządy będą miały rok na usunięcie z przestrzeni publicznej nazw upamiętniających osoby, organizacje, wydarzenia i daty symbolizujące komunizm lub propagujące go – przewiduje ustawa. W dniu 20 maja ustawę podpisał prezydent Andrzej Duda.

Łącznie, zmiany miałyby objąć nawet 27 ulic w całym Krakowie. Wielu mieszkańców Krakowa ma na ten temat odmienne zdanie. Jak mówią, zmiana nazwy ich ulic wiąże się ze zbyt wieloma formalnościami: oznacza wymianę wielu dokumentów, co byłoby sporym utrudnieniem i generowałoby znaczne koszty. Żeby to wszystko załatwić, trzeba wziąć dzień urlopu. Za nowe tablice ma zapłacić samorząd, czyli są to również środki pochodzące od mieszkańców!

Proponowane do zmiany ulice zostały podzielone na trzy grupy.

1) Patroni ulic wymagający koniecznej i szybkiej zmiany,

2) Grupy do przedyskutowania – ulice pisarzy popierających stalinowskie represje i wyroki śmierci wymierzone w krakowskich księży katolickich (Rezolucja Związku Literatów Polskich w Krakowie w sprawie procesu krakowskiego z 8 lutego 1953 roku):

3) Ulice tzw. „patronów kontrowersyjnych”.

W trzeciej grupie znalazło się nazwisko światowej sławy fizyka, laureata nagrody Nobla – Lwa Landaua. Wywołało to powszechne oburzenie w środowisku fizyków krakowskich, znających doskonale ogromny wkład Landaua w naukę światową. Dali temu wyraz poprzez pismo prezesa Oddziału Krakowskiego PTF adresowane do Przewodniczącego Rady Miasta Krakowa. Wszyscy przedstawiciele instytucji związanych z fizyką, którzy dostali do wiadomości w/w pismo, zareagowali podobnie – wysyłając kolejne protesty. Rada Miasta będzie musiała się nad nimi pochylić. Gdyby nie chciała tego zrobić, również Wojewoda Małopolski będzie mógł wyrazić swoją opinię, gdyż ma prawo do wykonania zastępczego, co jest zapisane w ustawie. To oznacza, że zapowiada się spory galimatias.

Trudno przewidzieć jaki skutek odniesie protest fizyków, ale miejmy nadzieję, że rozsądek zwycięży i Lew Landau pozostanie patronem krakowskiej ulicy. Jego nazwisko nie wywołuje sprzeciwu wśród mieszkańców tej ulicy ani całego miasta Krakowa.

M.N-K



W dniach 8–9 października 2016 roku w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku odbyły się warsztaty „Various Faces of QCD 2”. Celem spotkania była dyskusja najnowszych postępów i wyzwań w dziedzinie chromodynamiki kwantowej z udziałem polskich fizyków zajmujących się tą dziedziną badań.



W dniach 1–5 kwietnia 2016 roku odbył się w Warszawie finał LXV Olimpiady Fizycznej. Do zawodów trzeciego stopnia zakwalifikowało się 69 zawodników. W sobotę 2 kwietnia zawodnicy w dwóch turach rozwiązywali zadanie doświadczalne, polegające w zasadzie na wyznaczeniu kombinacji stałych fizycznych hc/k_B za pomocą żarówki, płyty CD i fotodiody. W przeciwieństwie do lat poprzednich, zadanie doświadczalne okazało się stosunkowo łatwe i wielu uczestników finału przedstawiło przynajmniej częściowo zadowalające rozwiązania, niekiedy nawet prostsze niż to zaproponowane przez organizatorów. W niedzielę 3 kwietnia zawodnicy zmierzli się z zadaniami teoretycznymi. Pierwsze z nich polegało na analizie ruchu upuszczonego ciężarka na elastycznej nici. Choć metody potrzebne do rozwiązania tego zadania były zupełnie elementarne, ogromną trudność sprawiła zawodnikom niezbędna separacja skal czasowych i zauważenie, że do analizy rozciągania nici pozostałe aspekty ruchu można pominąć. W drugim

zadaniu należało zbadać częstość dźwięku emitowanego przez poruszające się po okręgu źródło i odbieranego przez nieruchomy mikrofon. I to zadanie można było rozwiązać elementarnymi metodami, większość uczestników starała się jednak zapisać kluczowy element rozwiązania w postaci trudnej do obliczenia całki. Trzecie zadanie polegało na określeniu momentu siły elektrycznej obracającej silnik elektryczny składający się z czterech dysków, których kolejne sektory podłączone były do różnych biegunów napięcia. Jakkolwiek wielu rozwiązujących rozpoznało w tym silniku układ połączonych kondensatorów o zmiennej pojemności, to tylko nieliczni zauważyli, że w bilansie energii należy uwzględnić pracę wykonywaną przez źródło napięcia.

Redaktorzy zadań finałowych Olimpiady Fizycznej starają się zawsze, by rozwiązania składały się z elementarnych kroków niewykraczających poza omawiany w szkole zakres materiału, ale wymagających „pogłótkowania” i uświadomienia sobie istoty fizycznej rozważanego problemu. W tym roku elementarność tych kroków okazała się, zwłaszcza w zadaniach teoretycznych, nie łąda wyzwaniem dla finalistów, którzy często starali się używać – z różnym powodzeniem – zaawansowanych metod do analizy prostych problemów. Treści zadań wraz z wzorcowymi rozwiązaniami można znaleźć na stronie Komitetu Głównego OF www.kgof.edu.pl.

Laureatami LXV Olimpiady Fizycznej zostali (w kolejności zajętych miejsc):

1. Mateusz Raczyński, XIII LO w Szczecinie
 2. Stanisław Kurdziałek, I LO im. S. Staszica w Lublinie
 3. Adam Kucz, II LO im. A. Frycza Modrzewskiego w Rybniku
 4. Marcin Koźbiał, XXVII LO im. T. Czackiego w Warszawie
 5. Bartosz Markowicz, IV LO im. T. Kościuszki w Toruniu
 6. Juliusz Neuman, Publiczne LO Politechniki Łódzkiej w Łodzi
 7. Michał Pestka, III LO im. Marynarki Wojennej RP w Gdyni
 8. Rafał Ernest Ćwiek, ZSL im. Bolesława Chrobrego w Leżajsku
 9. Rafał Bistrón, V LO im. A. Witkowskiego w Krakowie
 10. Błażej Rozwoda, V LO im. A. Witkowskiego w Krakowie
 11. Paweł Piotr Czyż, XIV LO im. S. Staszica w Warszawie
 12. Karol Niczyj, LO im. S. Banacha w Żaganiu
 13. Paweł Żakieta, III LO im. Marynarki Wojennej RP w Gdyni
 14. Maksymilian Marzec, XIII LO w Szczecinie
 15. Michał Szachniewicz, III LO im. A. Mickiewicza we Wrocławiu
 16. Andrzej Oreszczuk, VI LO im. J. Kochanowskiego w Radomiu
 17. Mateusz Goślinowski, XIII LO w Szczecinie
- Nagrody dla nauczycieli zostały ufundowane przez Hamamatsu, Labis, Polskie Towarzystwo Fizyczne oraz osoby prywatne.



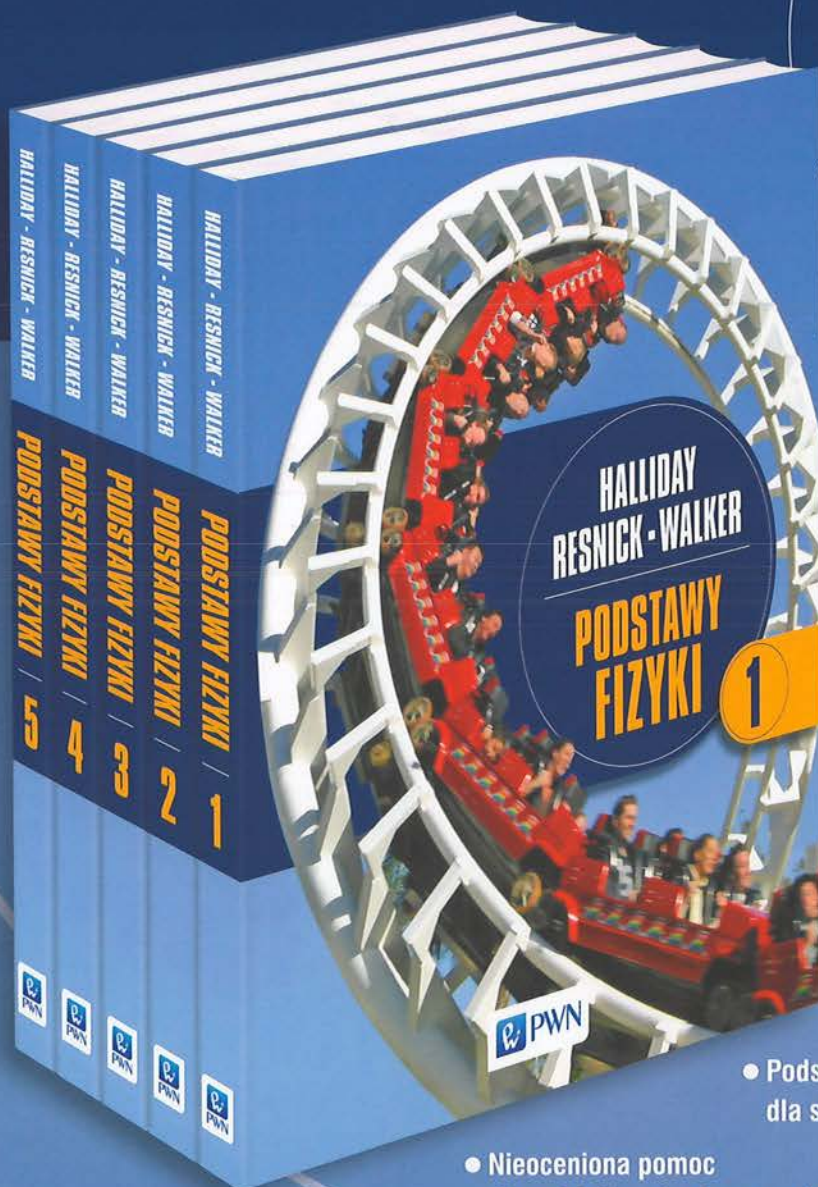
Nowoczesny, przejrzyste
napisany, kompletny podręcznik podstaw fizyki,
który powstał na podstawie legendarnej już książki Resnicka
i Hallidaya. Przedstawia aktualny stan wiedzy, zarówno w rozdziałach
związanych z fizyką współczesną, jak i w tych dotyczących fizyki klasycznej.
Prezentowany materiał jest bogato ilustrowany i poparty wieloma przykładami,
a aparat matematyczny ograniczony do niezbędnego minimum.
Uzupełnieniem książki są wykazy niektórych danych astronomicznych, współczynników
zamiany jednostek, wzorów matematycznych, właściwości pierwiastków, wybranych stałych
i właściwości fizycznych, a także układ okresowy pierwiastków oraz skorowidz pojęć.

Kultowy podręcznik NOWE WYDANIE!

**HALLIDAY
RESNICK • WALKER**

PODSTAWY FIZYKI

tom
1-5



Drugie wydanie polskie opiera się
na najnowszym, już dziesiątym,
wydaniu amerykańskim.

Najważniejsze zmiany:

- podzielona na nowo treść książki, niektóre rozdziały napisano na nowo
- dodana lista celów nauczania oraz informacja o podstawowych faktach, które należy przyswoić
- 16 nowych przykładów oraz 250 nowych zadań i 50 pytań
- w Internecie na stronie książki dostępne pomoce dydaktyczne (np. animacje, wskazówki do zadań)

• Podstawowy podręcznik
dla studentów i uczniów

• Nieoceniona pomoc
dla wykładowców i nauczycieli