

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

376 (LXIV) indeks 35810X Nr 5 wrzesień/październik 2021 CENA 30,00 zł (w tym 8% VAT)

PRĄD Z KRYSTAŁU

Co z tego dziś mamy?

SPEKTROMETRIA MAS

i typy spektrometrów

DŹOJSTIK

Nie tylko do gier

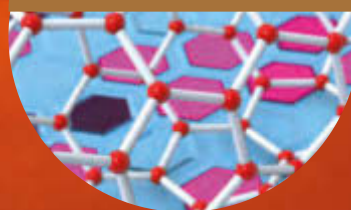
PANTOGRAF

Eksperymenty Simensa

MYŚLENIE PROJEKTOWE

a nauczanie fizyki

Co z tym
grafenem?



Od Hindenburga do elektrolizerów parowych



WYDANIE SPECJALNE W WERSJI ELEKTRONICZNEJ – PLIK PDF



15 artykułów o tym,
dlaczego Ziemia
jest planetą wyjątkową!

**Cena
15 zł**
(w tym 8% VAT)

Szczegóły i formularz zamówienia na www.aspress.com.pl/wydania-specjalne/

eprasa.pl c2f218f360

Drodzy Czytelnicy!

Jednym z najważniejszych tematów zajmujących naukowców jest zagadnienie w jaki sposób realizować rozwój naszej cywilizacji nie niszcząc przy tym ekosystemu, w którym żyjemy. Zagadnienie jest o tyle trudne, że w warunkach naturalnych każdy organizm, jeśli pozwolić mu rozwijać się w sposób nieograniczony to wcześniej czy później tak zmienia kształt swojego środowiska, że stanie się ono dla niego toksyczne.

Badacze ekosystemów twierdzą, że my - gatunek ludzki - zbliżamy się do tego momentu, że nasz dalszy rozwój musi prowadzić do samounicestwienia z jednej strony, z drugiej strony do nieodwracalnych szkód w środowisku. Niektórzy przepowiadają, że gatunek ludzki zapoczątkował już katastrofę, którą można określić jako wielkie wymieranie. Świadczyć ma o tym liczba gatunków zwierząt, które wymarły w ostatnich dziesięcioleciach. Innym zagrożeniem dla gatunku ludzkiego są antropogeniczne zmiany składu atmosfery, których symbolem jest wzrost ilości dwutlenku węgla a w konsekwencji wzrost temperatury atmosfery, a w szczególności jej dolnych warstw.

Omawiane tu zagadnienia wydają się dotyczyć bardziej geografii, biologii niż fizyki, ale my żyjemy w czasach badań interdyscyplinarnych, czyli badań dotyczących wielu dziedzin jednocześnie. Ekosystem jest układem złożonym, ale z całą pewnością układem materialnym, czyli jest obiektem fizycznym, którego parametry mogą być mierzone metodami fizycznymi, a jego stan może być modelowany za pomocą metod fizyki komputerowej. Nie należy się więc dziwić, że w tym roku dwóch naukowców, za badania ekologiczne dostało Nagrodę Nobla z fizyki.

Trzeci dostał ją też za badania z wykorzystaniem modelowania komputerowego. Tegoroczny Nobel jest więc wyrazem docenienia potencjału stosunkowo młodej dziedziny nauki jaką jest fizyka komputerowa. Przy okazji wiele badań z dziedziny fizyki komputerowej może być wykonywanych na domowych komputerach. Może więc ktoś z naszych czytelników rozpocznie swoje własne badania nad ewolucją złożonych systemów i za jakieś 10-15 lat dostanie Nobla? Miejmy nadzieję, że będzie wtedy pamiętał o „Fizyce w Szkole”.

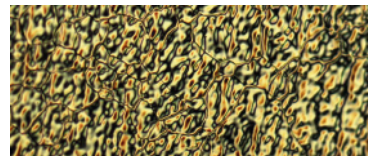
W imieniu redakcji

Zbigniew Wiśniewski



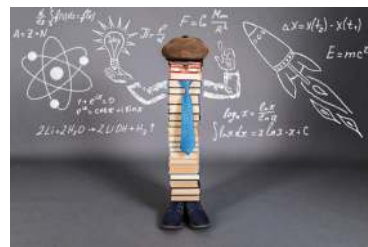
Fizyka wczoraj, dziś, jutro

- 9 Czy wodór jest paliwem ekologicznym?** ■ Kamila Nowicka
Mówi się ostatnio o wodorowym napędzie samochodów, twierdząc, że byłby to napęd ekologiczny, bo w wyniku spalania wodoru w powietrzu, powstaje tylko para wodna. Niestety, wodór byłby paliwem ekologicznym, gdyby otrzymywano go w sposób ekologiczny.
- 12 Pierwszy Nobel geofizyczny**
■ Zbigniew Wiśniewski
- 13 Co z tym grafenem?** ■ Jakub Kierdaszuk
- 17 Odkrycia – Polska Edycja European Union Contest for Young Scientists (EUCYS). Co można wygrać w konkursie naukowym?**
- 18 Spektrometria mas** ■ Andrzej Wasiak
- 22 Fizyk prawie zapomniany – Mieczysław Władysław Wolfke. Prekursor holografii i nie tylko** ■ Kazimierz Mikulski
- 26 Maria Goeppert-Meyer. Ślaczka, fizyk, noblistka** ■ Rafał Simon, Marta Wąsik



Z naszych lekcji

- 27 Żyoty fizyków. Ernst Werner Siemens, a od 1888 von Siemens (1816-1892)**
■ Tadeusz Wibig
- 30 Wykorzystanie „fotodżojstika” do badania zjawisk okresowych** ■ Jan Kurzyk
- 32 Wycisnąć prąd z kryształu** ■ Stanisław Bednarek
- 37 Najważniejszy problem edukacji** ■ Jerzy Kuczyński
- 40 Myślenie projektowe a nauczanie fizyki**
■ Kazimierz Mikulski
- 44 Góra lodowa i edukacja polska**
■ Jacek Orzechowski
Jedną z bolączek polskiej szkoły może być uleganie mitowi nowoczesności. Często prowadzi ono do „wylewania dziecka z kąpielą”, do zastępowania sprawdzonych rozwiązań dydaktycznych nowszymi i niestety gorszymi.



Astronomia dla każdego

- 47 Kompendium astronomiczne – wybrane pojęcia i zagadnienia – cz. 5**
■ Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski



FIZYKA
w Szkole z Astronomią

NUMER 5 WRZESIEŃ/PAŹDZIERNIK 2021
376 (LXIII) indeks 35810X ISSN 0426-3383

CENA 30,00 zł
(w tym 8% VAT)

Komitet redakcyjny Krystyna Jabłońska-Ławnicka, Jerzy Kreiner, Andrzej Majhofer (Przewodniczący Komitetu), Zygmunt Mazur, Andrzej Szymacha, Mirosław Trociuk
Redakcja Zbigniew Wiśniewski (redaktor prowadzący – fizyks@wp.pl) Adres redakcji ul. Warchałowskiego 2/58, 02-776 Warszawa Wydawnictwo Agencja AS Józef Szewczyk, ul. Warchałowskiego 2/58, 02-776 Warszawa, e-mail: szewczyk24@gmail.com, tel. 606 201 244, www.aspress.com.pl, NIP: 951-134-91-51 Wydawca i redaktor naczelny Józef Szewczyk, szewczyk24@gmail.com Prenumerata www.aspress.com.pl/prenumerata-2020/, e-mail: szewczyk24@gmail.com, tel. 606 201 244 Reklama Jędrzej Chodakowski, jchodakowski1953@gmail.com Skład i łamanie ScanSystem.pl Ewa Szelażyńska Druk i oprawa Paper & Tinta, ul. Ceglana 34, 05-270 Nadma Zdjęcie na okładce: Adobe Stock

Redakcja nie zwraca nadesłanych materiałów, zastrzega sobie prawo formalnych zmian w treści artykułów i nie odpowiada za treść płatnych reklam.

Zapraszamy do odwiedzenia naszej strony w Internecie www.aspress.com.pl



Foto – Dreamstime

Od Hindenburga do elektrolizerów parowych

– fizyka w służbie ekonomii wodorowej

Aleksandra Mielewczuk-Gryń

Wodór jest jednym z najbardziej powszechnych, po tlenie i krzemie, pierwiastków występujących na naszej planecie [1]. W większość występuje w postaci różnego rodzaju związków poczynając od wody (H_2O) po skomplikowane węglowodory. Jest również pierwiastkiem o najmniejszym promieniu atomowym oraz jonowym, wynika to z tego, że tworzy go tylko jeden proton oraz jeden elektron.

Wodór jest najlżejszym ze znanych nam pierwiastków, jest bezwonny, bezbarwny oraz nietoksyczny. Dzięki tej charakterystyce oraz przede wszystkim ze względu na swoją wydajność energetyczną, wydaje się idealnym paliwem przyszłości. Ale czy faktycznie tak jest? Czy wodór jest paliwem przyszłości?

Zgodnie z założeniami przyjętymi w ramach tzw. Europejskiego Zielonego Ładu (*the European Green Deal*) Unia Europejska przyjęła rok 2050 na graniczny pod względem wyeliminowania wszystkich źródeł gazów cieplarnianych, przy jednoczesnym oddzieleniu wzrostu gospodarczego od zasobów krajów członkowskich [2]. Aby sprostać tym wymogom muszą zostać opracowane nowe technologie umożliwiające produkcję zarówno energii elektrycznej jak i ciepłej bez wpływu na środowisko. Jednym z rozwiązań proponowanych w tym celu jest wykorzystanie wodoru, zarówno jako paliwa jak i magazynu energii.

Ekonomia wodorowa

Oparcie systemu energetycznego w dużej mierze na źródłach wodorowych jest nazywane, w kontrze do ekonomii opartej na paliwach kopalnych, ekonomią wodorową – *hydrogen economy* [3]. Inwestycje w technologie wodorowe mają miejsce nie tylko w Unii Europejskiej, ale również w innych krajach takich jak np. Stany Zjednoczone, Japonia,

Chiny czy Korea. Większość największych światowych gospodarek zwiększyła, w ciągu ostatnich dziesięciu lat, nakłady na badania w tej dziedzinie. Jednocześnie planowane inwestycje w perspektywie kolejnych 30 lat szacowane są na 15 tryliardów dolarów [4]. Potencjał technologii wodorowych został powszechnie zauważony, dzięki temu został umożliwiony gwałtowny rozwój badań w tej dziedzinie.

Wykorzystanie wodoru jako paliwa można podzielić na dwie oddzielne kategorie: pierwszą jest wykorzystanie wodoru do procesów spalania, drugą wykorzystanie bezpośrednio energii chemicznej tego pierwiastka. Dodatkowo wodór ma potencjał jako magazyn energii, nadwyżka produkowanej za pomocą innej metody konwersji energii zostaje zmagazynowana przy wykorzystaniu wodoru np. poprzez jego produkcję w procesie elektrolizy. Taką koncepcję nazywamy z języka angielskiego *power-to-gas* [5]. W kolejnych etapach taką zmagazynowaną energię w postaci paliwa można odzyskać za pomocą wspomnianych metod konwersji.

Ktoś mógłby się spytać: gdzie w naszych rozważaniach fizyka? Otóż proces konwersji energii zarówno w rozwiązaniach konwencjonalnych, takich jak turbiny gazowe czy alternatywnych takich jak ogniwa paliwowe, jest jak najbardziej zjawiskiem fizycznym, tak samo właściwości fizyczne materiałów stosowanych w tych urządzeniach są bardzo istotne.

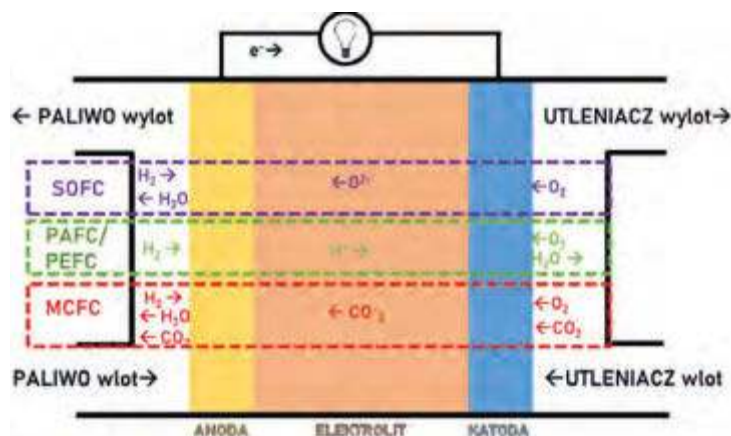
Urządzenia elektrochemiczne, które są wykorzystywane w technologiach wodorowych, możemy podzielić ze względu na wiele czynników. Wybierzmy jednak dla potrzeby naszych rozważań jeden: temperaturę pracy. Wtedy podzielić możemy te urządzenia na dwie główne grupy: urządzenia niskotemperaturowe tj. takie których temperatura pracy jest bliska temperaturze pokojowej oraz urządzenia wysokotemperaturowe, które pracują w zakresie nawet do 1000°C.

Jak to działa?

Zanim jednak zaznajomimy się z rodzajami ogniw paliwowych czy też elektrolizerów warto poznać fizyczną zasadę ich działania! Ognia paliwowe, jak już wspomnieliśmy, są to urządzenia, w których energia chemiczna paliwa zamieniana jest bezpośrednio na energię elektryczną. Najprostszy układ ognia paliwowego składa się z trzech elektrod: anody – to do niej dostarczane jest paliwo; elektrolitu – membrany przewodzącej jony oraz katody, do której dostarczany jest utleniacz. Reakcją sumaryczną, która zachodzi na ogniwie jest reakcja tworzenia się wody i to właśnie woda jest jedynym efektem ubocznym działania takiego urządzenia, schemat działania ogniw można prześledzić na rysunku.

Do najpopularniejszych typów ogniw paliwowych należą: ognia z membraną przewodzącą protony (z ang. *proton exchange membrane fuel cell* – PEMFC), ognia paliwowe z kwasem fosforowym (z ang. *phosphoric acid fuel cells* – PAFC), ognia ze stopionym węglanem (z ang. *molten carbonate fuel cells* – MCFC) oraz tlenkowe ognia paliwowe (z ang. *solid oxide fuel cells* – SOFC). Ostatni typ ogniw można dodatkowo podzielić na dwa typy klasyczne SOFC z elektrolitem przewodzącym jony tlenu oraz takie z elektrolitem przewodzącym jony wodoru – protony (z ang. *protonic ceramic fuel cell* PCFC). Każdy typ ogniw jest dedykowany do innych zastosowań, a determinuje to ich temperatura pracy oraz moc którą z takiego urządzenia można uzyskać.

Pojedyncze ogniwo jest w stanie wytworzyć dość małą ilość energii elektrycznej, dlatego też ognia w zastosowaniach aplikacyjnych zestawia się w tzw. stosy ogniw (z ang. *fuel cell stacks*). Ognia zestawiane są w takim układzie po kilkanaście do kilkudziesięciu sztuk i to właśnie takie „paczki” ogniw są montowane np. w samochodach zasilanych wodorem. Zastosowania ogniw jak widzimy, w przygotowanej tabeli, można znaleźć różnorakie,



Schemat działania najpopularniejszych typów ogniw paliwowych. CC BY-SA 3.0

od zasilania małych urządzeń elektronicznych takich jak laptopy, poprzez samochody czy autobusy, aż po zasilanie awaryjne szpitali.

Samochody wodorowe

Jednym z najszerzej omawianych zastosowań ogniw są właśnie samochody wodorowe, w tej dziedzinie prym, w chwili obecnej, wiedzie *Toyota* i ich pierwszy produkowany seryjnie samochód zasilany wodorem – *Toyota Mirai*. Samochód ten zgodnie z informacjami producenta jest wyposażony w silnik o mocy 182 KM, co pozwala na osiągnięcie maksymalnej prędkości 175 km/h (do setki rozpędza się w 9 sekund).

W samochodzie tym zamontowano stos 330 ogniw polimerowych ogniw paliwowych, które zostały zamontowane pod maską z przodu samochodu – tam, gdzie zwykle umieszczono by silnik [6]. Jego cena zaczyna się od 49 500 dolarów (~200 000 zł), wydaje się ona dość wysoka, ale w np. w Stanach Zjednoczonych zawiera w sobie koszt paliwa na 6 lat (lub równowartość 15 000 dolarów) [6].

Najpopularniejsze rodzaje ogniw paliwowych oraz ich zastosowania.

Nazwa polska	Nazwa angielska	Rodzaj elektrolitu	Temperatura pracy	Zastosowania
Ogniwo paliwowe z wodoroków metali	<i>Metal hydride fuel cell</i>	Wodny roztwór alkaliczny	Powyżej -20°C	Zastosowania wojskowe (np. autonomiczne pojazdy)
Ogniwo bezpośrednie z kwasem mrówkowym	<i>Direct formic acid fuel cell</i>	Membrana polimerowa	Poniżej 40°C	Mała przenośna elektronika
Alkaliczne ogniwo paliwowe	<i>Alkaline fuel cell</i>	Wodny roztwór alkaliczny	Poniżej 80°C	Pierwszy raz zastosowane w programie kosmicznym Apollo
Bezpośrednie metanolowe ogniwo paliwowe	<i>Direct methanol fuel cell</i>	Membrana polimerowa	90-120°C	Mała przenośna elektronika
Ogniwo paliwowe z membraną przewodzącą protony	<i>Proton exchange membrane fuel cell</i>	Membrana polimerowa	50-120°C	Mała przenośna elektronika
Ogniwo paliwowe z kwasem fosforowym	<i>Phosphoric acid fuel cell</i>	Stopiony kwas fosforowy (H ₃ PO ₄)	150-200°C	Podstawowe źródła mocy – elektrownie; zasilanie awaryjne
Ogniwo paliwowe ze stopionym węglanem	<i>Molten carbonate fuel cell</i>	Stopiony węglan ziem alkalicznych	600-650°C	Podstawowe źródła mocy – elektrownie; zasilanie awaryjne
Tlenkowe ogniwo paliwowe	<i>Solid oxide fuel cell</i>	Ceramika przewodząca	500-1000°C	Podstawowe źródła mocy – elektrownie; zasilanie awaryjne



Prezentacja Toyoty Mirai na salonie motoryzacyjnym w Nowym Jorku w 2016 r.

Porównując, z perspektywy czasu, ceny pomiędzy *Mirai* i pierwszą generacją *Priusa XW10* (pierwszego seryjnie produkowanego samochodu z napędem hybrydowym), nie wydaje się ona być aż tak wygórowana. Pierwsza generacja *Priusa* kosztowała w 1997 roku 16 929 dolarów, co po uwzględnieniu inflacji pieniądza odpowiada dzisiaj kwocie 28 310 dolarów, a rocznie sprzedawano 12 000 sztuk [7, 8]. W tej chwili Toyota sprzedaje swoje samochody hybrydowe po cenach nieco tylko niższych niż 200 000 złotych np. Toyota Camry czy RAV4 od 150 000 zł [9].

Do innych ważnych zastosowań ogni w paliwowych można zaliczyć małe, zapasowe jednostki zasilania awaryjnego lub przenośnego np. w szpitalach. Przykładem takiego wykorzystania ogni jest polowy szpital dla pacjentów chorych na COVID-19, który powstał w ubiegłym roku w Pretorii w Republice Południowej Afryki [10].



Stacja tankowania wodoru zintegrowana ze stacją konwencjonalną w Szwajcarii.

Poza typowymi zastosowaniami możemy również znaleźć bardziej specjalistyczne takie jak np. zasilanie dronów, ale również olbrzymich jednostek takich jak statki. Przykładowo niemiecka firma Thyssen Krupp Marine Systems GmbH produkuje łodzie podwodne m.in. na potrzeby Deutsche Marine typu 212, które wyposażone są, obok silnika diesla, w dwie jednostki napędowe składające się z ogni w paliwowych typu PEM o mocy 120 kW (ogniwa dostarcza Siemens) [11].

Pech Hindenburga

Dobrze, ale ktoś mógłby zapytać czemu w tytule artykułu przywołuję Hindenburga? Dlatego, że bardzo często przywoływany jest przez przeciwników technologii wodorowych jako dowód na to, że wodór jest paliwem niebezpiecznym. Większość z nas widziało zdjęcia z katastrofy tego wielkiego sterowca w książkach do historii. Zaczijmy od tego, że katastrofa miała miejsce w 1937 roku! Od tego czasu technologie, zwłaszcza materiałowe, zmieniły się znacznie. Jednak już wtedy stosowano materiały, które przeciwdziałały gromadzeniu się ładunku elektrostatycznego, który mógłby spowodować wybuch, a nawet przygotowano wewnątrz specjalną palarnię, w której wykorzystywano nadciśnienie, aby nic nie spowodowało zapalenia wodoru. Niestety zbieg okoliczności związany z lądowaniem w New Jersey spowodował, że zgromadzony w sterowcu uległ zapłonowi (zerwana lina uszkodziła zbiornik z wodorem) i w efekcie doszło do wybuchu.

Konstrukcję zbiorników wodoru stosowane obecnie są zupełnie inne niż prawie sto lat temu i dużo bezpieczniejsze. W chwili obecnej do ich konstrukcji stosowane, nieznane jeszcze niedawno, materiały takie jak włókna węglowe oraz kompozyty polimerowe. Mogą one wy-

trzymać bardzo ekstremalne warunki, zarówno związane z przechowywaniem wodoru pod wysokim ciśnieniem 700 barów jak i z np. wrzuceniem wprost do ognia (tzn. *bonfire test*). Muszą być bezpieczne wtedy, kiedy ktoś strzeli w taki zbiornik z broni palnej. Jednocześnie nawet w przypadku uszkodzenia zbiornika np. w samochodzie wodorowym ryzyko wybuchu jest mniejsze niż w przypadku zapłonu par paliwa. Nie mamy więc się czego obawiać ze strony samochodów wodorowych czy stacjonarnych zbiorników na ten gaz.

Wróćmy jednak do tematu ogniwi. Wytworzenie ogniwa elektrochemicznego, paliwowego czy elektrolizera, wymaga długich badań nad materiałami w nich wykorzystywanymi jak i później na optymalizacji ich działania. Tutaj właśnie swoje miejsce znajduje fizyka, a konkretnej fizyka materiałów. Pomimo tego, że zwykle fizyka w szkole kojarzy nam się z podstawowymi prawami dynamiki czy skomplikowanymi zagadnieniami z elektrostatyki jeden z jej działów jest ściśle związany z technologiami wodorowymi.

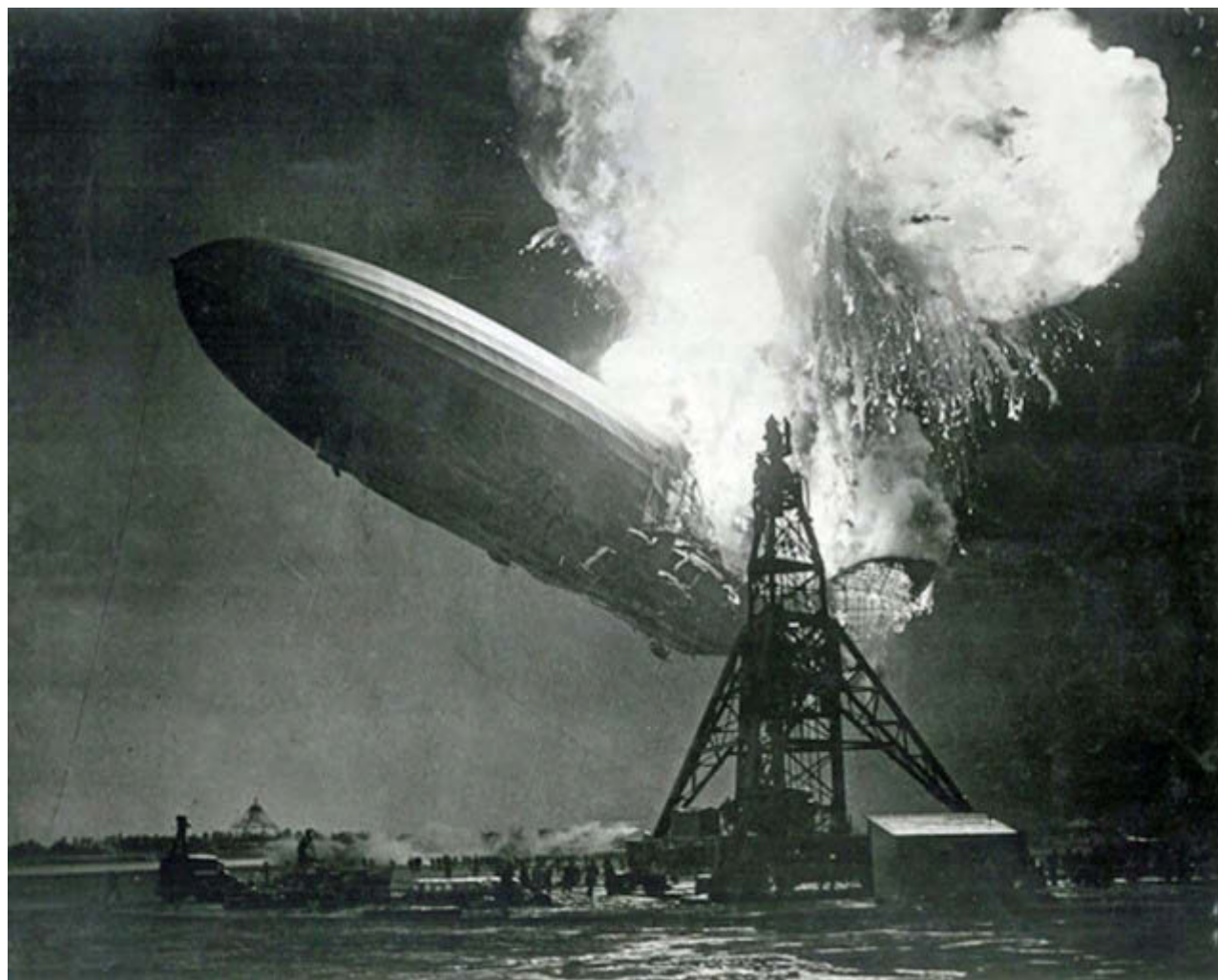
Prace badawcze

W chwili obecnej w Polsce między innymi fizycy zajmują się opracowywaniem materiałów do takich zastosowań (również u nas w Gdańsku!). Czym dokładnie się zaj-

mują? Jak już wiemy ogniwo paliwowe składa się z trzech podstawowych elementów: anody, elektrolitu oraz katody. Każdy z tych elementów wymaga optymalizacji parametrów wpływających na działanie urządzenia. W przypadku ogniwi, w których wykorzystywane są materiały krystaliczne np. w ogniwach tlenkowych procesy związane z ich pracą są opisywane przez zależności, które fizycy od lat opracowują dla takich materiałów jak np. półprzewodniki.

Weźmy za przykład katodę – czyli jak już wiemy – elektrodę, do której doprowadzany jest utleniacz – powietrze lub tlen, na tym elemencie ogniwa dochodzi do szeregu reakcji takich jak: adsorpcja oraz dysocjacja tlenu; transport powierzchniowy oraz dyfuzja. Każdy z tych procesów opisujemy za pomocą zależności fizykochemicznych i na podstawie badań ustalamy jak np. skład materiału wpływa na te reakcje. Dodatkowo najnowocześniejsze katody to najczęściej przewodniki mieszane, czyli takie które przewodzą dwa typy nośników np. jony tlenu oraz elektrony.

Badanie właściwości transportowych materiałów będącymi kandydatami na ten element ogniwa odbywa się podobnie jak przy badaniu innych materiałów np. właśnie półprzewodników. Zespół metod, które stosujemy w badaniach podstawowych, czyli takich które dotyczą najbardziej elementarnych właściwości materiałów, jest



Eksplzja największego na świecie niemieckiego sterowca Hindenburg Zeppelin podczas próby zadokowania na stacji w Lakehurst w stanie New Jersey 6 maja 1937 roku.



Badania ogniw paliwowych i materiałów, z których są wytwarzane są prowadzone również na polskich uczelniach, tutaj zdjęcie z laboratorium Instytutu Nanotechnologii i Inżynierii Materiałowej Politechniki Gdańskiej. Dr inż. Piotr Winiarz przygląda się wynikom pomiarów metodą spektroskopii impedancyjnej. Zdjęcie Paulina Staniszevska.

bardzo szeroki. Wykorzystujemy metody dyfrakcyjne np. dyfrakcję promieniowania rentgenowskiego – do poznania struktury krystalicznej materiałów, metody pomiaru właściwości elektrycznych np. stałą oporową metodą czteropunktową (taką dokładnie jak w laboratoriach szkolnych badamy oporniki!), metody termiczne obrazujące co się dzieje np. z masą materiału w podwyższonej temperaturze, oraz metody mikroskopowe – aby „zobaczyć” nasz materiał w dużym powiększeniu. Wyniki takich badań pozwalają nam na sprawdzenie jak zmiana np. składu materiału czy tego jak układają się w nim ziarna (morfologia) wpływa na to jak przydatny (lub nie ☺) jest do zastosowań aplikacyjnych.

Gdy mamy już odpowiadający nam materiał możemy przejść do kolejnego etapu – budowy ogniwa. Wykorzystujemy wtedy poszczególne zoptymalizowane przez nas (lub inne grupy) elementy ogniwa i składamy je w jedno ogniwo. Oczywiście kolejnym etapem będzie testowanie takich ogniw – sprawdzenie jak działają – a w przypadku ogniw paliwowych przede wszystkim jaką moc możemy z takiego pojedynczego ogniwa uzyskać. Na tym kończy się etap badawczy w laboratorium – na uzyskaniu pojedynczego dobrze pracującego ogniwa.

W dalszej części przechodzimy do badań aplikacyjnych. W tym etapie będziemy najpierw małe ogniwa (najczęściej o średnicy do 2,5 cm) wyprodukowane w laboratorium skalować tzn. zwiększać ich rozmiar. Kiedy takie duże ogniwo (np. 10x10 cm) jest gotowe musimy zbadać czy równie dobrze sprawdza się jak małe ogniwo (a to wcale a wcale nie jest drogi Czytelniku oczywiście!). Jeżeli tak, to ogniwa będziemy zestawiać w stosy, dopierać odpowiednie uszczelniacze oraz interkonektory czyli elementy, które łączą poszczególne małe ogniwa w stos.

Krok ku komercjalizacji

Kiedy taki stos powstanie i zostanie potwierdzone jego działanie, długoterminowe w ciągu kilkuset godzin, jesteśmy o krok od komercjalizacji! Jeszcze tylko optymalizacja kosztów i możemy produkować ogniwa i sprzedawać je na rynku. Na świecie istnieje szereg firm, które zajmują się technologiami wodorowymi do największych, i najbar-

dziej zapewne znanych Czytelnikom, zalicza się japoński Panasonic, wspomniany już niemiecki Siemens oraz Bosch czy firmy motoryzacyjne takie jak General Motors.

Rynek ten ciągle się rozwija i np. w styczniu 2021 amerykańskie spółki Navistar Inc., OneH2 i właśnie General Motors rozpoczęły współpracę nad komercjalizacją rozwiązań wodorowych w transporcie w celu zminimalizowania emisji gazów cieplarnianych. Efektem ich współpracy ma być produkcja ciężarówek zasilanych wodorem [12]. Liczy się, że w 2020 wartość rynku ogniw paliwowych wynosiła 2,62 miliarda dolarów a prognozowana wartość w 2021 wynosi 3,36 miliarda a w 2028 ma to być aż 28,95 miliarda [12], są to oczywiście olbrzymie pieniądze!

Absolwent kierunku takiego jak fizyka czy fizyka techniczna jest bardzo dobrze przygotowany do pracy przy badaniach i rozwoju ogniw paliwowych – patrz zdjęcie! Ma odpowiednią wiedzę, a jednocześnie, bardzo często doświadczenie w laboratorium, aby zajmować się tym tematem u boku chemików czy inżynierów materiałowych. Nie mówimy tutaj tylko o pracy na uczelni (choć oczywiście również ją polecam!), ale również o pracy w przemyśle oraz przy badaniach i rozwoju w ramach przedsiębiorstw w Polsce i zagranicą. Szczególnie w dobie dużych inwestycji w „zieloną energię”. Co w takim razie należy zrobić, aby pracować w tym fascynującym zawodzie? Proponuję wybranie studiów takich jak fizyka techniczna, nanotechnologia czy inżynieria materiałowa (zwłaszcza na Politechnice Gdańskiej ☺)

Aleksandra Mielewczyk-Gryń

Instytut Nanotechnologii i Inżynierii Materiałowej,
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej,
Politechnika Gdańska

Zainteresowanych zapraszam do kontaktu, również poprzez media społecznościowe, Facebook Instytut Nanotechnologii i Inżynierii Materiałowej @INIIMP, email: alegryn@pg.edu.pl

LITERATURA

- [1] Hydrogen – the number 1 element <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/1729-hydrogen-the-number-1-element>.
- [2] Europejska, K. Europejski Zielony Ład https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pl.
- [3] Dou, Y.; Sun, L.; Ren, J.; Dong, L. Opportunities and Future Challenges in Hydrogen Economy for Sustainable Development. In *Hydrogen Economy: Supply Chain, Life Cycle Analysis and Energy Transition for Sustainability*; Elsevier Inc., 2017; pp 277–305.
- [4] Nina Chestney. \$15 trillion global hydrogen investment needed to 2050-research <https://www.reuters.com/business/energy/15-trillion-global-hydrogen-investment-needed-2050-research-2021-04-26/>.
- [5] Schiebahn, S.; Grube, T.; Robinius, M.; Tietze, V.; Kumar, B.; Stolten, D. Power to Gas: Technological Overview, Systems Analysis and Economic Assessment for a Case Study in Germany. *Int. J. Hydrogen Energy* **2015**, *40* (12), 4285–4294.
- [6] Toyota. Toyota Mirai <https://www.toyota.com/mirai/>.
- [7] Smartasset. Inflation Calculator <https://smartasset.com/investing/inflation-calculator#nutbyo4llj>.
- [8] Wikipedia. Toyota Prius (XW10) [https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius_\(XW10\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius_(XW10)).
- [9] Toyota <https://www.toyota.pl>.
- [10] Hydrogen Fuel Cell Systems Power COVID-19 Field Hospital - FuelCellsWorks <https://fuelcellworks.com/news/hydrogen-fuel-cell-systems-power-covid-19-field-hospital/> (accessed Jul 6, 2021).
- [11] HDW Class 212A Submarine <https://www.thyssenkrupp-marinesystems.com/en/products-services/submarines/class-212> (accessed Jul 6, 2021).
- [12] Fuel Cell Market Size, Share, Growth | Global Report [2021-2028] <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/fuel-cell-market-100733> (accessed Jul 6, 2021).

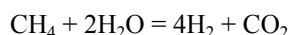


Czy wodór jest paliwem ekologicznym?

Mówi się ostatnio o wodorowym napędzie samochodów, twierdząc, że byłby to napęd ekologiczny, bo w wyniku spalania wodoru w powietrzu powstaje tylko para wodna.¹ Niestety, wodór byłby paliwem ekologicznym, gdyby otrzymywano go w sposób ekologiczny. A tak nie jest.

Waldemar Reńda

Obecnie na skalę przemysłową otrzymuje się wodór w reakcji gorącej pary wodnej z gazem ziemnym, a dokładniej ze znajdującym się w nim metanem:²



Jak widać, z każdego metra sześciennego metanu otrzymuje się wprawdzie 4 m³ wodoru, ale równocześnie 1 m³ dwutlenku węgla, który z konieczności wypuszczany jest do atmosfery. Dodatkowo, aby otrzymać mieszaninę gazu ziemnego i pary wodnej o odpowiednio wysokiej temperaturze, należy spalić pewną ilość gazu ziemnego lub innego paliwa, emitując do atmosfery kolejne porcje CO₂.

Elektroliza, fotowoltanika czy pallad?

Natomiast bardziej ekologicznym sposobem otrzymywania wodoru byłaby elektroliza wody³ ale pod wa-

runkiem, że potrzebną do tego celu energię elektryczną otrzymywalibyśmy w sposób ekologiczny. A to mogą zapewnić na przykład turbiny wiatrowe. Sposób ten jest już stosowany. I tak np. na niewielkich wyspach japońskich turbiny wiatrowe zasilają instalacje do elektrolitycznego otrzymywania wodoru z wody morskiej.

Do tego celu można też wykorzystać fotowoltaikę. Metoda ta już jest stosowana w Polsce. A korzyść jest dwójaka. Omija się bowiem niedogodności związane z faktem, że nie zawsze wieje odpowiednio silny wiatr oraz że baterie słoneczne nie działają w nocy.⁴ Nie potrzeba też przetwarzać prądu stałego w zmienny i przysyłać do sieci uzyskanej energii elektrycznej lub magazynować ją w potężnych i drogich akumulatorach litowo-jonowych.⁵ Natomiast elektrolizery mogą pracować, gdy jest dostępna energia elektryczna, a otrzymany wodór można łatwo magazynować i przewozić tam, gdzie jest on potrzebny.

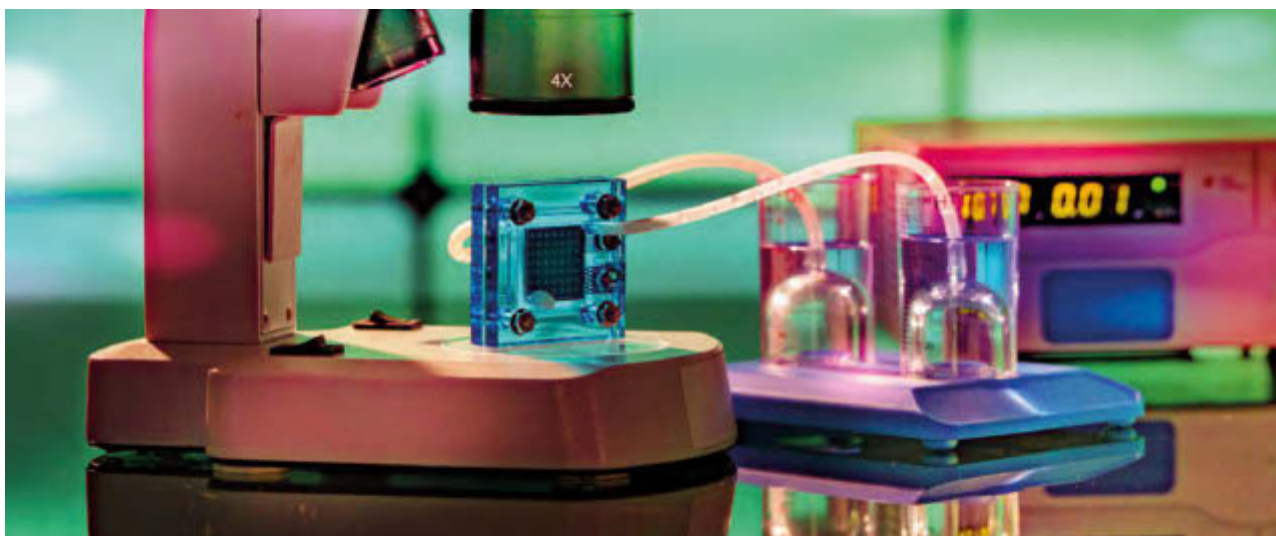
¹ Mogą powstawać równocześnie niewielkie ilości kwasotwórczych tlenków azotu.

² Używany jest do produkcji amoniaku, z którego następnie otrzymuje się nawozy amonowe.

³ Nie może to być woda o obojętnym pH.

⁴ Nie jest prawdą jakoby długość dnia i nocy decydowała o rocznej ilości uzyskiwanej energii elektrycznej, gdyż średnioroczna długość dnia jest jednakowa dla całej kuli ziemskiej i jest równa dokładnie 12 godzin. Dodatkowo w wyższych szerokościach geograficznych dłuższa jest poświata poranna jak i wieczorna, co jest zjawiskiem korzystnym. Natomiast na wydajność instalacji fotowoltaicznej ma wpływ liczba dni słonecznych. W przypadku zachmurzenia jest również generowany prąd elektryczny, ale o zmniejszonej mocy.

⁵ Do tego celu służą inwertery zwane też falownikami. Są to dość drogie i skomplikowane urządzenia, których celem jest wytwarzanie przemiennego napięcia o ściśle określonej wartości i częstotliwości zsynchronizowanej z częstotliwością napięcia w sieci. Służą one również do sterowania pracą całej instalacji fotowoltaicznej. Niestety, w przypadku nadwyżki mocy w sieci, sieć nie będzie przyjmowała energii z tego typu instalacji.



Wodorowe ogniwo paliwowe w laboratorium badawczym. Foto – Dreamstime

I tu mała dygresja. Wodór jest dość specyficznym gazem. Może bowiem stosunkowo łatwo przenikać dyfuzyjnie przez pewne materiały. Zatem zbiorniki powinny być odporne na tego typu zjawisko. Podobnie też całe instalacje. Trudne jest również jej uszczelnianie.

Wodór można gromadzić jeszcze w inny sposób. Okazało się bowiem, że wodór łatwo „rozpuszcza” się w palladzie. I tak np. jedna jednostka objętości tego metalu może pochłonąć 850 jednostek objętości wodoru. Aby odzyskać wodór wystarczy ów metal podgrzać. Problem w tym, że pallad jest bardzo rzadkim i drogim metalem, a metodę tę stosuje się obecnie prawdopodobnie jedynie do oczyszczania wodoru z domieszek.

Silniki napędzane wodorem

Wodór jest paliwem o bardzo dużym cieple spalania oraz wysokich temperaturach tego procesu. Możemy więc otrzymać wyższą sprawność silnika, ale fakt ten wymusza stosowanie odpowiednich materiałów konstrukcyjnych. Zapewne konstruktorzy silników napędzanych wodorem poradzą sobie z tym i innymi problemami. Natomiast użytkownicy muszą pamiętać, że po rozszczelnieniu zbiornika z wodorem może w pomieszczeniu powstać mieszanina piorunująca o ogromnej sile wybuchu.

Dodam jeszcze, że zamiast spalać wodór w silnikach, można zasilać nim ogniwa paliwowe i napędzać samochód energią elektryczną wytworzoną przez owe ogniwa.

Podsumowując te informacje, należy zauważyć, że niestety nie ma całkowicie ekologicznej metody generowania prądu elektrycznego, bo przecież trzeba zbudować wiatraki i wyprodukować panele fotowoltaiczne. Do tego celu potrzebne są zarówno surowce jak i energia. A ich wytwarzanie zapewne nie jest wolne od procesów szkodliwych dla środowiska. Ponadto po okresie eksploatacji (25 do 30 lat) panele fotowoltaiczne muszą ulec wymianie

na nowe, a zużyte zutylizowane. Niemniej w ostatecznym rachunku jest to korzystniejsze niż otrzymywanie energii elektrycznej, spalając węgiel kamienny czy brunatny, a nawet gaz ziemny.

Od kilkudziesięciu lat uczeni poszukują sposobu, by do wytwarzania energii elektrycznej wykorzystać reakcję syntezy wodoru w hel. Twierdzą oni, że w ten sposób zapewniono by na setki lat tanie źródło energii, gdyż deuteru mamy wystarczająco dużo w wodzie morskiej.⁶

Pierwotnie sądzono, że stanie się to około roku 2000. Niestety, jak dotąd próby te nie dają spodziewanego rezultatu. Dlaczego? Może odpowiedzią będą informacje, jakie ostatnio dotarły do prasy o sukcesie naukowców z Narodowego Laboratorium Lawrence’a Livermore’a w Kalifornii. Otóż uczonym tym udało się zainicjować tę reakcję w 150 mikrogramowej próbce mieszaniny izotopów skroplonego deuteru i trytu, zamkniętych w diamentowej osłonce i złotym walcu o długości ok. 1 cm. Do tego celu wykorzystano potężną instalację laserową,⁷ składającą się ze 192 laserów wytwarzających ultrafiolet, a mieszczącą się w 10-piętrowej hali zajmującej powierzchnię trzech boisk piłkarskich i dających impuls świetlny o łącznej energii równej $1,9 \cdot 10^6 \text{ J}$. W efekcie udało się uzyskać ok. 70% tej energii, która była potrzebna do zainicjowania reakcji jądrowej, co uznano za ogromne osiągnięcie i milowy krok na drodze do ujarznienia owej reakcji i zaprzęgnięcia jej do celów pokojowych. Dodam tylko, że owa uzyskana energia to zaledwie 0,37 kWh.

Jak widać, jest to raczej niewielki krokczyniony w tych badaniach, a perspektywę wykorzystania tej reakcji do budowy elektrowni, należy odsunąć w bliżej nieokreśloną przyszłość. Wątpię nawet, czy budowa owej elektrowni jest technicznie możliwa ze względu na konieczność utrzymania w miarę stałej temperatury rzędu 50 milionów stopni

⁶ Nieco gorzej jest z trytem, bo otrzymuje się go w reaktorach atomowych w wyniku działania neutronów na deuter znajdujący się w ciężkiej wodzie służącej do chłodzenia prętów uranowych i przenoszenia ciepła do odpowiednich wymienników. Jako „paliwa” termojądrowego można też użyć deuteru litu.

⁷ National Ignition Facility (NIF).

przy ciśnieniu miliona atmosfer.⁸ Sam zapłon reakcji to niewiele, gdyż należałoby stworzyć sytuację dla samoczynnie podtrzymującej się reakcji w dopływającej w sposób ciągły mieszanie deuteru i trytu, usuwania powstałego helu, zapewnienia odbioru ciepła z wysokotemperaturowej plazmy oraz z możliwością pełnego sterowania tym procesem. Ponadto cały ten proces należałoby prowadzić w próżni pod działaniem odpowiednio silnych pól magnetycznych oddzielających powstałą gorącą plazmę od konstrukcji urządzenia. Należy też bezpiecznie pochłaniać powstałe w reakcji neutrony. I to tak, by nie wywoływały wtórnych reakcji jądrowych z materiałami generatora.

Czy energia może być tania?

Założmy jednak, że wszystko to jest możliwe, to jednak uzyskana w ten sposób energia nie będzie tania, wszak na owe badania, a trwają już ponad 50 lat, wydano setki miliardów dolarów! Budowa owej elektrowni, o ile byłaby możliwa, pochłonęłaby kolejne setki miliardów dolarów. Jej eksploatacja również byłaby niezmiernie droga. I coś z tego, że deuteru mamy dużo, ale tryt uzyskujemy w reaktorach atomowych. Można by było uzyskiwać go również jako produkt uboczny w owej elektrowni, ale będzie to dość trudne.

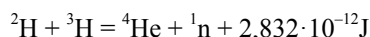
⁸ Im większe ciśnienie, tym niższa jest temperatura zapłonu tej reakcji.

⁹ Przy założeniu, iż całe promieniowanie zostanie pochłonięte przez próbkę. Ewentualne odbicie powiększy jeszcze obliczoną wartość ciśnienia.

A sprawność energetyczna takiej elektrowni? W opisanym eksperymencie uzyskano 70% energii włożonej. Zobaczmy jednak, z jaką mocą musiały zadziałać owe 192 lasery. Otóż była to moc równa mocy 2 tysięcy takich elektrowni, jak ta w Bełchatowie. Możliwe, że owa energia potrzebna by była jedynie do zapłonu paliwa termojądrowego, ale już wielkość i komplikacja tej instalacji świadczy o ogromnych kosztach całego przedsięwzięcia. A uczeni? No cóż, chwalą się sukcesem, by otrzymać następne granty.

A teraz trochę teorii:

Syntezę wodorową można przeprowadzać na kilka sposobów, ale najwięcej energii uzyskuje się w reakcji deuteru z trytem:

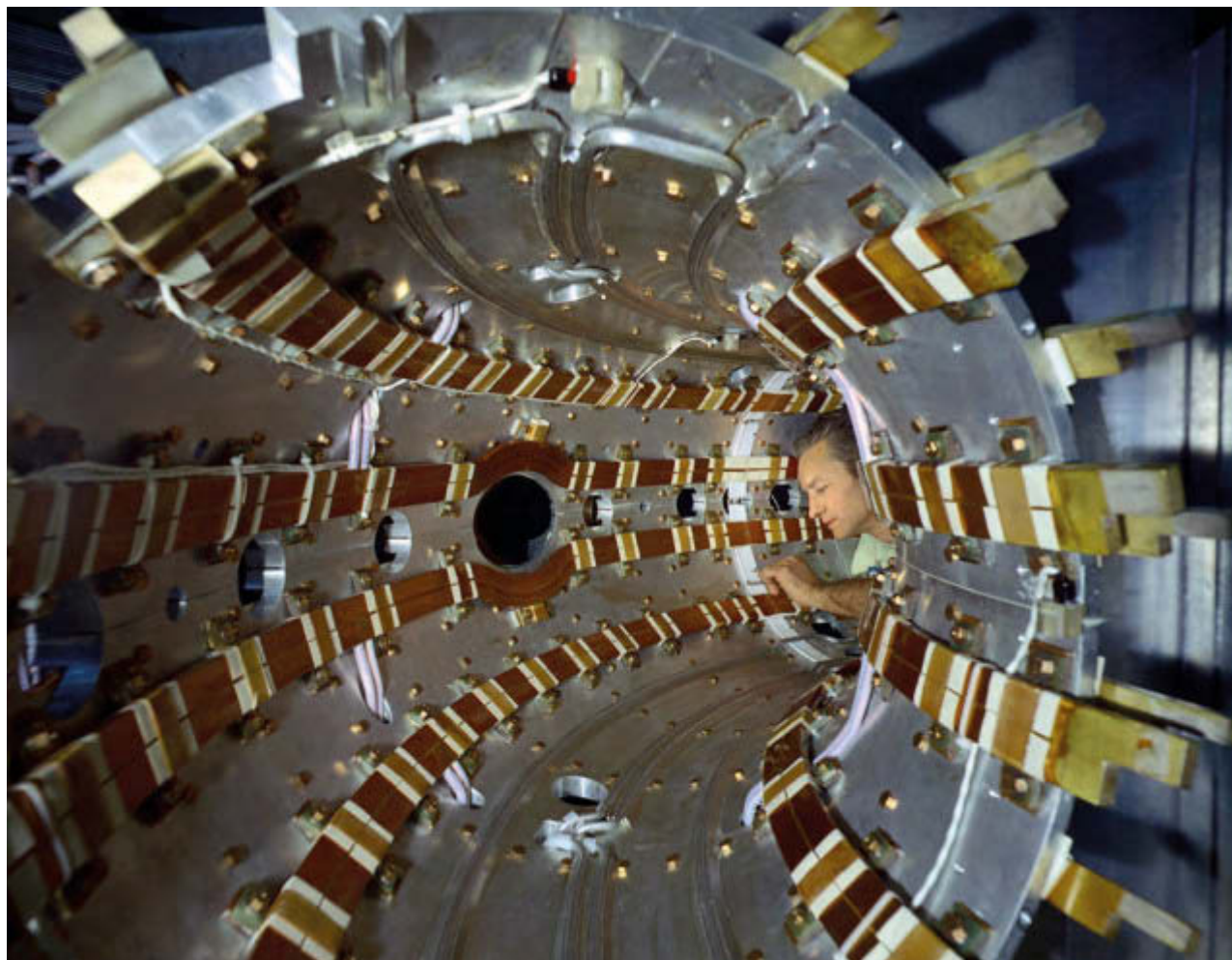


I pewne zadanie:

Obliczmy ciśnienie fotonów na kapsułkę zawierającą paliwo wodorowe. Założmy, że jest ona wielkości ziarenka pieprzu o średnicy 4 mm.

Ciśnienie to można obliczyć ze wzoru:⁹

$$p = E/c \cdot t \cdot S$$



ORMAK – eksperymentalny tokamak fuzyjny. Osiągnął temperaturę plazmy 20 milionów stopni. <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/>

Gdzie: E – całkowita energia fotonów padających na próbkę, c – prędkość światła w próżni, t – czas trwania impulsu świetlnego, S – powierzchnia próbki.

W tym przypadku: $E = 1,9 \cdot 10^6 \text{ J}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $t = 2 \cdot 10^{-8} \text{ s}$, $S = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$.

Wstawiając te dane do powyższego wzoru, otrzymamy wartość równą $0,63 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$, czyli ok. 600 tysięcy atmosfer!

Tokamaki

W omawianym eksperymencie dodatkowe ciśnienie uzyskano wykorzystując zjawisko implozji po gwałtownym odparowaniu otoczki próbki zawierającej mieszaninę deuteru i trytu.

Inną metodą kontrolowanej syntezy wodorowej jest użycie tokamaków.¹⁰ Podstawowym elementem tego urządzenia jest toroidalna rura próżniowa, do której wprowadza się mieszaninę deuteru i trytu, a następnie podgrzewa do wysokiej temperatury, w wyniku czego ulega ona jonizacji i staje się plazmą. Może więc pełnić rolę obwodu wtórnego transformatora zasilanego napięciem o wysokiej częstotliwości,

które wywołuje dalszy wzrost temperatury tej plazmy. Po uzyskaniu dostatecznie wysokiej temperatury, może wystąpić fuzja atomów deuteru i trytu. Plazma ta wytwarza własne pole magnetyczne, które ściska ją wzdłuż osi rury, co sprawia, że jej ścianki nie są narażone na tę temperaturę.

Pierwszy tokamak zbudowano w latach 50-tych w Moskwie. Podobne urządzenia działają w USA (Princeton) i w Anglii. Ostatnio tego typu instalacja powstaje we francuskim Cadarasche. Jej koszt ocenia się na ok. 10 mld euro, przy czym jest to przedsięwzięcie międzynarodowe. Niestety, wciąż jest niezmiernie daleko do elektrowni termojądrowych, bo i w tym przypadku należy rozwiązać problem ciągłości procesu, jego kontroli oraz odbioru ciepła z bardzo gorącej plazmy.

I na koniec. Wiem, że tego typu badania będą nadal trwałe, ale są one niezwykle kosztowne. Nie wiem, czy w obliczu klęski klimatycznej, umierających z głodu dzieci w Syrii, Jemenie czy Sudanie Południowym i wielu, wielu innych problemów naszego Świata, należałoby wydawać tak duże kwoty. Podobnie jest z załogowymi lotami w Kosmos czy z planowanym a pozbawionym naukowego i praktycznego sensu lotem na Marsa.

¹⁰ Z jez. ros.: toroidalna **ka**miera s **ma**gnitno**j** **ka**tuszk**o**j.

Waldemar Reńda
Olkusz

Pierwszy Nobel geofizyczny

Zbigniew Wiśniewski

Piątego października tego roku miało miejsce jedno z najbardziej spektakularnych wydarzeń w fizyce. Było nim oczywiście przyznanie nagrody nobla. Właściwie już tradycyjnie nagrodą nobla wyróżniono trzech naukowców. Tym razem byli to Syukuro Manabe, Klaus Hasselmann i Giorgio Parisi. Jak podaje komitet noblowski powodem do przyznania nagrody był „przełomowy wkład w nasze zrozumienie złożonych zjawisk fizycznych”.

Natura prac uhonorowanych w tym roku jest zasadniczo inna niż prac uhonorowanych w roku poprzednim. W poprzednim roku Nobel był za prace z dziedziny badań kosmosu. Obecnie wyróżniono głównie prace mające znaczenie bardziej praktyczne. Można by powiedzieć, że jest to Nobel łączący dwie dziedziny nowoczesnej fizyki: teorie katastrof i chaos deterministyczny. Obie charakteryzują się dużą złożonością badanych układów.

W teorii katastrof przyjmuje się też, że małe zmiany parametrów początkowych prowadzą do dużych zmian parametrów końcowych. Przykład? Małe zmiany koncentracji gazów cieplarnianych w atmosferze prowadzą do galopującego efektu cieplarnianego, tak jak to mało, najprawdopodobniej, miejsce na Wenus, a możliwe, że będzie miało miejsce na Ziemi. Przy okazji podkreślić należy, że gazem cieplarnianym jest nie tylko, owiany złą sławą, dwutlenek węgla, ale też i para wodna, której średnie stężenie również rośnie.



Rys. www.nobel.prize.org

Zagadnienie zmian klimatu jest obecnie jednym z najważniejszych problemów nauki. Jeśli nie znajdziemy sposobu, aby mu przeciwdziałać, to nasze istnienia, a może nawet życie jako takie na naszej planecie może być zagrożone.

Nie ma co się więc dziwić, Komitet Noblowski zdecydował się wyróżnić największym obecnie zaszczytem dwójkę naukowców, którzy pracowali nad modelowaniem termicznych procesów w atmosferze. Byli to Manabe i Hasselmann. Syukuro Manabe jest autorem pionierskich prac dotyczących wpływu zawartości dwutlenku węgla na temperaturę ziemskiej atmosfery.

Klaus Hasselmann z kolei, zajmował się związkami między pogodą, a klimatem, czyli wyjaśnieniem faktu, że np. jedna ciężka zima nie pozwala obalić teorii o ocieplaniu się klimatu. Czytelnicy „Fizyki w Szkole” zapewne pamiętają, że tematyka geofizyczna jest też szeroko reprezentowana na łamach naszego periodyku.

Zainteresowania Giorgia Parisi z Uniwersytetu La Sapienza w Rzymie były bardziej szerokie. Jego modele znalazły zastosowanie zarówno w fizyce atomowej, jak i w inżynierii materiałowej czy też w dziedzinie sztucznej inteligencji.

Co z tym grafenem?

Jakub Kierdaszuk

[Uwaga, **trudne terminy** zaznaczono na zielono. Ich znajomość nie jest konieczna do zrozumienia tekstu i czerpania z niego przyjemności, ale są ciekawe, dlatego na koniec tekstu zamieszczam krótkie wyjaśnienie.]

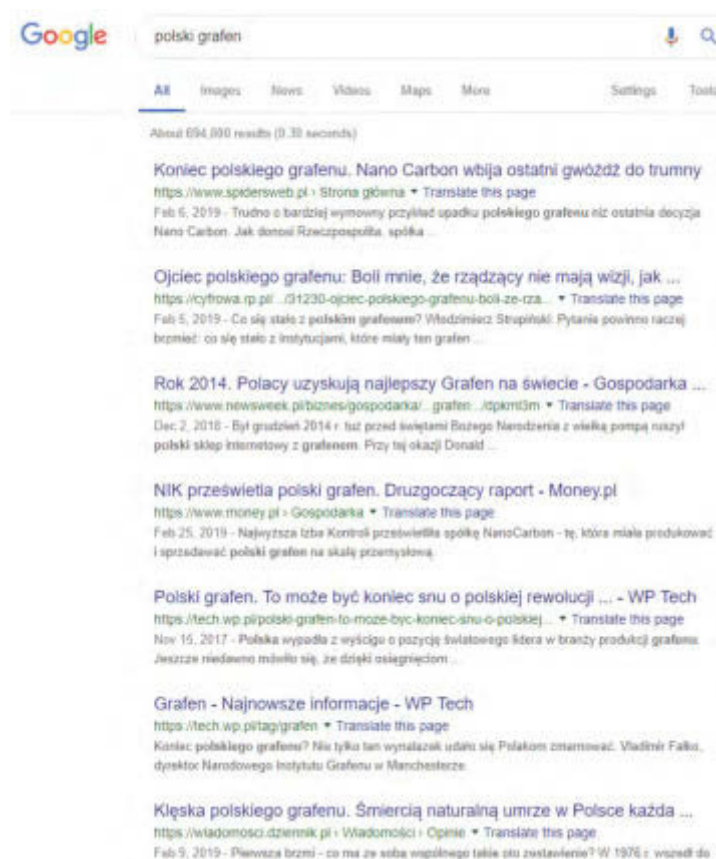
Zapewne każdy słyszał o grafenie, cudownym materiale przyszłości, który zrewolucjonizuje świat, unowocześni elektronikę i wyleczy raka. Co więcej, wielu z Was mogło usłyszeć o tym, że Polacy opracowali „polski grafen”. Tymczasem, po wpisaniu w google frazy polski grafen wyskakują hasła:

„Koniec polskiego grafenu.”, „Polski grafen. To może być koniec snu o polskiej rewolucji”, „Kłęsa polskiego grafenu”. To tylko początek mało przyjemnej wyliczanki (artykuł z Newsweeka również nie kończy się optymistycznie). Pewnie u każdego rodzi się myśl jak to jest z tym grafenem?

Czym jest grafen?

Aby wyjaśnić całe zamieszanie zaczniemy od początku. Czym w ogóle jest grafen? To pojedyncza dwuwymiarowa warstwa atomów węgla. Można ją porównać do warstwy piłeczek pingpongowych o grubości jednej piłeczki. W graficie atomy węgla ułożone są w trzech wymiarach. W tym przypadku piłeczki pingpongowe usypują się równomiernie na powierzchni tworząc kolejne warstwy atomów. Jedna warstwa grafitu to warstwa grafenu. Cemu cienki grafen jest ciekawszy od grubego grafitu? Aby to wyjaśnić posłużmy się analogią do szkoły. Można w nim wyróżnić szereg grup: uczniów, nauczycieli, sprzątaczek itp. Zachowania prezentowane przez grupy zależą nie tylko od interakcji w jej obrębie, ale i wzajemnej interakcji między grupami. Na wyjeździe integracyjnym bezładnej

wyspie samotni uczniowie będą zachowywać się zupełnie inaczej niż podczas wyjazdu z nauczycielami czy też podczas zajęć w szkole. Analogicznie dzieje się z węglem, otoczenie pojedynczej warstwy atomów węgla diametralnie zmienia jego właściwości. Co się stanie zatem jeśli odseparujemy pojedynczą warstwę węgla od podłoża tworząc grafen?



Rys. 1. Wyniki wyszukiwania „polski grafen”.

Grafen cechuje się **liniową dyspersją nośników**. Pod tym trudnym sformułowaniem kryje się to, że grafen jest bardzo dobrym przewodnikiem prądu. Dodatkowo jest wytrzymały, dobrze przewodzi ciepło i jest niemal przezroczysty. Z tych powodów planowane jest zastosowanie grafenu w konstrukcji ekranów dotykowych w telefonach. Płaska i cienka elektroda grafenowa szybciej i precyzyjniej reagowałaby na wskazanie palca. Ponadto można wyobrazić zastosowanie grafenu do zbudowania czujnika gazów oraz zanieczyszczeń.

Pojedyncza warstwa węgla jest czuła na zmiany czynników zewnętrznych. Badając przepływ prądu można oszacować stężenie substancji stykającej się z grafenem. Czułe pomiary tego typu są kluczowe dla medycyny czy ekologii. Wydajne przewodnictwo grafenu może pozwolić udoskonalić ogniwa słoneczne. Pojedyncza warstwa grafenu absorbuje zaledwie 2,3% światła co zwiększy ilość światła padającego na ogniwo.

Ponieważ grafit występuje powszechnie na ziemi wydawałoby się, że nie powinno być problemem przerobienie go na grafen. Jednak przez wiele lat nikt nie zaprezentował szerszej publiczności wyników badań, które potwierdziłyby przypuszczenia teoretyczne dotyczące właściwości grafenu. Dopiero w 2004 roku dwoje rosyjskich badaczy Andre Geim i Konstantin Novoselov otrzymali pierwsze próbki grafenu, na których wykonali swoje przełomowe badania. Stały się one podstawą szeregu wysoko cytowanych prac w czołowych czasopismach fizycznych. Umożliwiły im również późniejsze uzyskanie nagrody Nobla z fizyki w 2010 roku.

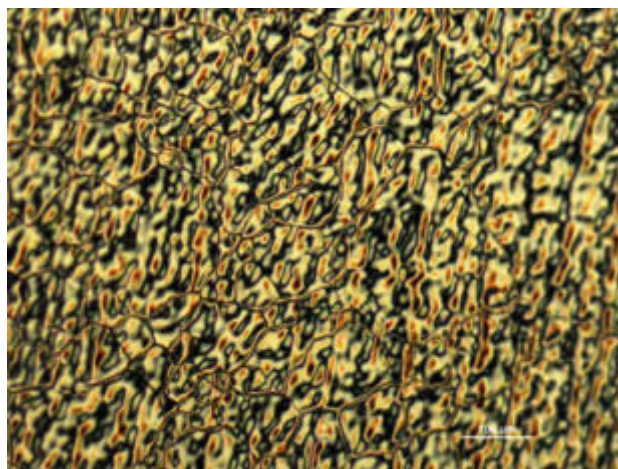
Na czym polega eksfoliacja? Czy ta naukowa nazwa oznacza, że niezbędny jest drogi sprzęt, duża wiedza i miesiące pracy wykwalifikowanych лаборantów? Nic bardziej mylnego, metoda ta jest niezwykle tania, szybka, prosta i co więcej za jej pomocą możecie uzyskać grafen w domu! Potrzebujecie tylko grafitu (ponoć najlepszy jest syberyjski, ale na początek wystarczy ten z ołówka) oraz taśmy klejącej. Do grafitu przyklejamy taśmę klejącą. Po odklejeniu taśmy pozostanie na niej cienka warstwa grafitu. Nowatorskie podejście zrealizowane przez późniejszych noblistów polegało na cyklicznym sklejanu i odklejaniu taśmy. Można to przyrównać do odklejania warstw węgla warstwa po warstwie. Warstwa grafitu stała się coraz cieńsza, aż w końcu jej grubość spadła do grubości jednej warstwy atomowej.



Rys. 2. DIY – grafen, czy to nie jest piękne jak prosto możemy wytwarzać nanostruktury?

Nowe metody wytwarzania

Jednak pierwsza zastosowana metoda wytwarzania grafenu pozwoliła uzyskać jedynie małe kawałki grafenu rzędu mikronów. Pomogło to w uzyskaniu ciekawych wyników naukowych, ale całkowicie nie nadaje się do wdrożenia do masowej produkcji (chyba, że ktoś wyobraża sobie halę pełną eksfoliatorów sklejących i rozklejących taśmę klejącą). Dlatego zaproponowano nowe metody wzrostu. Jedną z nich jest **osadzaniem z fazy gazowej** na miedzi. Do pieca wkłada się blachę miedzianą i włącza grzanie. Następnie do pieca włącza się metan. Metan to taka kulka węgla z czterema małymi kulkami wodoru. Kulki osadzają się na miedzi, gdzie zachodzi reakcja chemiczna. Węgiel łączy się z węglem tworząc grafen, a wodor ulatuje z komory. Za pomocą dużego pieca możliwe jest uzyskanie warstwy grafenu o wymiarach nawet ćwierci metra kwadratowego! Poniżej prezentuję zdjęcie z mikroskopu optycznego powierzchni grafenu na miedzi.



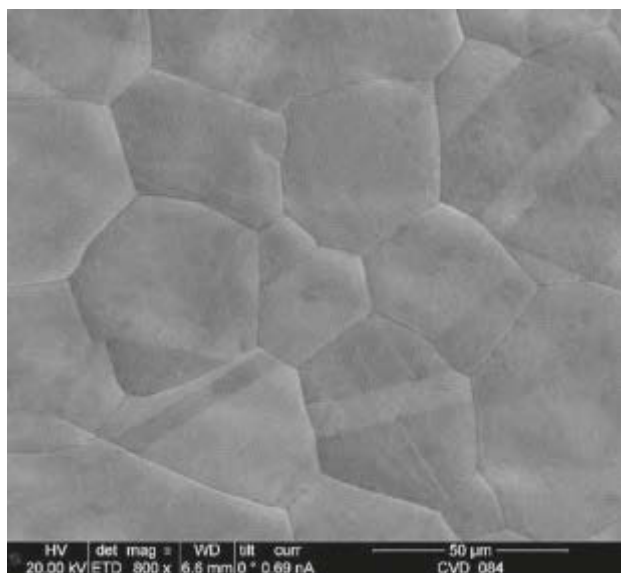
Rys. 3. Powierzchnia grafenu na miedzi zobrazona za pomocą kontrastu Nomarskiego.

Surrealistyczna abstrakcja to efekt zastosowania **kontrastu Nomarskiego**, który pomaga w obserwacji nierówności materiału w mikroskopie optycznym. W przypadku powyższego zdjęcia uwidacznia on nierówności powierzchni miedzi oraz jej ziarna. Nierówności w makroskali można obejrzeć dokładniej w wyższej rozdzielczości pod **mikroskopem elektronowym**.

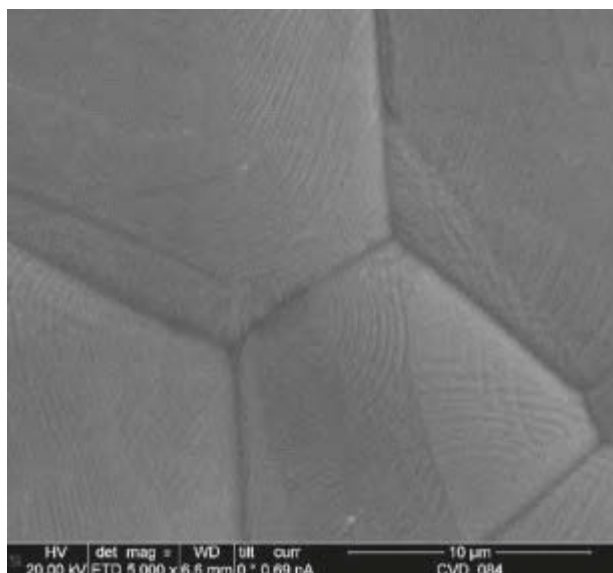
Powierzchnia miedzi nie jest jednorodna, składa się z ziaren. Przy większym powiększeniu uwidaczniają się krystaliczne stopnie miedzi. Ciemniejsze obszary sugerują obecność więcej niż jednej warstwy grafenu. Jest to związane z obecnością defektów, wokół których rosną dodatkowe warstwy materiału. Grafen na miedzi rośnie szybko, można go przenosić na inne podłoża, ale jego jakość ogranicza widoczna na zdjęciach nierówność powierzchni miedzi, która jest również źródłem defektów.

Co ma płaszczak z grafenem?

Czemu jest to tak istotne? Posłużmy się analogią do dwuwymiarowych płaszczaków. Będąc dwuwymiarowym płaszczkiem możemy poruszać się w każdym kierunku do momentu, w którym napotkamy barierę. Barierę możemy



Rys. 4. Zdjęcie mikroskopii elektronowej grafenu na miedzi.



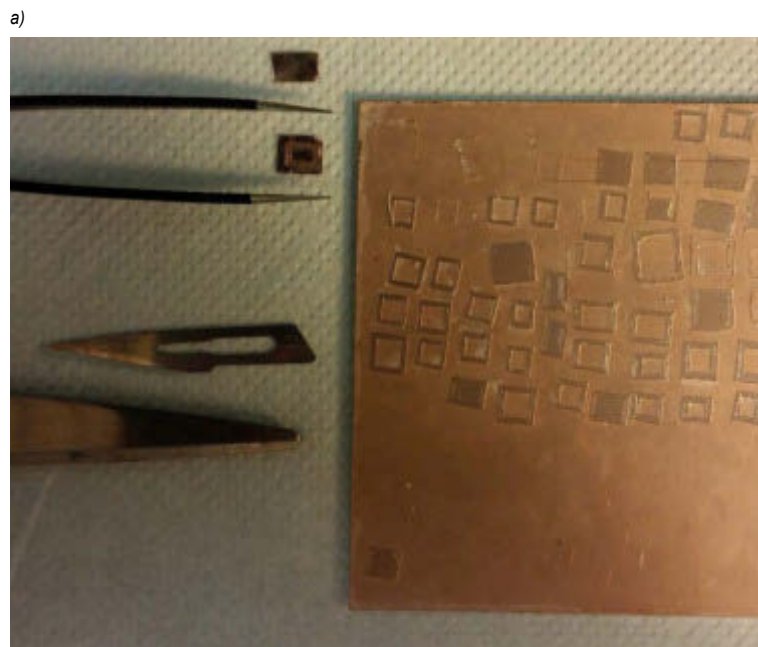
obejść prawa lub lewą stronę, ale nie przeskoczmy jej. W naszym płaskim świecie góra i dół nie istnieją. Z tego powodu nawet niewielka liczba defektów grafenu pogarsza jego właściwości. Opóźnia to wprowadzenie urządzeń z grafenowymi elementami.

Na szczęście kryzys nie jest nie do rozwiązania i naukowcy opracowali szereg metod wzrostu grafenu, które częściowo rozwiązują ten problem. Swoje dwie cegiełki dołożyli również Polacy. W Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych w Warszawie nadal prowadzą badania nad poprawą wzrostu grafenu oraz konstruowaniu opartych na nim urządzeń. Opracowali także ciekawą metodę przenoszenia grafenu z miedzi na inne podłoża przy pomocy przezroczystej ramki.

Grafen jest cienki i nie można go tak po prostu oderwać z miedzi i przykleić na inne podłoże. W celu zabezpie-

czenia go przed uszkodzeniem, na powierzchnię grafenu na miedzi można nakleić cienką ramkę wyciętą z kawałka polimeru PDMS (Rys. 5a). Następnie umieszczamy ramkę z grafenem na miedzi na powierzchni roztworu nadsiarczanu amonu (Rys. 5b). Ta substancja chemiczna pozwala wytrawić miedź pozostawiając grafen nienaruszony.

Każda ciecz pod wpływem zewnętrznych zaburzeń takich jak wstrząsy czy pęd powietrza lekko fąluje. Ramka rozbija takie drgania, dzięki czemu grafen pozostaje bezpieczny zarówno podczas trawienia jak i dalszego płukania wodą. Grafen wygląda wtedy jak szara błona. Następnie do naczynia z wodą wkłada się docelowe podłoże. Przy pomocy strzykawki i pęsety odsącza się wodę i jednocześnie nakierowuje go na docelowe podłoże. Po suszeniu próbki przez całą dobę jest ona gotowa do dalszych badań.



Rys. 5. a) naklejanie ramki z polimeru PDMS na powierzchni grafenu na miedzi, b) ramka z grafenem pływa w naczyniu podczas trawienia miedzi.

Na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego często badamy grafen za pomocą spektroskopii ramanowskiej. Czym jest spektroskopia Ramana? Kiedy światło pada na dany materiał zazwyczaj ulega rozproszeniu a energia jego kwantu, fotonu, nie zmienia się. To rozpraszanie odpowiada między innymi za niebieski kolor bezchmurnego nieba w dzień oraz barwne zachody słońca wieczorem. Jeden foton na milion może wzbudzić drganie atomów materiału. To wzbudzenie obniża energię rozproszonego fotonu. W grafenie ta zmiana energii fotonu zależy od szeregu czynników takich jak naprężenie grafenu, liczba nadmiarowych elektronów czy oddziaływanie z podłożem.

Badając oddziaływanie grafenu ze światłem jesteśmy w stanie określić jak dane podłoże zmienia grafen. Jeśli myślimy zarówno o poprawie jakości grafenu jak i konstrukcji opartych na nim urządzeń, niezbędnym staje się prześledzenie tych fundamentalnych oddziaływań. Łącząc dwa materiały nigdy nie uzyskamy najlepszych właściwości każdego z nich. Poprzez umiejętne połączenie, możemy zaprząć fizykę do uzyskania maksymalnego efektu co zwiększy naszą wiedzę a w przyszłości być może przyniesie nową rewolucję technologiczną. Niestety, przezwyciężenie problemów technologicznych takich jak obniżenie liczby defektów w grafenie wymaga czasu. Potencjalne korzyści z zastosowania grafenu są tak ogromne, że inwestycja w dalsze badania to ryzyko zdecydowanie warte podjęcia.

Jakub Kierdaszuk

Instytut Fizyki Doświadczalnej, Zakład Fizyki Ciała Stałego

Słowniczek

Liniowa dyspersja nośników – dyspersja to zależność energii elektronu od jego częstotliwości, czyli od tego jak szybko drga. Kształt tej zależności zależy od badanego materiału. Liniowa zależność dla elektronów w grafenie skutkuje jego niezwykłymi właściwościami.

Osadzanie z fazy gazowej – metoda wzrostu materiału, w której cienkie warstwy materiałów stałych są wytwarzane z gazów wtłaczanych do specjalnego pieca.

Kontrast Nomarskiego – metoda obrazowania, w której w mikroskopie optycznym umieszcza się dodatkowe dwa związane ze sobą pryzmaty. Taki układ optyczny umożliwia zaobserwowanie quasiprzestrzennego obrazu, który pomaga w ocenie stopnia nierówności próbki.

Mikroskop elektronowy – mikroskop, w którym obraz jest tworzony za pomocą wiązki elektronów. Zastosowanie elektronów, których długość fali jest znacznie krótsza niż długość fali światła widzialnego pozwala uzyskać wyższą rozdzielczość.

PDMS - Poli(dimetylosiloksan), organiczny związek chemiczny składający się z krzemu, tlenu oraz węgla i wodoru.

Co w fizyce piszczy

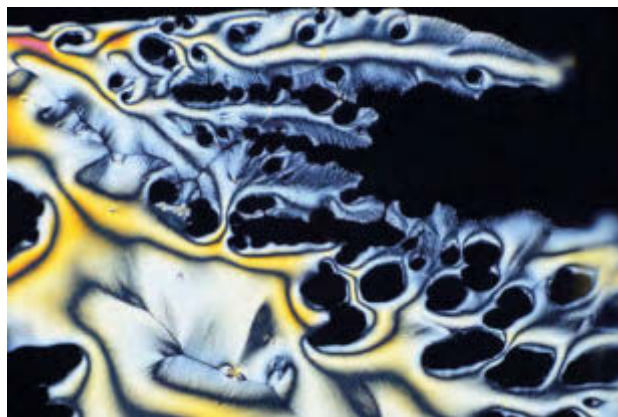
Nowy model materiałów

Gdyby metalurg odkrył stop, który mógłby radykalnie poprawić osiągi samolotu, pasażer mógłby wsiąść do samolotu wykonanego z tego stopu dopiero po dwudziestu latach. Tyle trwają badania właściwości, trwałości i stopnia bezpieczeństwa nowych materiałów pod wpływem temperatury i innych czynników. Ten długotrwały proces znacznie opóźnia wprowadzenie do produkcji innowacyjnych materiałów.

Profesorowie Gregory Rohrer i Robert Suter z Wydziału Materiałoznawstwa i Inżynierii oraz Wydziału Fizyki Uniwersytetu Carnegie Mellon wykazali, że można skrócić proces badawczy. Korzystając z wysokoenergetycznej mikroskopii dyfrakcyjnej bliskiego pola (HEDM), odkryli, że ustalony model do przewidywania mikrostruktury i właściwości materiału nie ma zastosowania do materiałów polikrystalicznych i potrzebny jest nowy model.

Na pierwszy rzut oka najczęściej używane metale, stopy i ceramika stosowane w sprężeniu i produktach przemysłowych i konsumenckich wydają się być jednolicie stałe. Ale na poziomie mikroskopowym są polikrystaliczne, zbudowane z ziaren o różnych rozmiarach, kształtach i orientacjach kryształów. Ziarna są połączone ze sobą siecią granic ziaren, które przesuwają się pod wpływem czynników stresogennych, zmieniając właściwości materiału.

Przez ostatnie 70 lat naukowcy przewidywali zachowanie materiałów, korzystając z teorii, która mówi, że prędkość, z jaką granice ziaren poruszają się w rozgrzanym



Kryształ w spolaryzowanym świetle – Foto Adobe Stock

materiale, jest skorelowana z kształtem granicy. Rohrer i Suter wykazali, że teoria ta, sformułowana w celu opisanie najbardziej idealnego przypadku, nie ma zastosowania w rzeczywistych polikryształach, gdyż często granice ziaren polikrystalicznych nie poruszają się nawet w kierunku, który przewidywał model.

HEDM i powiązane z nim techniki pozwalają na niszczące obrazowanie tysięcy kryształów i pomiar ich orientacji w nieprzezroczystych metalach i ceramice. Można w uproszczeniu ją porównać do rentgenowskiego 3D.

Źródło: <https://www.sciencedaily.com/releases/2021/10/211007145913.htm>

Co można wygrać w konkursie naukowym?



Zwykle, żeby wygrać konkurs naukowy trzeba mieć wiedzę i dobrze odpowiedzieć na zestandaryzowane pytania. Ta zasada jest prawdziwa w przypadku olimpiad przedmiotowych, jednak są konkursy, w których trzeba wytworzyć wiedzę, a największą wygraną jest życzliwy kontakt z doświadczonymi ekspertami i inspirująca znajomość z rówieśnikami. Takie są właśnie *Odkrycia* – Polska Edycja European Union Contest for Young Scientists (EUCYS), czyli wielodyscyplinarny przegląd uczniowskich projektów naukowych.

Do *Odkryć* przyjmowane są prace teoretyczne lub doświadczalne z zakresu nauk ścisłych, przyrodniczych oraz społecznych, a także projekty techniczne. Badania muszą być zrealizowane przez uczniów przed zakończeniem edukacji na poziomie szkoły ponadpodstawowej. Mogą być prowadzone indywidualnie lub w dwu- i trzyosobowych zespołach.

Zwykle udział w konkursie naukowym to szansa na przywileje w rekrutacji na studia, możliwość startu

w etapie międzynarodowym, a niekiedy także nagrody finansowe lub rzeczowe. *Odkrycia* dają to wszystko, ale co ważniejsze przynoszą też:

- **gwarancję rzetelnej oceny i wsparcia merytorycznego** – od recenzji specjalistycznych, przez rozmowy z członkami jury, po konsultacje eksperckie dla autorów prac,
- **możliwość nawiązania cennych kontaktów naukowych** wśród doświadczonych badaczy, ale także rówieśników z pasją,
- **satysfakcję i motywację** do podążania obraną ścieżką naukową oraz do realizacji samodzielnych projektów badawczych.

Laureaci wcześniejszych edycji *Odkryć* właśnie te doświadczenia cenią najbardziej: „Dzięki EUCYS nauczyłem się dosłownie wszystkiego: hydrodynamiki, analizy danych, symulacji, przeprowadzania eksperymentów, ale przede wszystkim współpracy, umiejętności dyskusji, dążenia do postawionego celu, cieszenia się nauką i wspólnie przeżywaną przygodą” – wspomina młody fizyk Michał Bączyk, współautor projektu wyróżnionego I nagrodą główną w EUCYS 2015 w Mediolanie. Także dr Agata Karska, która otrzymała nagrodę specjalną podczas EUCYS 2005 w Moskwie twierdzi, że konkurs był dla niej ważnym doświadczeniem: „pozwolił mi poznać metody pracy badawczej oraz bardziej świadomie wybrać ścieżkę kariery”.

Na zgłoszenia do kolejnej edycji *Odkryć* czekamy do 15 grudnia 2021 r.

Więcej informacji znajduje się na stronie

www.fundusz.org/odkrycia.

Na pytania chętnie odpowiemy pod adresem

konkurs@fundusz.org lub numerem telefonu **506765578**.

Organizatorem *Odkryć* –
Polskiej Edycji EUCYS jest:

Patronatu honorowego konkursowi
udzieliła:

Organizację EUCYS w Polsce
wspiera:

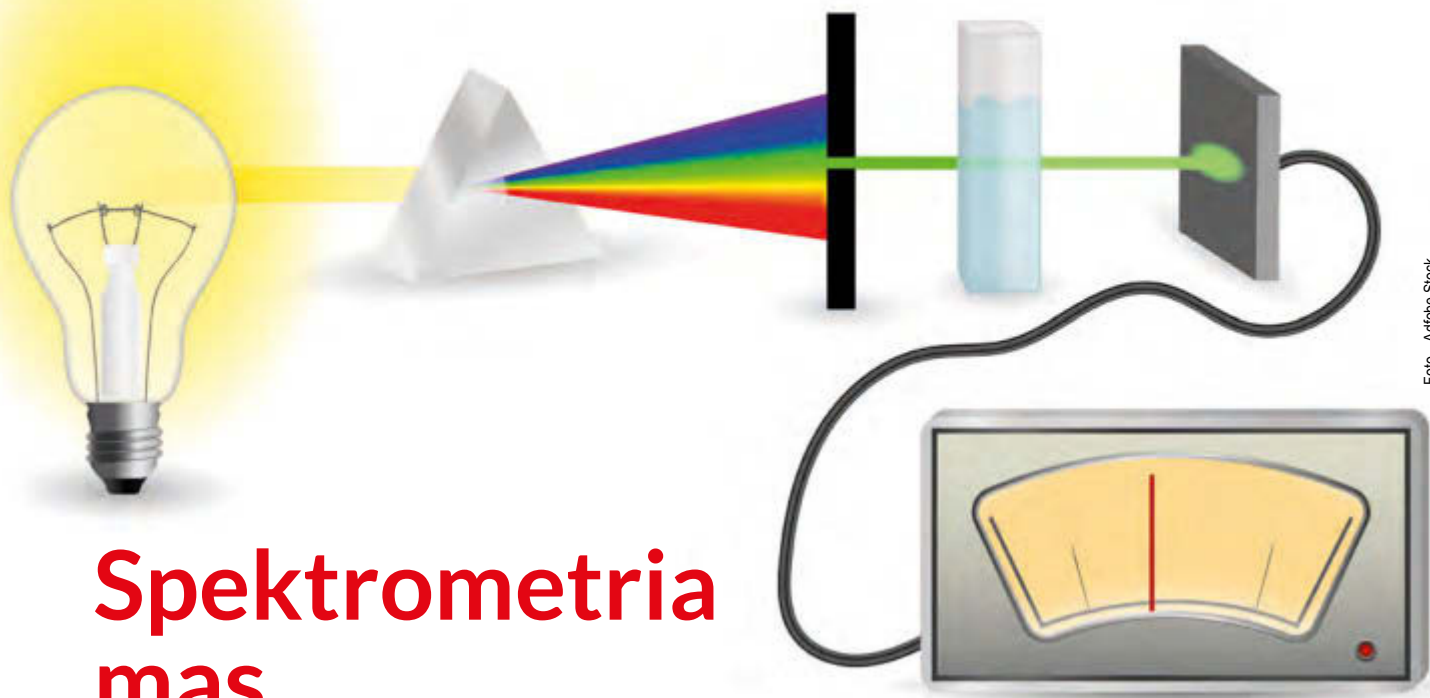


Foto – Adobe Stock

Spektrometria mas

Spektrometria mas ma szerokie zastosowanie w bardzo różnorodnych badaniach fizycznych i fizykochemicznych. Pomiar sprowadza się bezpośrednio do wyznaczenia tylko jednego lub najwyżej trzech parametrów charakteryzujących daną wiązkę jonową: masy jonów, zawartości jonów poszczególnych mas w wiązce jonowej i ich energii.

Andrzej Wasiak

Za pomocą spektrometru mas można z interesującą nas próbki gazowej, cieczy lub ciała stałego uzyskać wiązkę jonową, przeprowadzić jej rozdzielanie w zależności od mas jonów zawartych w wiązce, a następnie zmierzyć natężenia prądów jonowych odpowiednich mas.

Obok źródła jonów i układu pomiarowego trzecią ważną częścią aparatury jest układ analizujący wiązkę. Do analizy stosuje się najczęściej jednorodne wektorowe pole magnetyczne, rzadziej radialne pole elektryczne lub kombinacje tych pól. Mają one własności ogniskowania tj. wytwarzania obrazu przedmiotu oraz własność dyspersji mas. Ta druga pozwala na uzyskanie widma mas badanej wiązki jonowej, co w następstwie umożliwia jej analizę.

Wektorowe pole magnetyczne

Załóżmy, że jednorodne pole magnetyczne o kącie rozwarcia φ_m , dla którego wektor indukcji magnetycznej B , wchodzi prostopadle do B rozbieżna wiązka jonów. Ładunek jonów oznaczmy $q = ne$, gdzie e jest ładunkiem elementarnym, zaś n – krotnością jonizacji, a przez m – masę jonów.

Oznaczając prędkość jonów symbolem v , a promień krzywizny toru jonu w polu magnetycznym r_m , możemy zapisać równość siły dośrodkowej i siły Lorentza

$$\frac{mv^2}{r_m} = qvB, \quad (1)$$

a stąd wyrażenie na promień krzywizny toru w polu magnetycznym

$$r_m = \frac{mv}{qB}. \quad (1a)$$

W szczególnym przypadku możemy w pole magnetyczne wprowadzić monoenergetyczną wiązkę jonów uzyskaną dzięki przyspieszeniu ich określoną różnicą potencjału U

$$qU = \frac{1}{2}mv^2. \quad (2)$$

Eliminując v ze wzorów (1) i (2) otrzymujemy

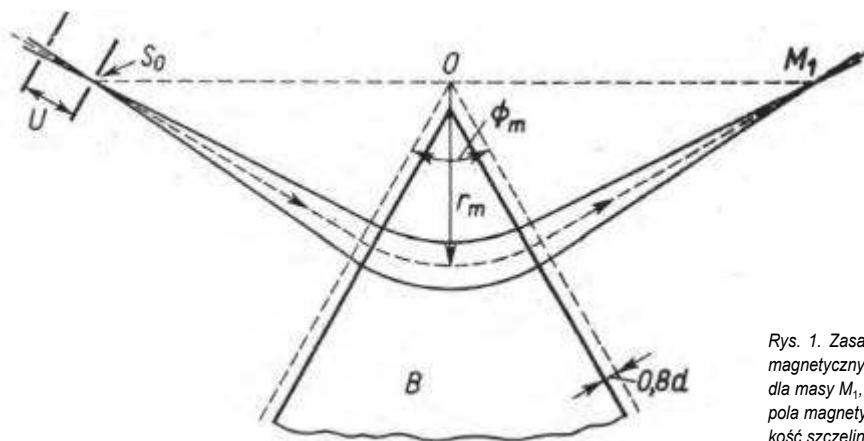
$$r_m = \frac{\sqrt{2}}{B} \sqrt{\frac{mU}{q}},$$

lub też

$$\frac{m}{q} = \frac{r_m^2 B^2}{2U}. \quad (3)$$

Za pomocą wektorowego pola magnetycznego (Rys. 1), działającego na monoenergetyczną wiązkę jonów, można wyznaczyć stosunki $\frac{M}{q}$, a przy pomocy znanej krotności jonizacji wprost masy jonów. W spektrometrze mas, promień krzywizny r_m jest stały i określony układem szczelin.

Widmo mas można więc uzyskać w dwojaki sposób: ustalając napięcie przyspieszające jony U , a tym samym



Rys. 1. Zasada ogniskowania wiązki jonowej w wektorowym polu magnetycznym; S_0 – szczelina źródła jonów, M_1 – obraz szczeliny dla masy M_1 , U – napięcie przyspieszające jony, ϕ_m – kąt rozwarcia pola magnetycznego, r_m – promień krzywizny toru jonów, d – szerokość szczeliny elektromagnetycznej

i ich energię i zmieniając pole magnetyczne B lub też odwrotnie, przy stałym polu magnetycznym zmieniając napięcie przyspieszające. W pierwszym przypadku wzór (3) można zapisać w postaci

$$\frac{m}{q} = C_1 B^2, \quad (4)$$

tzn. skala mas jest proporcjonalna do B^2 , w drugim zaś przypadku

$$\frac{m}{q} = C_2 \frac{1}{U}, \quad (4a)$$

jest proporcjonalna do $\frac{1}{U}$.

Stałe C_1 i C_2 zależą od doboru jednostek i wyboru krotkości napięcia przyspieszającego lub wektora B .

Jeżeli masę jonu wyrazimy w jednostkach masy atomowej M , promień krzywizny w metrach, U w woltach i B w teslach, ładunek zaś w wielokrotności e , na miejscu (3) mamy zależność

$$\frac{M}{n} = 4,8 \cdot 10^{-7} \frac{r_m^2 B^2}{U}. \quad (5)$$

W spektrometrze mas promień krzywizny określony jest geometrią aparatury, w szczególności układem szczelin i w czasie pomiaru pozostaje stały. Na kolektorze spektrometru zostają więc zogniskowane jony o wybranej wartości $\frac{M}{q}$ w zależności od przyłożonego napięcia przyspieszającego U i wartości pola magnetycznego B .

Przy zdejmowaniu widma mas jeden z dwu ostatnich parametrów ustalamy, drugi zaś zmieniamy. Ponieważ zmiana napięcia przyspieszającego jony może wpływać na własności ogniskujące układu przyspieszającego, zazwyczaj ustalamy napięcie, a tym samym i energię jonów, zmieniamy zaś pole magnetyczne. Ograniczając się do jonów pojedynczo naładowanych wzór (5) zapisujemy w postaci

$$M = KB^2, \quad (6)$$

gdzie K jest stałą, zależną od promienia krzywizny toru jonów w polu magnetycznym i wybranego napięcia przyspieszającego. W widmie uzyskanym droga zmiany pola magnetycznego skala mas, jak wynika z (6), zależy

od kwadratu B . Jeżeli zdejmujemy widma pierwiastków o średniej lub dużej liczbie masowej w niezbyt szerokim zakresie mas, fakt ten nie odgrywa większej roli.

Inne typy spektrometrów masowych

W badaniach naukowych najczęściej używa się magnetycznych spektrometrów masowych, dzięki którym można najbardziej precyzyjnie badać widma masowe. Odnaczają się one między innymi wysoką zdolnością rozdzielczą, średnio o wartości 1000. Zdolność rozdzielcza 1000 oznacza, że spektrometr jest zdolny rozdzielić masy 999 i 1000. Tak wysokie zdolności nie są możliwe przy użyciu innych spektrometrów masowych, których zdolności rozdzielcze nie przekraczają zwykle wartości 100. Spektrometr magnetyczny wymaga jednak zastosowania ciężkiego elektromagnesu, co uniemożliwia jego użycie np. w aparatach latających.

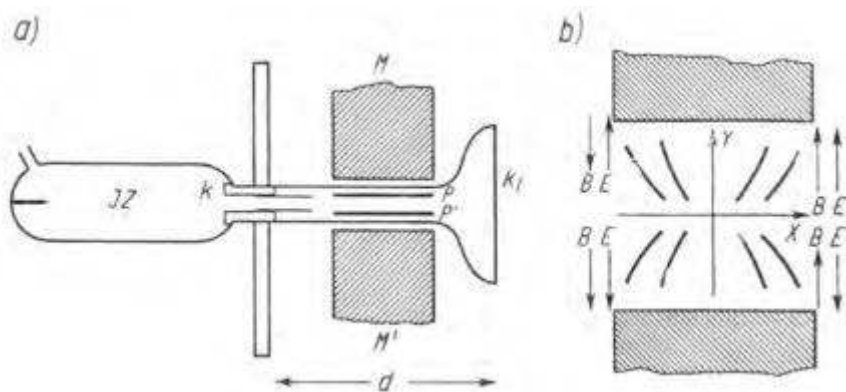
1. Spektrometr paraboliczny

Do wyznaczania stosunku masy jonów do ładunku Thomson jeszcze w roku 1913 zastosował wzajemnie prostopadłe pola elektryczne i magnetyczne, działające prostopadłe do wiązki jonowej. Przy użyciu wiązki jonowej z jarzeniowego źródła jonów, na kliszy fotograficznej ustawionej prostopadłe do wiązki jonów można obserwować w odpowiedniej ćwiartce kliszy układ parabol (Rys. 2).

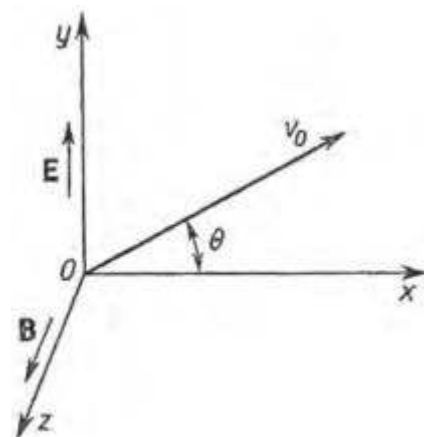
Każdej z parabol odpowiada inny stosunek $\frac{M}{e}$, jednak położenie na paraboli zależy od prędkości jonów. Jony z większymi prędkościami leżą bliżej środka kliszy. Odchylenie polem elektrycznym następuje w kierunku osi Y , polem magnetycznym w kierunku osi X .

2. Spektrometr trochoidalny

Cząstki naładowane, wbiegające we wzajemnie prostopadłe pola – jednorodne pole elektryczne i jednorodne pole magnetyczne – mogą być ogniskowane w zależności $\frac{M}{q}$ w szerokim zakresie różnych prędkości i dla wiązek o znacznym kącie rozwarcia. Ta zasada ogniskowania znana była dla elektronów i została zastosowana po raz pierwszy w roku 1938 dla jonów w spektrometrze mas specjalnej konstrukcji.



Rys. 2. a) Schemat aparatury Thomsona i układ parabol JZ, b) Obrazy parabol na kliszy fotograficznej, zaznaczono tu kierunki pól dla danego układu; JZ – jarzeniowe źródło jonów, k – kanał jako szczelina wyjściowa, kl – klisza fotograficzna, P, P' – okładki kondensatora, M, M' – nabiegunki magnesu, d – odległość ekranu od szczeliny wyjściowej



Rys. 3. Częstka naładowana we wzajemnie prostopadłych polach E i B

Na rys. 3 pokazano prostopadły układ współrzędnych, kierunek pól E i B oraz kierunek v_0 prędkości emitowanej cząstki naładowanej.

Załóżmy, że v_0 leży w płaszczyźnie XY i tworzy z osią X kąt θ . W przypadku istnienia tylko pola magnetycznego jony emitowane z punktu O z prędkością v_0 zakreśliłyby okrąg powracając do punktu wyjściowego. Istnienie pola elektrycznego powoduje przesuwanie się środka okręgu ze stałą prędkością w kierunku prostopadłym do E i B i w ogólnym przypadku ruch jonów po trochoidzie. Prędkość przesuwania się środka O w przypadku, gdy v_0 jest równoległa do E może być znaleziona z równania

$$v_x = \frac{E}{B}.$$

Równania ruchu dla v_0 położonego w płaszczyźnie XY mogą być zapisane w postaci

$$m\ddot{x} = qB\dot{y}, \quad m\ddot{y} = qE - qB\dot{x} \quad (6)$$

gdzie m , q odpowiednio masa i ładunek jonu, B wektor indukcji pola magnetycznego; pochodne brane są względem czasu. Zasadę działania spektrometru trochoidalnego widzimy na rys. 4.

Obecnie tego typu przyrządy budowane są fabrycznie i używane do badania procesów jonizacyjnych w gazie,

w szczególności zjonizowanych fragmentów dysocjacji cząsteczek. Model wykonany przez amerykańską firmę Consolidated Electrodynamics Corporation ma zdolność rozdzielczą ok. 100. Umożliwia on ogniskowanie wiązek jonowych o kącie rozwarcia dochodzących do 12° .

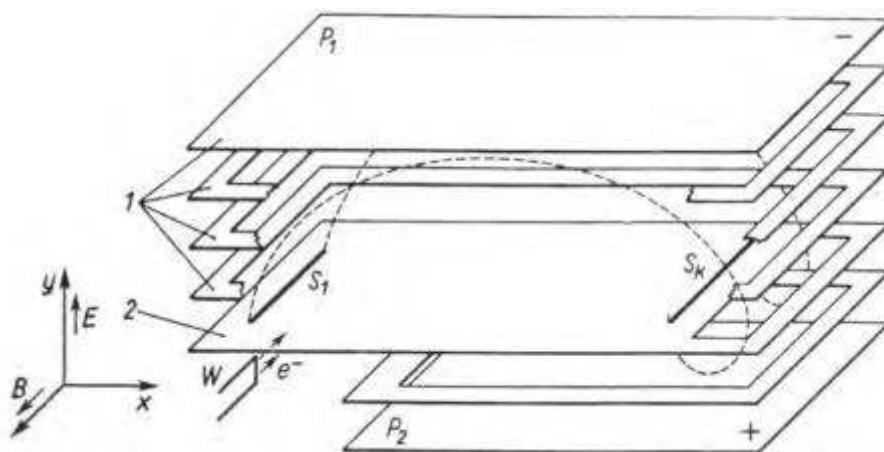
3. Spektrometr o częstotliwości radiowej

Schemat spektrometru o częstotliwości radiowej pokazano na rys. 5.

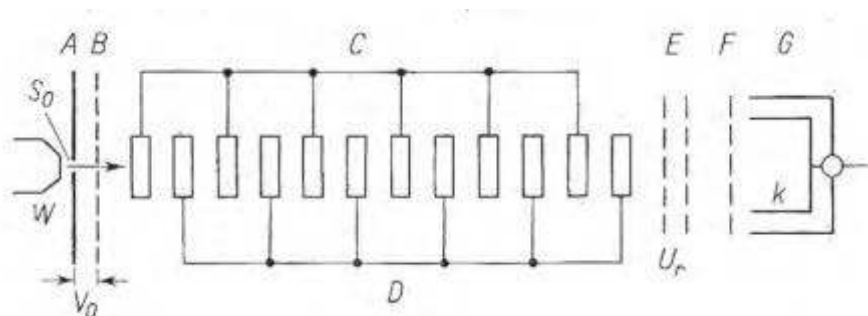
Jest to filtr elektryczny, działający na zasadzie akceleratora liniowego. Płaskie elektrody spektrometru zasilane są napięciem zmiennym częstotliwości radiowej. Wolframowa katoda emituje elektrony, które przyspieszane polem elektrycznym w obszarze W–A, jonizują gaz. Powstałe jony dyfundują przez otwór S_0 , następnie zaś są przyspieszane różnicą potencjałów U i z prędkością v wchodzą w układ siatek połączonych z generatorem wysokiej częstotliwości. Prędkość jonów wchodzących w układ siatek może być obliczona ze wzoru

$$v = 1,39 \cdot 10^4 \sqrt{\frac{nU}{M}} \left[\frac{m}{s} \right], \quad (8)$$

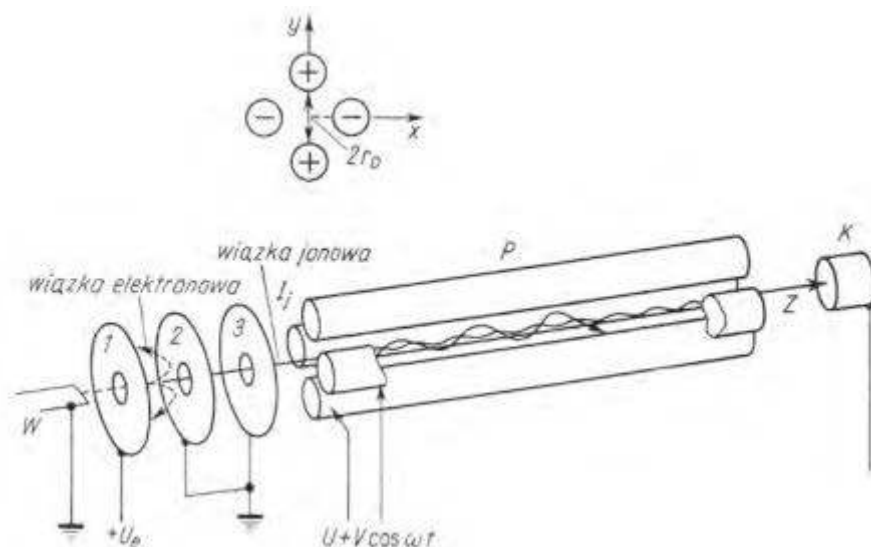
gdzie U – napięcie przyspieszające w woltach, M – masa jonu w jednostkach masy atomowej, n – krotność jonizacji.



Rys. 4. Zasada działania spektrometru cykloidalnego; W – wolframowa katoda, e^- wiązka elektronów, Sk – szczelina kolektora i kolektor jonów, P1, P2 – płyty wytwarzające pole elektryczne



Rys. 5. Schemat spektrometru ze zmiennym polem elektrycznym; W – katoda, A – blaszka z otworem o średnicy 0,05 mm, będącą szczeliną wejściową S_0 spektrometru, B – elektroda przyspieszająca o potencjale 500–1500 V, C, D – 12-stopniowy układ elektrod analizujących, k – kolektor z siatkami E i F eliminującymi jony ujemne i jony o niskiej energii, U_1 – napięcie hamujące jony



Rys. 6. Schematyczny rysunek spektrometru kwadrupolowego; W – katoda emitująca elektrony, I_j – wytworzona wiązka jonów, P – układ prętów tworzący kwadrupol

Zmienne napięcie na siatkach V – w porównaniu z napięciem przyspieszającym U jest niskie – rzędu 5 V, dlatego też prędkość jonów określonej masy mamy w układzie siatek możemy uważać za stałą. Przy odległości S między siatkami czas przebiegu w przybliżeniu jest stały i równy $S/v = T/2$.

4. Spektrometr kwadropolowy

Spektrometr kwadrupolowy odznacza się prostą konstrukcją, a jednocześnie umożliwia uzyskiwanie znacznych zdolności rozdzielczych. Jest to przyrząd małych rozmiarów, łatwo przenośny i może być stosowany do szybkiej analizy gazów o niskich ciśnieniach cząstkowych. Konstrukcja tego spektroskopu została podana na rys. 6. Układ elektrod jest zamknięty w cylindrycznej metalowej obudowie i może być łatwo wygrzewany. (Wygrzewanie spektrometru jest stosowane w celu usunięcia gazów zaabsorbowanych na elementach próżniowych spektrometru).

Elektrony wytworzone przez katodę W są przyspieszane napięciem U_0 do elektrody 1 i częściowo przechodzą

przez jej kołowy otwór, aby następnie między elektrodami 1 i 2 w zderzeniach z atomami gazu wytworzyć dodatnie jony. Powstałe jony są następnie przyspieszane do elektrody 2 i po przejściu przez diafragmę 3 wchodzi w postaci wiązki o przekroju kołowym w pole elektryczne kwadrupola zbudowanego z czterech prętów P ustawionych w odległości $2r_0$.

Małe spektroskopy budowane są często celem detekcji i analizy gazów resztkowych w aparaturach próżniowych.

Taki spektrometr był produkowany również w Polsce przez zakłady TEPRO z Koszalina.

Andrzej Wasiak

LITERATURA

- [1] Spektrometria mas i elektromagnetyczna separacja izotopów. Praca zbiorowa pod redakcją Włodzimierza Zuka. PWN 1980.
- [2] Barnard G.P., Modern Mass Spectrometry, The Institute of Physics, London 1983.
- [3] Segrè E., Experimental Nuclear Physics. 1, New York-London 1983.
- [4] Brünne C., Voshage H., Massenspektrometrie, Verlag Karl Thieme KG, München 1964.

W następnym numerze

Neutrino – ulotne cząstki elementarne

Neutrino to cząstki elementarne, które od prawie stulecia fascynują fizyków. Jest ich bardzo dużo we Wszechświecie – w ciągu sekundy przenika przez ludzkie ciało 100 000 000 000 000 neutrin pochodzących ze Słońca. Z drugiej strony neutrino przeniknie przez 10 000 000 000 000 000 ludzi, zanim oddziałuje w człowieku. Czyli neutrino rzadko oddziałuje z materią, przez co bardzo trudno jest je złapać.

Fizyk prawie zapomniany – Mieczysław Władysław Wolfke

Prekursor holografii i nie tylko

„W każdym razie wierzył w poznawalność prawdy i w sens dążenia ku niej.

Uważał natomiast, że drogi do prawdy mogą być różne....

Oficjalna nauka zresztą także ustawicznie powiększa swój zasięg.

Stąd jego tolerancja i szacunek do cudzych poglądów i pomysłów”

Karol Wolfke – Syn¹

Kazimierz Mikulski

Polski fizyk **Mieczysław Władysław Wolfke** (1883-1947) to prekursor telewizji i holografii, a także odkrywca metody zestalenia helu oraz dwóch odmian ciekłego helu oraz innych badań i odkryć w fizyce. Profesor Politechniki Warszawskiej.

Był jedynym synem inżyniera drogowego Karola Juliusza Wolfkego, z zamiłowania chemika oraz Lucyny z Kościńskich, siostry fizyka, pracownika Uniwersytetu Jagiellońskiego, Gustawa Kościńskiego, podpisanego razem z Zygmuntem Wróblewskim (1845-1888) i Karolem Olszewskim (1846-1915) na protokole obserwacji skroplenia tlenu w 1883 r., ucznia Mendelejewa, Helmholtza oraz chemika Fremy'ego. Co niewątpliwie wówczas mia-

ło wpływ na kierunki zainteresowań badawczych przyszłego uczonego.

W 1892 r. wraz z rodzicami, ze względu na pracę ojca, zamieszkał w Częstochowie. Mając 12 lat (1895 r.) napisał rozprawę „Planetostat” nt. podróży międzyplanetarnych statkami napędzanymi siłą odrzutu, a przedstawione hipotezy poparł odpowiednimi wzorami matematycznymi. Rozprawa została zakończona w 1903 r. i obejmowała 20 kartek. Po ukończeniu Gimnazjum Męskiego, kontynuuje naukę w Sosnowieckiej Szkole Realnej, w której w 1902 r. zdał egzamin maturalny. W wieku 17 lat opracował telektroskop – urządzenie pozwalające na przysyłanie obrazów za pomocą fal elektromagnetycznych. Interesujące, że w 1897 r. Jan Szczepanik, opatentował w Wielkiej Brytanii kolejny swój i równie rewolucyjny wynalazek. Telektroskop, bo o nim mowa, jak opisał go Wolfke, był

¹ Wolfke K., Wspomnienie o Ojcu, Mieczysławie Wolfke, Postępy Fizyki, tom 31, zeszyt 6, 1980 r. s.551-55

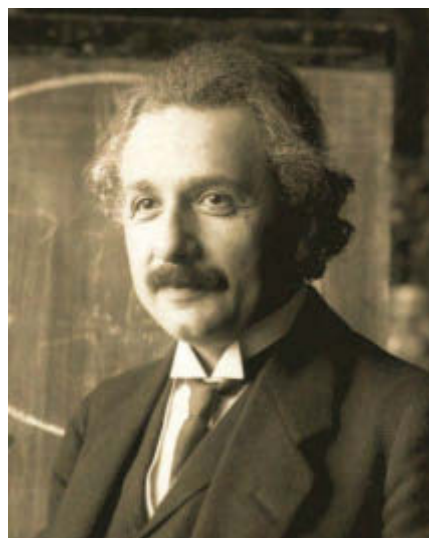


Foto. 1. Mieczysław Władysław Wolfke (1883 – 1947)

Foto. 2. Otto Lummer (1860-1925), niemiecki fizyk, który prowadził badania w dziedzinie optyki, skonstruował interferometr, znany też jako płytka interferencyjna Lummera-Gehrckego. W 1887 r. skonstruował fotometr (tzw. fotometr Lummera-Brodhuna).

Foto 3. Albert Einstein (1879-1955)

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/84/Mieczyslaw_Wolfke_Polish_physicist.jpg

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6e/Foto%2C_Portr%C3%A4t%2C_Otto_Richard_Lummer_-_Humboldt-Universit%C3%A4t_zu_Berlin.png

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/af/Einstein1921_by_F_Schmutzer_2.jpg

aparatem „do produkowania obrazów na odległość za pośrednictwem elektryczności”, bazującym na rozwiązaniach, które dużo później zastosowane zostały w technologii telewizyjnej. Wolfke otrzymał w dniu 30 listopada 1900 r. na telekroskop patent w Rosji i w Niemczech.

Napisał rozprawę pt. „*Telekroskop bez drutu. Aparat do przenoszenia obrazów za pomocą fal elektromagnetycznych. Wynalazek Mieczysława Wolfke*.” Jest to opracowana zasada telewizji oparta na modulacji sygnałów świetlnych przy pomocy tarczy wirującej z odpowiednią prędkością synchronizowaną ze stacją odbiorczą. Tarcza ta miałaby na swoim obwodzie odpowiednio wywiercone otwory, przez które przechodziłoby światło na komórkę fotoelektryczną sprzężoną z nadajnikiem fal elektromagnetycznych. Koncepcja ta została niezależnie wynaleziona znacznie później przez Nipkova (Tarcza Nipkova – z 1884 r.) i zastosowana w pierwszych stacjach telewizyjnych, przed opracowaniem bardziej wydajnych urządzeń telewizyjnych, np. ikonoskopu Zworykina (Władimir Kosmicz Zworykin (1889-1982).

W 1902 r. M. Wolfke wyjechał studiować fizykę i matematykę w Liège. W tym czasie pracuje w laboratorium fizycznym u prof. Pierre’a de Heena (1851-1915), ale ze względu na słabo wyposażone laboratorium w 1904 r. przeniósł się na paryską Sorbonę.¹ Niestety w 1907 r. nie zdał egzaminu licencjackiego i po przeprowadzce do Wrocławia i wstąpieniu na Uniwersytet Wrocławski, pracuje w Zakładzie Fizyki. Jeszcze przed promocją doktorską część wyników przygotowywanej przez niego rozprawy zostaje włączona jako osobny rozdział do książki opracowywanej przez Lummera i Reichego na temat teorii Ernesta Abbego (1840-1905) powstawania obrazu w mikroskopie. We wstępie do książki, datowanym 10 maja 1910 r., Lummer napisał: „[...] *Te rachunki przeprowadzone z naszej inspiracji przez Pana M. Wolfkego są próbierzem dokładności, z jaką doświadczenie jest opisywane przez teorię Abbego*.”

W 1910 r. z odznaczeniem zdobywa stopień doktora filozofii u Ottona Lummera,² za rozprawę: „*0 powstawaniu obrazów optycznych w mikroskopie*”.³

Po opatentowaniu w 1909 r. (skonstruowanie w 1911 r.) wspólnie z Karolem Ritzmannem lampy kadmowo-rtęciowej został zatrudniony w Zakładach Zeissa w Jenie. Praca w przemyśle nie odpowiadała jednak jego ambicjom.

W 1912 r. wyjechał do Karlsruhe, gdzie przez 4 miesiące pracował jako asystent prof. O. Lehmana w Zakładzie Fizyki miejscowej Politechniki. Następnie udał się do Zurychu, gdzie 26 maja 1913 r. uzyskał habilitację na tamtejszej Politechnice (Eidgenössische Technische Hochschule) na podstawie rozprawy pt. *Allgemeine Abbildungstheorie selbstleuchtender Objekte*. (tłum. *Ogólna teoria obrazowania obiektów samoświecących*). Recenzentami rozpra-

wy byli Albert Einstein (1879-1955) i Pierre-Ernest Weiss (1865-1940), a rok później na Uniwersytecie. Podczas pobytu w Zurychu, czyli do 1922 r., wykładał fizykę teoretyczną i doświadczalną na obu tych uczelniach. Pracował również dla firm Carl Zeiss oraz Brown Boveri, lecz propozycje stałej, dobrze płatnej, posady w przemyśle konsekwentnie odrzucał.

W 1920 r. opublikował pracę formułującą dwustopniową metodę odwzorowania optycznego. (w *Physikalische Zeitschrift*, 21, 495, (1920)).

Po odzyskaniu przez Polskę niepodległości uzyskał polski paszport i w 1920 r. został profesorem Uniwersytetu Warszawskiego. Nominację przyjął, lecz skutek kłopotów finansowych, a także braku laboratorium, pracy tej nie podjął.

W 1921 r. ponownie habilitował się na Uniwersytecie w Zurychu (recenzentem był m.in. Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887-1961).

W 1922 r. Wolfke został profesorem Politechniki Warszawskiej i wrócił na stałe do Polski. Na uczelni objął Zakład Fizyczny I, powstały z podziału przez władze uczelni Zakładu stworzonego przez prof. Wiktora Biernackiego na dwie części, a drugą objął prof. Stanisław Kalinowski.

W 1924 r. nawiązał współpracę z Instytutem Niskich Temperatur w Lejdzie. Na początku lat trzydziestych Wolfke przystąpił do organizacji wydzielonego Instytutu Niskich Temperatur, uruchamiając nawet pierwszą instalację.

W 1938 r. włączył się w organizację lotu polskiego balonu nazwanego „*Gwiazdą Polski*” do stratosfery. Pierwszą z prób spotkało niepowodzenie, druga zaś zaplanowana była na wrzesień 1939 r. W 1933 r. został członkiem Tymczasowego Komitetu Doradzo-Naukowego.

Po wybuchu wojny Wolfke trafił na Pawiak. Aresztowany 10 listopada 1939 r. wraz z synem Karolem spędził tydzień w celi numer 49 (*Karol pozostał tam trzy tygodnie*). W czasie okupacji kierował, za zgodą okupanta Zakładem Badawczym Fizyki Technicznej, a następnie wykładał w Państwowej Wyższej Szkole Technicznej utworzonej w gmachach politechnicznych. Organizował jednocześnie wsparcie dla potrzeb konspiracji i brał udział w tajnym nauczaniu.

Wydarzenia roku 1944 rozdzieliły rodzinę Wolfków. Mieczysław trafił przez Podkowie Leśną i Grodzisk Mazowiecki do Krakowa, zaś jego żona, zięć i wnuk pozostali na terenie Politechniki do końca Powstania Warszawskiego. Po jego upadku zostali przesiedleni do Krakowa. Synowie Mieczysława przebywali do końca wojny w obozach na terenie Niemiec.⁴

Po wojnie Wolfke włączył się w tworzenie polskiej nauki. Wykładał na Akademii Górniczej w Krakowie i na Politechnice Gdańskiej. Jednocześnie zaangażował się w powstanie Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W grud-

¹ https://bazhum.muzhp.pl/media/files/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r2003-t48-n3_4/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r2003-t48-n3_4-s7-32/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r2003-t48-n3_4-s7-32.pdf s.11

² ibidem

³ M. Wolfke „0 powstawaniu obrazów optycznych w mikroskopie.” [w] „Prace matematyczno-fizyczne” T.25:1914 s. 27-53.[za W. Łaniecki, Mieczysław Wolfke (1883-1947), Kwartalnik Historii Nauki i Techniki, Rok 21, nr 3(1976)

⁴ Kiejna A., Mieczysław Wolfke: życie i działalność naukowa „Postępy Fizyki”, 54 (3), 2003. s. 11

niu 1945 r. po powrocie do Warszawy przystąpił do organizowania Zakładu Fizyki w uruchomionej Politechnice Warszawskiej. To także czas, w którym udaje się do zagranicznych ośrodków naukowych w celu poznania aktualnego stanu badań naukowych i organizacji instytutów. Jednocześnie dokonuje zakupu nowoczesnej aparatury.

Nagle 4 maja 1947 r. umarł w Zurychu i został pochowany na tamtejszym cmentarzu Sihlfeld.

Kilka zdań o odkryciu podstaw holografii.

Podczas krótkiego pobytu Wolfkego w Karlsruhe w 1912 roku, będąc asystentem prof. O. Lehmana – krystalografa, w jego laboratorium zauważył, że można najpierw zapisać obraz na płycie fotograficznej poprzez oświetlenie kryształu promieniami X, a następnie odczytać go w powiększeniu po zastosowaniu dodatkowego układu optycznego i światła widzialnego. Zaproponował, aby do wytworzenia obrazu sieci użyć promieni Roentgena, których krótka długość fali pozwala wytworzyć obraz dyfrakcyjny pojedynczych atomów. Ponieważ promieni Roentgena nie można skupić przy pomocy soczewek. Nie ulegają też załamaniu. Wolfke zauważył, że można wyeliminować soczewkę, rozdzielając także w praktyce proces obrazowania na dwa oddzielne etapy, używając promieniowania o różnych długościach fali.

W metodzie dwustopniowego odwzorowania optycznego najpierw za pomocą promieni Roentgena wytwarza się obraz dyfrakcyjny na płycie fotograficznej (rentgenogramie). W drugim kroku prześwietla się płytę światłem monochromatycznym widzialnym, skupiając światło przezpruszczone i ugięte za pomocą soczewki, dzięki czemu uzyskuje się prawdziwy obraz przedmiotu. W oryginalnym sformułowaniu zasada podana przez Wolfkego

brzmi: „*Przy oświetleniu monochromatyczną, równoległą wiązką światła, prostopadłą do obrazu dyfrakcyjnego przedmiotu symetrycznego bez struktury fazowej, obraz dyfrakcyjny obrazu dyfrakcyjnego jest równoważny obrazowi tego przedmiotu.*”

Wolfke podał podstawową zasadę wykorzystywaną w holografii, polegającą na rozbiciu procesu wytwarzania obrazu na dwie oddzielne fazy i zastosowanie dwu wiązek fal. Dokonał także weryfikacji doświadczalnej swojej teorii: „*Udowodnione wyżej twierdzenie zostało sprawdzone na siatkach o różnej strukturze optycznej w równoległej wiązce światła żółtej linii rtęci i okazało się być spełnione we wszystkich przypadkach. Do otrzymania ostrych obrazów należało stosować możliwie silne źródło światła przy bardzo małej, o punktowej szerokości, szczeliny kolimatora.*” Nie opublikował jednak obrazów doświadczalnych, prawdopodobnie ze względu na trudności z uzyskaniem obrazu o odpowiedniej jakości. Niestety, Jego praca pozostawała w zapomnieniu przez prawie pół wieku.

Okazało się, że podobne do Wolfkego rozważania przeprowadził osiemnaście lat później H. Boersch, a następnie, w 1939 r., W. L. Bragg (1890-1971). Niestety, żaden z nich nie cytuje Wolfkego. W swej istocie zasadę dwustopniowego obrazowania wykorzystał Dennis Gabor, ogłaszając w 1948 r. pierwszą ze swych prac na temat holografii, w której powołał się tylko na pracę Bragga. Jednakże w wykładzie noblowskim w 1971 r. Gabor uznał prekursorską rolę Wolfkego.

W życiorysie naukowym, dołączonym do rozprawy doktorskiej Wolfke, wymienia m.in. wykłady następujących matematyków: Paula Painlevé'go (1863-1933), Paula E. Appela (1855-1930), Edourda Goursata (1858-1936); fizyków: Piotra Curie (1859-1906) – nagroda

Inna DZIAŁALNOŚĆ Mieczysława Wolfkego

Rok	Wydarzenia i działania uczonego	Uwagi
1901	Napisał „Abstraktykę” – czyli rozprawę o „nauce nauk”.	Rozprawa filozoficzna
1907	Teleskop z wklęsłym zwierciadłem	Członkostwo towarzystwa astronomicznego
1912	Publikuje w „Annalen der Physik” pracę <i>Allgemeine Abbildungstheorie selbstleuchtender und nicht selbstleuchtender Objekte</i> ,	Ogólna teoria odwzorowania obiektów samoświejących i nieświejących się
1920	Opublikował pracę „Über die Möglichkeit der optischen Abbildung von Molekulargittern” („O możliwości obrazowania optycznego siatek molekularnych”).	Pierwsza na świecie koncepcja holografii.
1920	W „Physikalische Zeitschrift” – „Über die Möglichkeit der optischen Abbildung von Molekulargittern”	O możliwości optycznego obrazowania sieci molekularnych
1923	Opracował metodę otrzymywania bardzo wysokich napięć przy pomocy transformatora Tesli.	Uzyskał napięcie 500 kV; rekordowe osiągnięcie.
1924	Pracuje w laboratorium H.K. Kamerlingha-Onnesa, a także z Willem Hendrik Keesom. Badał stałą dielektryczną ciekłego helu w różnych temperaturach. Obserwuje zanik lepkości cieczy. Ponownie odkryte przez fizyka rosyjskiego P. F. Kapicę (1894-1984). W 1978 r. – Kapica otrzymał nagrodę Nobla.	Zaproponowane przez niego teoretycznie doświadczenia doprowadziły do odkrycia dwóch postaci ciekłej fazy helu i do zestalenia ciekłego helu pod ciśnieniem
1924–1928	1926 – W. Keesom w Lejdzie zestalił hel proponowaną przeze uczonego metodą pod ciśnieniem. 1927 – Keesom przyznał mu pierwszeństwo.	(1924) Pomysł zestalenia helu pod ciśnieniem.
1929	Zakończył próby nad promieniami protonowymi i dodatnią emisją palladu. Pracę nad rozpadem promieniotwórczego. Badania fotoelektryczne nad molekułami kwantowymi.	Organizował pracownię optyczną i akustyczną dla Wykładów Sekcji Wojskowej.



Foto 4. Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926), laureat Nagrody Nobla z fizyki za rok 1913

Foto 5. Willem Hendrik Keesom (1876-1956) W laboratorium Onnesa w 1926 r. z powodzeniem zestawił się hel. W 1932 osiągnął temperaturę $-457,6^{\circ}\text{F}$ (-272°C), zaledwie dwa stopnie Fahrenheita powyżej zera absolutnego. Jego książka *Hel* pojawiła się w 1942 r.

Foto 6. Dennis Gabor (1900 - 1979), laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki za rok 1971. za badania nad holografia, docenił Wolfkę w następujących słowach: „Dokonując tego, stałem na ramionach dwóch wielkich fizyków – Williama L. Bragga i Fritsa Zernikego. (...) Nie wiedziałem wówczas, podobnie jak Bragg, że Mieczysław Wolfke zaproponował tę metodę w 1920 r., nie podejmując jednakże próby jej doświadczalnej realizacji”

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/Kamerlingh_portret.jpg

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/WillemKeesom1926.jpg>

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/67/Dennis_Gabor_1971.jpg

Nobla w 1903 r., Paula Langevina (1872-1946), Gabriela Lippmanna (1845-1921) – nagroda Nobla w 1908 r., Jeana B. Perrina (1870-1942) – nagroda Nobla w 1926 r., oraz chemika Henriego F. Moissana (1852- 1907) – nagroda Nobla w 1906 r.

Mieczysław Wolfke należał do wielu różnych organizacji i stowarzyszeń.

dr Kazimierz Mikulski
Maksymilianowo

LITERATURA

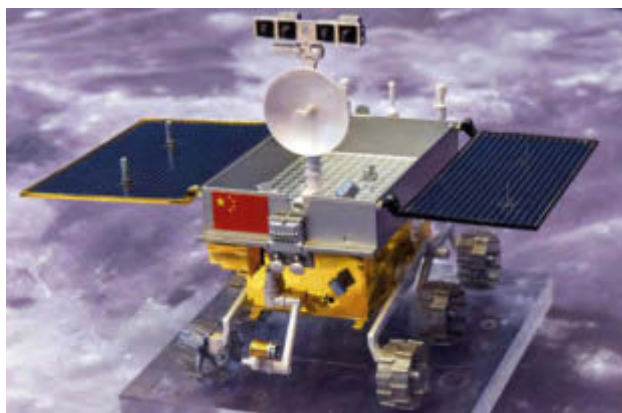
- [1] Witold Łaniecki, Mieczysław Wolfke 1883-1947, Kwartalnik Historii Nauki i techniki, Rok XXI -3 , 545 (1976)
- [2] Kiejna A., *Mieczysław Wolfke: życie i działalność naukowa*, „Postępy Fizyki”, 54 (3), 2003
- [3] https://bazhum.muzhp.pl/media/files/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r2003-t48-n3_4/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r2003-t48-n3_4-s7-32/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r2003-t48-n3_4-s7-32.pdf s.19
- [4] Karol Wolfke, *Wspomnienia o ojcu, Mieczysławie Wolfke*, „Postępy Fizyki”, 31 (6), 1980.
- [5] <https://pf.ptf.net.pl/PF-1972-6/docs/PF-1972-6.pdf>

Co w fizyce piszczy

Nowa dostawa księżycowych skał

Jednym z większych skarbów geofizycznych na naszej planecie są skały pochodzące bezpośrednio z Księżyca. Nie jest ich wiele. Zostały one dostarczone na Ziemię przez misje rosyjskie a potem przez amerykańskie Apollo. Nie ma ich chyba więcej niż 2 kg łącznie. Odkąd w latach siedemdziesiątych zaprzestano misji Apollo nie było nowych dostaw skał księżycowych. Obecnie miej-

sce Amerykanów zajmują stopniowo Chińczycy. Wysłana przez nich sonda Chang'e-5 przywiozła nową próbkę skał. Chińczycy udostępnił przywiezione skały międzynarodowemu zespołowi badawczemu, który zajął się ich badaniem. Na początku wyznaczono ich wiek, który wynosi 1,95 miliarda lat. Są one młodsze od skał dostarczonych przez misję Apollo co wynika z faktu, że pochodzą one z wnętrza księżycowego krateru uderzeniowego.



Chang'e 5. Foto – Dreamstime

Jowisz polyka komety

13 września 2021 miało miejsce dość spektakularne zjawisko. Polegało ono na zderzeniu Jowisza z kometą. Zjawisko samo w sobie jest interesujące i świadczące o tym, że ewolucja planet naszego układu jeszcze się nie zakończyła. Jeszcze bardziej interesujący jest fakt, że obserwacji nie dokonały zawodowe obserwatoria, lecz pięciu działających niezależnie astronomów amatorów. Jak widać z powyższego wkład astronomii amatorskiej w naszą wiedzę o Kosmosie jest nadal znaczący i obserwatorzy – amatorzy mogą dostarczyć wielu cennych danych. Tak samo jest przy obserwacji plam na słońcu, które to zjawiska są obserwowane głównie przez niezawodowych pasjonatów.

Maria Goeppert-Meyer

Ślązaczka, fizyk, noblistka

Rafał Simon, Marta Wąsik

Urodziła się 28 czerwca 1906 r. w Katowicach przy ulicy Młyńskiej 5, które w owym czasie należały do Cesarstwa Niemieckiego a zmarła w 1972 r. w USA. Została ochrzczona w kościele ewangelicko-augsburskim w Katowicach przy ulicy Warszawskiej (rodzice ewangelicy). Śląsk opuściła w wieku trzech lat.

Jej prace z fizyki jądrowej dotyczące powłokowej budowy jądra atomowego (fizyka kwantowa) były uhonorowane niebywałym sukcesem – Nagrodą Nobla w dziedzinie fizyki (1963). Trzeba dodać, że ten sukces dotyczył tylko czterech kobiet w dziejach historii laureatów tejże Nagrody. Poza fizyką jej pasją była hodowla orchidei (storczyków).

Maria pochodziła ze znanej, nie tylko w Katowicach, inteligentnej rodziny. Ojciec był profesorem medycyny, matka pochodziła z rodziny nauczycielskiej, a dziadek botanikiem we Wrocławiu (dawniej Breslau), pradiadek farmaceutą.

W roku 1910 przeniosła się z rodzicami do Getyngi. W ówczesnym czasie w Cesarstwie Niemieckim kobiety miały duży problem z uzyskaniem wykształcenia. Jednak w roku 1924 po zdaniu matury z oceną celującą zaczęła studiować matematykę i fizykę na tymże uniwersytecie. Początkowo nie przykładała się zbyt do nauki, prowadziła życie towarzyskie – była urodziwą blondynką mającą powodzenie u mężczyzn. Dopiero po śmierci ojca w lutym 1927 roku Maria się zmieniła, zaczęła uczęszczać na seminarium z fizyki a z czasem, w 1930 r., obroniła doktorat z fizyki kwantowej. Po wyjściu za mąż za chemika



Źródło: <https://www.luteranie.pl/ewangelik/2006/Goeppert.html>

Josepha Mayera wyjechała do Stanów Zjednoczonych, gdzie urodziła dwoje dzieci.

Podczas drugiej wojny światowej brała udział w badaniach nad skonstruowaniem bomby atomowej. Naukowo była związana z następującymi uczelniami: Columbia University, University of Chicago, Uniwersytet Kalifornijski i San Diego.

W pracy naukowej zajmowała się głównie teorią jądra atomowego (*nucleus*). Wraz z Hansem Jensem opracowała model powłokowy jądra atomowego, za co zostali wyróżnieni w 1963 r. Nagrodą Nobla. Była autorką książek z mechaniki kwantowej (1940) i „Elementarnej teorii struktury powłokowej jądra atomowego” (1951).

Model Marii Goeppert-Meyer wyjaśnia, dlaczego jądra atomowe są tak szczególnie stabilne, kiedy posiadają określone liczby nukleonów (protony + neutrony) i nazwała je tak ciekawie „liczby magiczne”. Protony i neutrony w jądrze atomowym (*nucleus*) są powiązane tzw. sprzężeniem spinowo-orbitalnym.

W roku 1967 przebywała w Warszawie w związku z obchodami 100-lecia urodzin Marii Skłodowskiej-Curie (pierwszej kobiety Laureatki Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki; Maria Goeppert-Meyer była drugą). Po wylewie krwi do mózgu miała niedowład lewej strony ciała. Jej życzeniem przed śmiercią było: „chcę zobaczyć Katowice”. Życzenie niestety się nie spełniło. Zmarła na zawał serca i została pochowana w San Diego.

Maria Goeppert-Mayer została uczczona skromną tablicą pamiątkową na ścianie katowickiego domu, w którym się urodziła. Jej imieniem nazwana została też jedna z ulic w centrum Katowic. Imieniem Goeppert-Mayer został także nazwany katowicki biurowiec energooszczędny, wybudowany w ramach Górnośląskiego Parku Przemysłowego.

mgr Rafał Simon, dr Marta Wąsik



LITERATURA:

- [1] Beata Tarnowska (red.): *Nagrody Nobla, Leksykon PWN*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2001. ISBN 83-01-13393-7.
- [2] Piotr Greiner: *Nobliści z Górnego Śląska*. Wrocław: Wydawnictwo Rzeka, 1999. ISBN 83-911532-1-5.
- [3] Jerzy Moskal: ... *Bogucice, Załęże et nova villa Katowice – Rozwój w czasie i przestrzeni*. Katowice: Wydawnictwo Śląsk, 1993, s. 55. ISBN 83-85831-35-5.

Żywoty fizyków

Ernst Werner Siemens,

a od 1888

von Siemens

(1816-1892)

*ku pouczeniu i pokrzepieniu serc
wraz z przykładami dla ćwiczenia się w nauce
i zdobywania mądrości*

Tadeusz Wibig

Urodził się jako czwarte z kolei z czternaściorga dzieci Christiana Ferdinanda Siemensa ze starego rodu Siemensów z Goslar, nic więc dziwnego, że związki rodzinne zawsze odgrywały ważną rolę w jego życiu. Po przeprowadzce w 1823 r. do Menzendorf w Meklemburgii nauki wszelkie pobierał początkowo u babki i ojca i przez rok jedynie chodził do szkoły społecznej w Schönbergu. W końcu w 1832 roku trafił do Katharineum, słynnego gimnazjum w Lubece. Wykazywał tam zamiłowania do matematyki, ale nie wiadomo, dlaczego opuścił tę szkołę w po trzech latach bez uzyskania formalnego dyplomu.

Jego rodzice nie zapewniali mu finansowych możliwości studiowania, więc za radą jednego ze swych nauczycieli zgłosił się do korpusu inżynierów armii pruskiej w Berlinie. Okazało się, że mnóstwo w tym czasie Niemców chciało tam służyć i na wolne miejsce musiałby czekać latami. Doradzono mu, aby spróbował w artylerii. Z czternastu kandydatów egzamin wstępny zdało czterech, a wśród nich i Siemens.

Jesienią 1835 r. Siemens został powołany jako kandydat na oficera na trzy lata do Berlińskiej Szkoły Artylerii i Inżynierii. Tutaj otrzymał wszechstronne wykształcenie w zakresie nauk przyrodniczych, takich jak matematyka, fizyka, chemia, geometria i balistyka i jednocześnie uczęszczał też na wykłady na Uniwersytecie Berlińskim, gdzie dokształcał się we własnym zakresie.

Jednym z jego nauczycieli w szkole artyleryjskiej był Heinrich Gustav Magnus, ten od prawa Magnusa, które pozwala, jak mówią niektórzy, strzelać „rogale” Messiemu, Ronaldo i innym. Wspominamy o nim, albowiem, trzydzieści lat później w istotny sposób przyczynił się do sukcesów Siemensa, ale o tym za chwilę. Na razie porucznik Werner Siemens służy w Magdeburgu w 3. Brygadzie Artylerii i w Wittenberdze.

Ciekawym i chyba istotnym bardziej niż mogłoby się wydawać epizodem z tego okresu jest to, że tam został



skazany na pięć lat więzienia za udział w pojedynku (jako sekundant). W cytadeli magdeburskiej urządził w swojej celę laboratorium, w którym pracował nad procesami galwanizacji (srebrzenia i złocenia). W 1842 roku udało mu się wyprodukować łyżeczkę z powłoką srebrną/złotą. Otrzymał na proces ten patent i zaraz sprzedał go zaprzyjaźnionemu jubilerowi, a uzyskane pieniądze wysłał bratu Carlowi Wilhelmowi, który przebywał wtedy w Londynie.

Po ułaskawieniu, w 1842 r. Siemens został przeniesiony do Berlina. Opracował wtedy zdalnie detonowane miny morskie, które przydały się bardzo podczas blokady przez Duńczyków portu w Kilonii. Pod koniec 1846 roku w wolnych chwilach skonstruował oryginalny telegraf wskazówkowy. W następnym roku opracował proces wytwarzania przewodów elektrycznych z bezszwową powłoką z gutaperki. Do dziś jest to zasada produkcji izolowanych drutów i kabli elektrycznych.

Siemens skonstruował też lampę ozonową, która wykorzystując elektrycznie generowany ozon ozonowała wodę. Opracował nowy regulator do maszyn parowych, prasę do produkcji sztucznego kamienia i udoskonalił proces drukowania. Miał też i bardziej zwariowane pomysły, jak choćby pomysł maszyny latającej, o której korespondował z bratem Carlem Wilhelmem. Ten jednak nie został zrealizowany.

W roku 1866 opracował naukowo tak zwaną zasadę dynamoelektryczną, która zastosowana w praktyce pozwoliła wyeliminować z prądnic i silników magnesy stałe zastępując je elektromagnesami. Opisał to w sprawozdaniu „O przetwarzaniu energii mechanicznej na prąd elektrycznych bez zastosowania trwałych magnesów”, które w 1867 roku wspomniany już Magnus przedstawił Pruskiej Akademii Nauk. Wprawdzie zasada ta została odkryta już wcześniej przez Duńczyka Sørensa Hjortha i Węgry Ányosa Jedlika, to Siemens jako pierwszy przewidział triumfalny rozwój cywilizacji napędzanej energią elektryczną, która mogła być teraz produkowana taniej i na dużą skalę, co umożliwiło wszechstronne jej wykorzystywanie, czy to do celów oświetleniowych, czy też do napędzania silników

elektrycznych, które zastąpić miały silniki parowe zapoczątkowując drugą rewolucję przemysłową.

Dziś, gdy mówimy „Siemens”, pierwszym skojarzeniem jest koncern Siemens AG. Na ogół nie pamięta się, że zaczęło się to wszystko, gdy Wener Siemens wraz z mechanikiem i kolegą Johannem Georgem Halske założył w Berlinie w roku 1847 firmę *Telegraphen Bau-Anstalt von Siemens & Halske*. Kapitał niezbędny do założenia firmy, ponad 6000 talarów pochodził od kuzyna Siemensa Johanna Georga Siemensa. Po roku młoda firma otrzymała ważne rządowe zlecenie zbudowania linii telegraficznej z Berlina do Frankfurtu nad Menem. Linia była budowana zimą 1848/49 roku oczywiście przy użyciu urządzeń i kabli firmy Siemens & Halske.

Dzięki właściwej polityce informacyjnej firma Siemens & Halske zyskała kolejne zamówienia na budowę połączeń telegraficznych w Prusach i krajach niemieckich. Ale Wener chciał także zaistnieć na rynkach poza Niemcami. Pierwszą zagraniczną filię otworzył w Londynie i prowadzenie jej powierzył oczywiście swojemu bratu Carlowi Wilhelmowi, który pod koniec życia za inne jednak zasługi uzyskał od królowej Wiktorii tytuł szlachecki.

Próbował też zdobyć zlecenia w Rosji. Jednym z jego pierwszych sukcesów było uzyskanie zlecenia na budowę połączeń telegraficznych z Warszawy do Petersburga i z Petersburga do Moskwy. W 1853 r. Siemens wysłał kolejnego swojego brata Carla Heinricha do Petersburga, aby nadzorował rynek rosyjski. Zdobył on szybko kolejne zamówienia na rozbudowę rosyjskiej sieci telegraficznej, a także i monopol na oświetlenie ulic. Przez chwilę wraz z kolejnymi braćmi Siemens: Otto i Walterem prowadził drobne przedsięwzięcia w dzisiejszym Azerbejdżanie, a w końcu w uznaniu zasług Carl Heinrich został uszlachcony przez cara Mikołaja II w roku 1895.

Jak to w biznesie bywa, nie obyło się też bez niepowodzeń, np. w 1864 r. nie powiodło się układanie kabla podmorskiego przez Morze Śródziemne z Kartageny do Oranu, przez co firma poniosła duże straty. Halske, który nie lubił ryzykownych przedsięwzięć, odszedł na emeryturę po dwudziestu latach owocnej współpracy. Bracia Carl Wilhelm i Carl Heinrich zostali wtedy jedynymi współnikami Wenera, a Siemens & Halske stała się firmą rodzinną braci Siemens.

W 1870 r., po trzech latach budowy, uruchomiono indoeuropejską linię telegraficzną z Londynu (przez Warszawę!) do Kalkuty o długości ponad 11 000 km.

Poza telekomunikacją Siemens, a raczej jego firma zajmowała się od zarania komunikacją jako taką, a w szczegól-



ności szynowymi pojazdami elektrycznymi. Podstawowym problemem pociągów elektrycznych było to, jak dostarczać im prądu. W pierwszych latach służyła do tego dodatkowa szyna zasilająca. Tak był zasilany pierwszy pociąg elektryczny (1879) i pierwszy tramwaj (1881). Rozwiązanie to miało swoje oczywiste wady i dość szybko zastąpiono je drutem (drutami) wiszącymi nad torem. Umożliwiło to zbudowanie pierwszego trolejbusu (1882). Wener Siemens jest autorem systemu pozwalającego sprawnie, bezawaryjnie i bezpiecznie prąd z tego drutu ściągać do silnika. Używany dziś powszechnie na kolei i transporcie miejskim pantograf jest w pewnym sensie także wynalazkiem Siemensa.

Wener von Siemens przeszedł na emeryturę w 1890, a zarządzanie firmą przejęli Carl i synowie Wenera: Arnold, Georg Wilhelm i najmłodszy syn Carl Friedrich. Potem zastąpili ich wnukowie Hermann i Ernst, a ich prawnuk Peter, który był Przewodniczącym Rady Nadzorczej do 1981 roku. Dziś grupa Siemens zatrudnia prawie 300 000 pracowników i osiąga roczny przychód oceniany na ponad 50 miliardów euro, ale my nie o tym...

Wielkość Siemensa jako fizyka nie jest szczególnie doceniana przez współczesne podręczniki szkolne. Nie mówi się o nim właściwie wcale. Zresztą tak w sumie nie bardzo jest o czym mówić, ale mimo to znalazł on jednak swoje miejsce w układzie SI: **siemens** to nazwa jednostki przewodności elektrycznej.

$$1 \text{ S} = 1/\Omega$$

Przewodność jest odwrotnością oporu. Nic nadzwyczajnego, a jednak.

Tadeusz Wibig
Katedra Fizyki Teoretycznej
Uniwersytet Łódzki

Doświadczenie domowe:

Pantograf

A. Materiały

1. Lekkie listewki o długości w sumie jednego metra i 2 centymetrów.
2. Szpilki, pinezki, gwoźdźdiki.
3. Sznurek.

4. Szalki (pojemniki, woreczki) zaopatrzone w druciki lub sznurki do zawieszania, na których/w których można by umieszczać ciężarki np. monety, kamyki, szklane kulki.
5. Ciężarki, monety albo szklane czy metalowe kulki, kamyki lub coś podobnego.
6. Podstawa, w którą można wbijać szpilki i gwoźdźdiki.

B. Narzędzia

1. Coś do cięcia listewki, mała pił, brzeszczot do metalu.
2. Nóż, nożyczki.
3. Młotek do wbijania gwoździ, pinezek.
4. Mała wiertarka, świderek lub coś podobnego, co pozwoli wywiercić małe otwory w listewkach.

C. Kolejność czynności

1. Pociąć listewkę na dwa (cztery) odcinki po 20 cm i dwa po 11 cm.
2. Wywiercić otworek na jednym końcu (a dokładnie 1 cm od końca) jednej z listewek dwudziestocentymetrowych (dalej będziemy pisać po prostu: „20”).
3. Wywiercić otwory połowie długości obu „20”.
4. Na obu końcach jednej listewki jedenastocentymetrowych („11”) wywiercić otwory (oczywiście 1 cm od każdego z końców).
5. W miejscach zaznaczonych na rysunku zrobić „przeguby”, przełożyć pinezkę przez otwór w górnej listewce i wbić ją nieco w listewkę dolną tak, aby listewki mogły się swobodnie obracać.
6. Całość przybić solidnie w miejscu wskazanym na rysunku do czegoś, co mogłoby posłużyć jako podstawa całości tak, by listewki „20” mogły się wokół punktu przybicia łatwo obracać.
7. Do wolnych górnych końców obu „20” zamocować sznurki.
8. Sznurki przeprowadzić przez „błoczki” (zrobione z pinezek) i zawiesić na nich szalki (patrz materiały pkt 4) z ciężarkami (patrz materiały pkt 5).

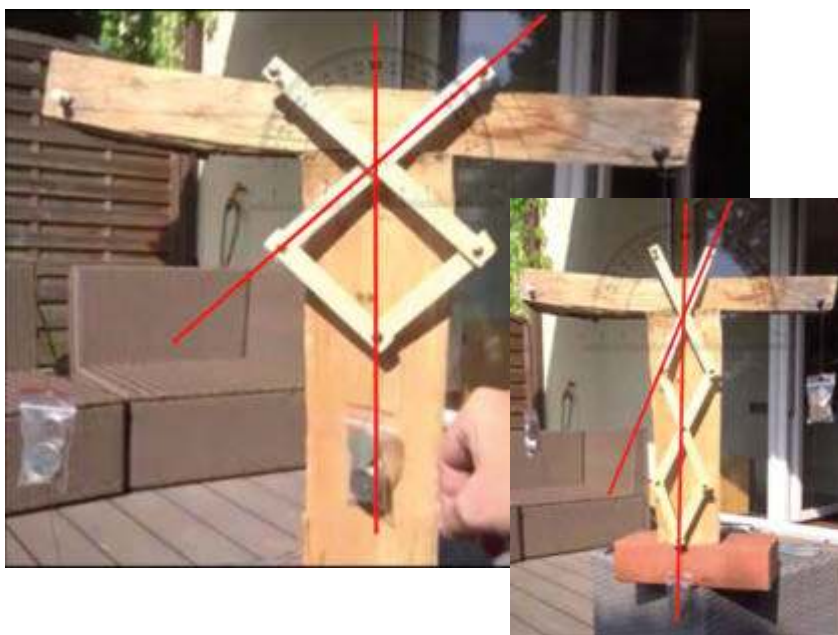
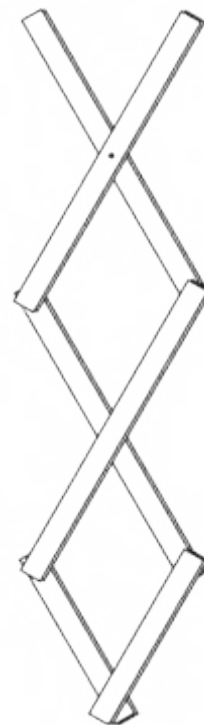
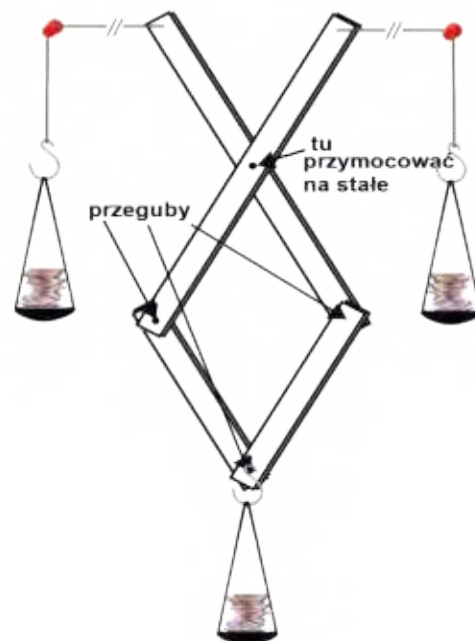
Uwaga: ciężarki powinny być dość ciężkie (np. 20 dag), zdecydowanie cięższe od listewek, a „błoczki” powinny być możliwie daleko od całości, by zawsze ciągnęły ramiona w zasadzie poziomo.

9. Pantograf powinien podciągnąć się maksymalnie do góry – to oczywiste.
10. Na dolnym końcu pantografu zawiesić taki sam ciężarek (20 dag), jak te na górnych ramionach.
11. Puszczamy pantograf swobodnie.
12. Obserwujemy, co się dzieje.

Dolny ciężarek powinien zacząć opadać, ale nie opada tak do końca. W jakimś punkcie istnieje bowiem położenie równowagi. Możemy zmierzyć kąt rozchylenia ramion pantografu w tym punkcie. Można też oczywiście policzyć, ile ta wartość powinna wynosić. I warto sprawdzić, czy zgadza się to z wynikiem doświadczenia. Ale to nie koniec:

Ciekawe jest:

13. Jak będzie się zachowywał pantograf „wyższego rzędu” otrzymany z wstawienia po pierwszej parze „20” kolejną parę skrzyżowanych „20” tak, jak to jest pokazane na kolejnym rysunku.



Pytanie dla miłośników obliczeń: jaka będzie teraz wartość kąta rozwarcia, przy którym ustali się równowaga (to już nie jest chyba takie proste)? I skąd się bierze ta różnica?

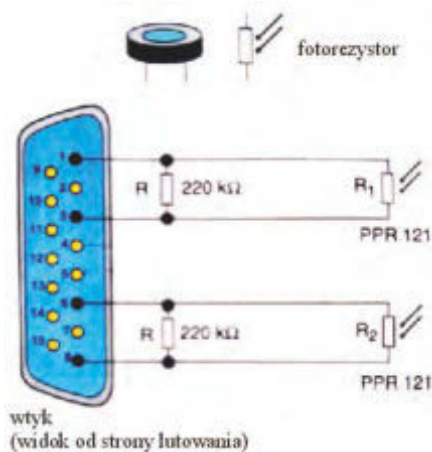
Wykorzystanie „fotodżojstika” do badania zjawisk okresowych

W artykule opiszę, jak można zmodyfikować dżojstik używany w grach komputerowych, aby zmienić go w urządzenie do pomiaru czasów zjawisk okresowych takich jak np. ruch wahadła.

Jan Kurzyk

Układ „udający” dżojstik pracujący na porcie gier

W 1994 roku w czasopiśmie „Wiedza i Życie” ukazał się artykuł o tytule „Niezwyczajny joystick”. Autor artykułu opisał w nim prosty układ elektroniczny złożony z dwóch fotorezystorów i dwóch oporników podłączonych do wtyczki typu DA15 typowej dla popularnych wówczas dżojstików (patrz rysunek 1). Układ podłączany był do



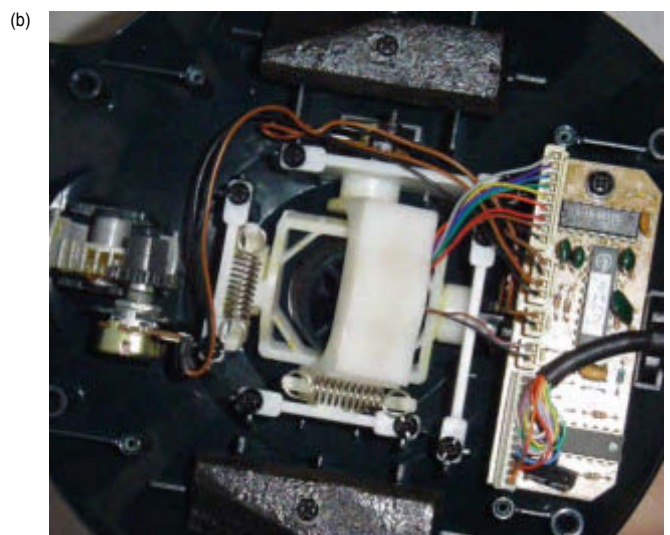
Rysunek 1. Schemat urządzenia opisanego w artykule [1].

komputera poprzez port gier (ang. gameport) i „udawał” dżojstik.

Główną funkcją dżojstika jest sterowanie położeniem obiektów na ekranie monitora. Odbyna się to poprzez poruszanie drążkiem dżojstika wokół trzech osi X, Y i Z (patrz rysunek 2 (a)). Każdemu położeniu drążka odpowiada odpowiednie ustawienie trzech potencjometrów obrotowych (patrz rysunek 2 (b)). Komputer dokonuje pomiaru oporności potencjometrów, a program komputerowy wykorzystuje zmierzone wartości do realizacji odpowiednich działań na ekranie.

W układzie z artykułu [1] rolę potencjometrów dżojstika pełniły fotorezystory. Były one oświetlone żarówkami wyposażonymi w soczewki, a same fotorezystory osłonięto tulejkami, aby maksymalnie wyeliminować światło boczne. Jeśli strumień światła padającego na fotorezystor zostanie przecięty przez poruszający się obiekt oporność fotorezystora gwałtownie rośnie. Za pomocą programu komputerowego możemy odnotować czas, w którym nastąpiła zmiana oporu.

Autor artykułu wykorzystał w swoim układzie dwa fotorezystory ustawione jeden nad drugim w odstępie, który można było zmieniać. W ten sposób układ pozwalał na pomiar czasu przelotu obiektu spadającego swobodnie na drodze pomiędzy fotorezystorami. Tak skonstruowane urządzenie autor łączył z komputerem pracującym pod systemem DOS (kto jeszcze pamięta ten system?) i za pomocą napisanego w tym celu programu komputerowego

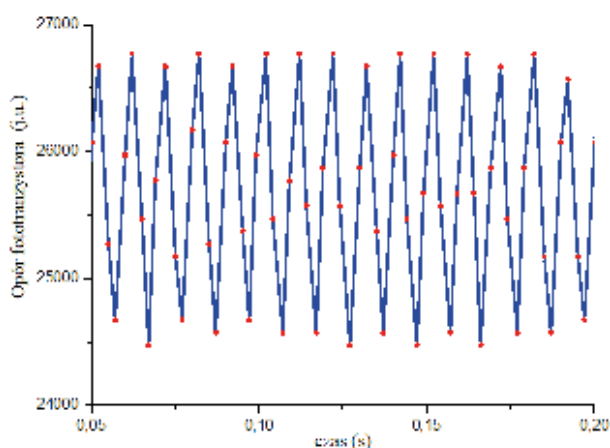


Rysunek 2. (a) Osie ruchu drążka dżojstika analogowego. (b) Widok mechanizmu dżojstika podczas maksymalnego wychylenia dżojstika w prawo i w tył (osie X i Y). <https://pl.wikipedia.org/wiki/D%C5%BCojstik> Dostęp 08.03.2021.

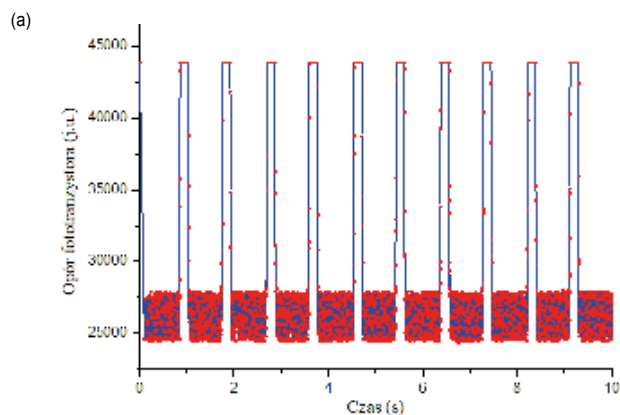
odczytywał stany obu fotorezystorów. W systemie DOS dokładność pomiarów czasu była niewielka, gdyż sprawdzanie stanu fotorezystorów możliwe było co ok. 55 ms.

W Instytucie Fizyki Politechniki Krakowskiej postanowiliśmy wykorzystać ten pomysł do pomiaru okresu drgań wahadła w wykonywanym przez studentów ćwiczeniu mającym za zadanie wyznaczenie wartości przyspieszenia ziemskiego. Ze względu na cykliczność zjawiska wystarczyło wykorzystać jeden fotoelement. Nasze pierwsze urządzenie tego typu podpięliśmy do komputera pracującego pod systemem Windows 98. Dzięki temu mogliśmy zwiększyć dokładność pomiarów. Odczyt stanu urządzenia odbywał się co 2 ms, a pomiar czasu był możliwy z dokładnością rzędu ułamka mikrosekundy.

W naszym urządzeniu fotorezystor zastąpiliśmy fototranzystorem, gdyż bezwładność czasowa fototranzystorów jest mniejsza od bezwładności fotorezystorów. Szybkość działania urządzenia i jego rozdzielczość jest tak dobra, że zbierając dane podczas oświetlania fototranzystora światłem z żarówki zasilanej napięciem przemiennym o częstotliwości 50 Hz obserwuje się cykliczne zmiany oporu fototranzystora. Częstotliwość tych zmian wynosi 100 Hz (patrz rysunek 3) i jest związana z cyklicznymi zmianami temperatury włókna żarówki, a tym samym jej światłości. Temperatura włókna zmienia się wraz z wartością natężenia prądu elektrycznego płynącego przez nie i oczywiście nie zależy od kierunku prądu. Dlatego temperatura włókna zasilanego napięciem przemiennym o częstotliwości 50 Hz zmienia się z częstotliwością dwa razy większą.



Rysunek 3. Zmiany oporu fototranzystora (w jednostkach umownych) oświetlanego żarówką zasilaną napięciem przemiennym o częstotliwości 50 Hz. Częstotliwość zmian oporu wynosi 100 Hz (patrz tekst główny).



mym jej światłości. Temperatura włókna zmienia się wraz z wartością natężenia prądu elektrycznego płynącego przez nie i oczywiście nie zależy od kierunku prądu. Dlatego temperatura włókna zasilanego napięciem przemiennym o częstotliwości 50 Hz zmienia się z częstotliwością dwa razy większą.

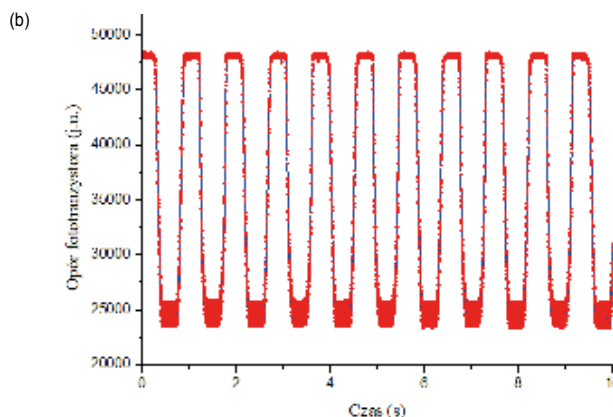
Zmiany oporu fototranzystora odpowiadające stanowi odsłoniętego i zasłoniętego źródła światła są znacznie większe od tych jakie obserwujemy podczas oświetlania fototranzystora światłem z żarówki zasilanej napięciem przemiennym. Dlatego jesteśmy w stanie z dużą dokładnością odróżnić oba stany, bez konieczności zasilania żarówki za pomocą stabilizowanego zasilacza prądu stałego. Można się o tym przekonać przyglądając się wykresom przedstawionym na rysunku 4.

Wykresy prezentują zmiany oporu fototranzystora oświetlanego strumieniem światła przecinanym cyklicznie przez kulkę wykonującego ruch wahadła. Dolne grupy punktów pomiarowych odpowiadają sytuacji, gdy kulka nie zasłania żarówki, a górne grupy odpowiadają momentom, w których kulka zasłania ją. Widzimy, że punkty pomiarowe z dolnych grup wykazują rozpiętość wynikającą z efektu opisanego wyżej. W przypadku kulki metalowej (rysunek 4 (a)) górne grupy punktów są na jednym poziomie, gdyż kulka całkowicie zasłania źródło światła. Zaś w przypadku kulki przezroczystej (rysunek 4 (b)) górne grupy punktów również wykazują rozpiętość wywołaną efektem zmian światłości żarówki, ale zakres zmian jest mniejszy, gdyż światło przechodzi przez obiekt pochłaniający część światła.

Wykorzystanie dżojstika na złączu USB

Pod koniec lat 90. ubiegłego wieku pojawiło się złącze USB, które stopniowo wypierało inne typy złącz w tym złącze gameport. Obecnie port gier został całkowicie wyparty przez złącze USB. Na dodatek Microsoft, począwszy od systemu Windows Vista, zaprzestał obsługi portu gier, więc nawet jeśli zdobędziemy starą kartę z portem gier, to pod systemem Windows nowszym niż Windows XP nie będziemy w stanie jej wykorzystać¹. Dżojstiki obsługiwane przez port gier zostały zastąpione przez dżoj-

¹ Współcześnie port gier obsługiwany jest jeszcze przez system Linux



Rysunek 4. Zmiany oporu fototranzystora (w jednostkach umownych) w sytuacji, gdy strumień światła padającego na fototranzystor jest przecinany przez kulkę wahadła. (a) Wahadło z kulką stalową o średnicy ok. 2 cm. (b) Wahadło z kulką o średnicy ok. 4 cm z przezroczystego tworzywa sztucznego.

stiki działające na złączu komunikacyjnym USB. Starsze dżojstiki można podłączyć do złącza USB poprzez odpowiednią przejściówkę, którą jednak aktualnie trudno jest zdobyć.

Nie chcąc rezygnować z urządzenia na nowszych komputerach wykorzystaliśmy dżojstik na złącze USB. Rozebraliśmy go i wyjęliśmy z niego układ elektroniczny (patrz rysunek 5), a następnie dokonaliśmy małej modyfikacji. Modyfikacja polegała na dolutowaniu na długich przewodach fototranzystora BPYP22 do jednego z potencjometrów obrotowych. Wykorzystaliśmy do tego potencjometr odpowiadający obrotom wokół osi Y. Fototranzystor wlutowaliśmy pomiędzy wyprowadzeniem o potencjale 0, a wyprowadzeniem połączonym ze ślizgaczem potencjometru. Pozycję potencjometru dobraliśmy eksperymentalnie tak, żeby w programie komputerowym różnica między stanem osi Y dżojstika oświetlonego i nieoświetlonego była maksymalna.

Zastosowanie urządzenia we współczesnych komputerach pozwala na bardzo precyzyjny pomiar czasu. W przypadku mojego nie najnowszego laptopa dokładność ta wynosi ok. 100 ns. W szybszych komputerach możemy uzyskać jeszcze lepszą dokładność. Niestety nie jesteśmy w stanie wykorzystać w pełni tych możliwości pomiaro-

wych, gdyż w przypadku dżojstika na USB odświeżanie stanu dżojstika jest dość rzadkie.

Z wykonanych przeze mnie pomiarów wynika, że stan jest odświeżany co 8 ms. Jest to gorszy wynik niż w przypadku dżojstika pracującego na porcie gier. Można się o tym przekonać wykonując odczyty zmian oporności fototranzystora oświetlanego żarówką zasilaną prądem przemiennym o częstotliwości 50 Hz. Możemy wówczas zaobserwować zmiany oporu wywołane efektem opisanym wyżej, ale nie jesteśmy już w stanie stwierdzić, że częstotliwość zmian wynosi 100 Hz. Wystarczy spojrzeć na rysunek 6 i porównać go z rysunkiem 3.

Na dodatek urządzenie jest na granicy czułości umożliwiającej rozróżnianie zmiany światłości włókna żarówki w stanach odpowiadających skrajnym temperaturom włókna podczas przepływu prądu sinusoidalnie zmiennego. Można zobaczyć, że różnica odczytów odpowiadających stanom maksymalnie rozgrzanego włókna żarówki a stanom najchłodniejszego włókna żarówki wynosi 256. Jest to najniższa wartość zmiany stanu wynikająca z rozdzielczości naszego dżojstika. Klasyczny dżojstik działający na porcie gier miał znacznie lepszą rozdzielczość. Pomiędzy skrajnymi stanami temperatury włókna żarówki można było zarejestrować kilkanaście innych. Widać to na rysunku 3.

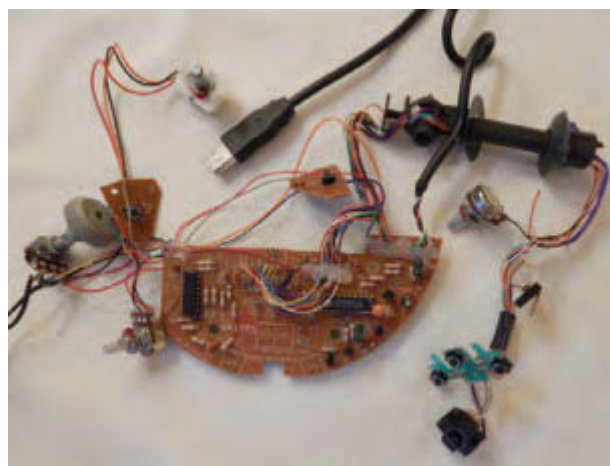
Oczywiście w przypadku pomiarów, podczas których strumień światła jest przecinany poruszającym się obiektem różnica odczytów odpowiadających stanom oświetlonego i nieoświetlonego fototranzystora jest dużo większa. Przez co niższa rozdzielczość dżojstika na USB nie stanowi większego problemu.

Mimo opisanych wyżej ograniczeń do wielu zastosowań dokładność pomiaru czasu do 8 ms jest zadowalająca, a w przypadku zjawisk okresowych, np. w przypadku pomiaru okresu drgań wahadła można programowo zwiększyć tę dokładność do 4 ms. Jest to wystarczająca dokładność, aby pokazać np. anharmoniczność drgań wahadła nawet dla drgań o niewielkich amplitudach.

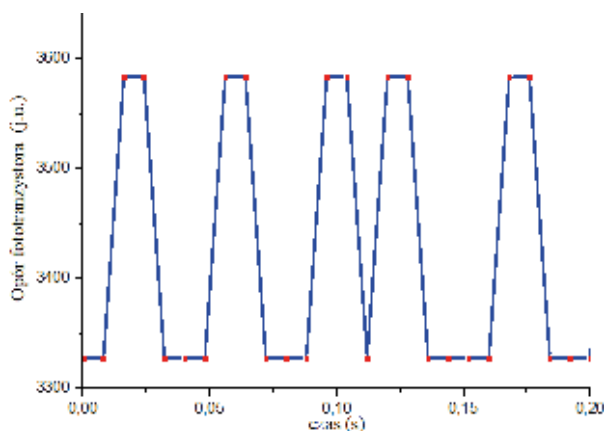
Opisane tu urządzenie można wykorzystać do wielu interesujących pomiarów. Wszystko zależy od pomysłowości eksperymentatora. Dla przykładu jedna z naszych studentek badała za pomocą tego urządzenia zjawisko kapania kropli wody z nieszczelnego kranu [3]. A inny student badał zjawisko dyssypacji energii podczas zderzeń metalowej kulki z masywnym stalowym blokiem [4]. Możliwości zastosowań urządzenia można znacząco zwiększyć poprzez wykorzystanie wszystkich trzech potencjometrów dżojstika.

dr Jan Kurzyk

Katedra Fizyki Politechniki Krakowskiej



Rysunek 5. Elementy elektroniczne dżojstika Cyborg 3D Gold firmy Saitek.



Rysunek 6. Zmiany oporu fototranzystora (w jednostkach umownych) oświetlanego żarówką zasilaną napięciem przemiennym o częstotliwości 50 Hz odnotowane urządzeniem opartym na dżojstiku pracującym na złączu USB.

LITERATURA

- [1] P. Górnicki, *Niezwykły joystick*. Wiedza i życie, 1994, nr 10.
- [2] <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/api/joystickapi/nf-joystickapi-joygetpos> (dostęp 08.03.2021).
- [3] J. Tarko, „Dochodzenie deterministycznego układu nieliniowego do chaosu na przykładzie ciekącego kranu” materiały XXXVIII Międzynarodowe Seminarium Kół Naukowych, Olsztyn (2009).
- [4] G. Wróblewski, „Wpływ dyssypatywnych zderzeń na ruch wahadła fizycznego”, Praca magisterska, Politechnika Krakowska (2009).

Wycisnąć prąd z kryształu

Stanisław **Bednarek**

Celem tego artykułu jest przedstawienie opisu kilku prostych doświadczeń, pozwalających na praktyczne zapoznanie ze zjawiskiem piezoelektrycznym. Do tego będą użyte łatwo dostępne środki, a koszty i nakład pracy niewielkie. Dlatego te doświadczenia mogą być wykonane samodzielnie przez uczniów zainteresowanych fizyką w domu lub na kółku fizycznym. Ze względu na widowiskowy charakter, jedno z tych doświadczeń może zostać pokazane również na festiwalu lub pikniku naukowym.

Trochę teorii i historii

Istnieją dwie odmiany zjawiska piezoelektrycznego. Pierwszą z nich, nazywaną zjawiskiem prostym, odkryli dwaj Francuzi – bracia Jacques i Pierre Curie w 1880 r. [1]. (Pierre został później mężem Marii Skłodowskiej Curie). Istota zjawiska prostego polega na tym, że podczas odkształcania niektórych kryształów pojawiają się ładunki elektryczne na ich powierzchniach. Te kryształy mają szczególne własności w skali atomowej, polegające na braku symetrii w budowie tzw. komórki elementarnej, czyli najbardziej podstawowego, powtarzalnego elementu ich struktury i występowaniu wiązań jonowych.

Wbrew pozorom, takie kryształy nie należą do rzadkości. Ich najbardziej znanymi przykładami są: odmiana α kwarcu (ditlenku krzemu SiO_2 , tzw. wysokotemperaturowego), uwodniony winian sodowo-potasowy ($\text{NaK-C}_4\text{H}_4\text{O}_6$, znany też jako sól Seigentte'a), diwodorofosforan potasu (KH_2PO_4) i tytanian baru (BaTiO_3).

Żeby zaobserwować zjawisko piezoelektryczne, trzeba zachować odpowiednią orientację płaszczyzn próbek w stosunku do osi kryształu podczas jej wycinania. Właściwości piezoelektryczne wykazują też niektóre polimery (polipropylen, polichlorek winylu) w postaci folii o strukturze zmienionej skutkiem rozciągania i działanie na nie pola elektrycznego o dużym natężeniu [2].

Dotychczas przebadano ok. 1000 kryształów piezoelektrycznych. Ze względu na pewne niekorzystne cechy, np. wrażliwość na wilgoć, szerokie zastosowanie znalazło tylko niewiele z badanych materiałów. Druga odmiana zjawiska piezoelektrycznego, nazywanego odwrotnym, polega na zmianie rozmiarów kryształu piezoelektrycznego pod działaniem zewnętrznego pola elektrycznego. Ten efekt najpierw został przewidziany teoretycznie przez Gabriela Lippmanna w 1881 r., a następnie potwierdzony doświadczalnie również przez braci Curie.

Teorię zjawiska piezoelektrycznego opracował Wolde-
mar Voigt w 1910 r. Zgodnie z tą teorią, do opisu zjawiska prostego stosuje się wzór

$$D = dT, \quad (1)$$

w którym:

D – gęstość powierzchniowa indukowanego ładunku elektrycznego $[D] = \text{C/m}^2$,

T – naprężenie $[T] = \text{N/m}^2$,

d – stała ładunkowa (nazywana też modułem piezoelektrycznym) $[d] = \text{C/N}$.

Dla odwrotnego zjawiska piezoelektrycznego stosuje się wzór

$$S = dE, \quad (1)$$

w którym:

S – wydłużenie względne (wielkość bezwymiarowa),

E – natężenie pola elektrycznego, przyłożonego do kryształu $[E] = \text{V/m}$.

Stała ładunkowa d jest rzędu 10^{-11} N/C i zależy od rodzaju materiału piezoelektrycznego. Przykładowe wartości d to: $0,023 \cdot 10^{-11} \text{ N/C}$ dla kwarcu (SiO_2) oraz $2,7 \cdot 10^{-11} \text{ N/C}$ dla tytanianu baru (BaTiO_3) [3].

Doświadczenia

W celu otrzymania elementu piezoelektrycznego do przeprowadzenia doświadczeń zostanie wykorzystana zapalarka do gazu (fot.1). Taką zapalarkę można kupić za kilka złotych w sklepie z artykułami gospodarstwa domowego. Po wykręceniu dwóch wkrętów i rozdzieleniu połówek obudowy zapalarki można z niej wyjąć mechanizm uderzeniowy wraz z przewodami (fot. 2). Ten mechanizm zawiera element piezoelektryczny w kształcie walca o długości 4 mm i średnicy 1,5 mm, który został wykonany z syntetycznego kwarcu i ma kolor brązowy.

Zadaniem mechanizmu uderzeniowego jest zwielokrotnienie i przeniesienie na element piezoelektryczny nacisku, wywieranego palcem na przycisk, wystający z obudowy zapalarki. To pozwala na wytworzenie wysokiego napięcia i przeskok iskry między elektrodami, od której zapala się gaz zawarty w zbiorniczku zapalarki.

W pierwszym doświadczeniu zostanie wykorzystany cały mechanizm uderzeniowy bez wyjmowania z niego kryształu. Oprócz tego będzie potrzebna neonówka, zapalająca się przy napięciu sieciowym 230 V. Takie neonówki są używane do sygnalizacji załączenia napięcia m.in. w tablicach rozdzielczych lub sprzęcie gospodarstwa domowego i można je kupić w sklepach z artykułami elek-



Fot. 1. Wygląd zewnętrzny zapalarki piezoelektrycznej, która będzie źródłem materiałów do doświadczeń.



Fot. 2. Wygląd zewnętrzny wymontowanego z zapalarki mechanizmu uderzeniowego, zawierającego kryształ piezoelektryczny.

trotechnicznymi. Inny sposób pozyskania neonówki to wymontowanie jej ze startera do świetlówek.

Przewody lub końcówki neonówki należy połączyć, najlepiej zlutować, z przewodami mechanizmu uderzeniowego. Miejsca połączenia przewodów muszą być grubo owinięte taśmą izolacyjną. Kryształ piezoelektryczny, poddany działaniu mechanizmu uderzeniowego wytwarza bowiem napięcie w granicach kilkuset V. Można to sprawdzić miernikiem uniwersalnym, przełączonym na zakres 750 V lub 1000 V napięcia stałego lub impulsowego.

Ponieważ natężenie przepływającego przy tym prądu jest bardzo małe, to przeprowadzanie doświadczenia nie stanowi zagrożenia dla zdrowia. Mimo tego „ukłucia” związane z przyłożeniem wysokiego napięcia do skóry nie są przez każdego odczuwane przyjemnie.

Wykonanie doświadczenia jest bardzo proste. Mechanizm uderzeniowy należy przytrzymać palcami i nacisnąć na wystającą z niego plastikową końcówkę o przekroju kwadratowym. Podczas tego naciskania neonówka rozbłyśka. W celu zapewnienia dobrej widoczności dla większej grupy osób, korzystne jest przyciemnienie pomieszczenia podczas tego doświadczenia.

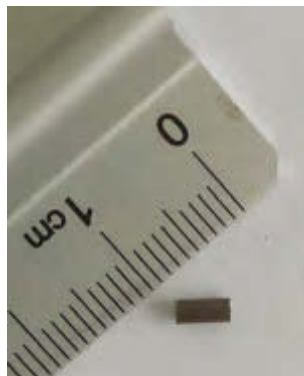
Do następnych doświadczeń należy wyjąć element piezoelektryczny z mechanizmu uderzeniowego. Ponieważ ten element jest całkowicie zatopiony w tworzywie sztucznym pod metalową końcówką mechanizmu osłoniętego plastikową nakładką, to pierwszym etapem jest zdjęcie nakładki. W celu wyjęcia elementu najłatwiej posłużyć się lutownicą. Po przyłożeniu grota lutownicy do metalowej końcówki i jej ogrzaniu, tworzywo sztuczne mięknie i ulega roztopieniu. Metalowa nakładka oddziela się i w stopionym tworzywie widać niewielki walec w ciemnym kolorze – to właśnie jest poszukiwany element.

Topiąc tworzywo należy zachować odpowiednią ostrożność i wykonywać tę pracę przy otwartym oknie oraz na drewnianej podkładce. Po zeszkobaniu żyłką lub ostrym nożem resztek tworzywa sztucznego z otrzymanego elementu, kolejnym etapem przygotowań będzie przyłączenie do niego elektrod i przewodów (fot. 4).

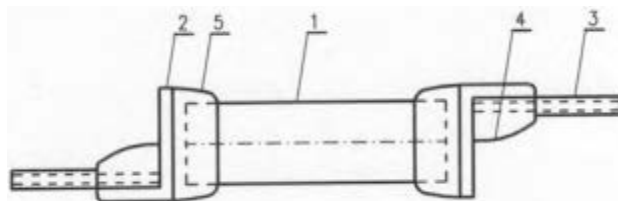
Najprostszy sposób przyłączenia elektrod jest pokazany na rys. 1. Elektrody 2 mają kształt pasków, wyciętych z cienkiej blachki mosiężnej lub miedzianej i zgiętej pod kątem prostym. Do tych elektrod przylutowano końcówki przewodów 3. Następnie elektrody zostały przyklejone



Fot. 3. Mechanizm uderzeniowy przyłączony do neonówki pozwala w efektywny sposób zademonstrować wytwarzanie napięcia piezoelektrycznego. Neonówka jest przeznaczona do świecenia po przyłożeniu napięcia sieciowego. Grube warstwy czerwonej izolacji chronią przed mało przyjemnym działaniem napięcia o takiej wielkości na skórę palców.



Fot. 4. Krysztal piezoelektryczny wymontowany z mechanizmu uderzeniowego zob. (fot. 2). Linijka pozwala na określenie rozmiarów tego krysztalu.



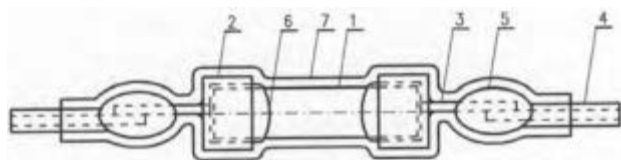
Rys. 1. Najprostszy sposób przyłączenia elektrod do krysztalu piezoelektrycznego; 1 – element piezoelektryczny, 2 – elektrody z pasków blachy mosiężnej albo miedzianej, 3 – przewody, 4 – stop lutowniczy, 5 – klej przewodzący prąd elektryczny.

do końców elementu piezoelektrycznego 1 przy użyciu kleju 5, przewodzącego prąd elektryczny. Taki dwuskładnikowy klej na bazie srebra lub grafitu jest dostępny w sklepach z artykułami elektronicznymi i przeznaczony do naprawy przewodów grzejnych na tylnych szybach pojazdów i ścieżek na płytkach obwodów drukowanych. Po zmieszaniu ze sobą potrzebnej ilości składników i nałożeniu kleju na łączone miejsce, należy odczekać kilkanaście godzin do jego utwardzenia i uzyskania dobrej przewodności elektrycznej.

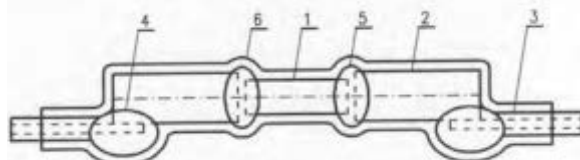
W celu przeprowadzenia doświadczeń trzeba swobodnie końce przewodów elementu piezoelektrycznego, przyłączyć do miliwoltomierza na prąd stały. W obecnych warunkach, najczęściej zostanie do tego wykorzystany łatwo dostępny, uniwersalny miernik cyfrowy, tzw. multimetr, przełączony na odpowiedni do tych pomiarów najmniejszy zakres woltomierza. W popularnych miernikach jest to 200 mV.

Dla łatwiejszego przyłączenia końce przewodów można zaopatrzyć we wtyczki bananowe. Jeżeli na trzymane w palcach końce elementu piezoelektrycznego będzie wywierany nacisk, to miliwoltomierz pokaże napięcie wzrastające wraz ze wzrostem siły nacisku. W praktyce napięcie to nie przekroczy kilkudziesięciu mV. Ponieważ na skórze palców też są generowane napięcia w granicach kilku mV, to wskazane jest przeprowadzenie tego doświadczenia w rękawiczkach z materiału elektroizolacyjnego, np. z lateksu. Po zmocowaniu elementu piezoelektrycznego w dowolnym układzie do pomiaru siły ściskającej (pochodzącego np. z zestawu do mechaniki), można przeprowadzić pomiary, pozwalające na sporządzenie wykresu, przedstawiającego zależność napięcia od tej siły lub od naprężenia.

Wspomniany poprzednio klej charakteryzuje się długim czasem utwardzania, a ponadto daje kruchą spoinę. Dlatego, żeby uniknąć odłamania elektrod podczas doświadczeń, korzystniej jest zastosować rozwiązanie pokazane na rys. 2 i fot. 5. W tym przypadku elektrody 2 są



Rys. 2. Trwały sposób połączenia elementu piezoelektrycznego z elektrodami; 1 – element piezoelektryczny, 2 – nakładka mosiężna albo miedziana, 3 – pręcik mosiężny albo miedziany, 4 – przewód, 5 – stop lutowniczy, 6 – klej przewodzący prąd elektryczny, 7 – rurka izolacyjna z folii termokurczliwej.



Rys. 3. Budowa hybrydowego elementu piezoelektrycznego, czułego również na pole magnetyczne; 1 – element piezoelektryczny, 2 – pręcik z materiału ferromagnetycznego, 3 – przewód, 4 – stop lutowniczy, 5 – klej przewodzący prąd elektryczny, 6 – rurka izolacyjna z folii termokurczliwej.



Fot. 5. Wygląd zewnętrzny elementu piezoelektrycznego, połączony z elektrodami w sposób pokazany na rys. 2.



Fot. 6. Wygląd zewnętrzny hybrydowego elementu piezoelektrycznego, wykonanego zgodnie z rys. 3.

nakładkami w kształcie miseczek, wykonanych np. przez wytłoczenie końcem metalowego pręta o odpowiednio dobranej średnicy z cienkiej blaszki mosiężnej albo miedzianej. W elektrodach są wywiercone otworki, przeznaczone do wlutowania końców mosiężnych lub miedzianych pręcików 3. Do zewnętrznych końców tych pręcików są z kolei przylutowane końce przewodów 4. Zagłębienia w elektrodach 2 zostały nałożone na końce elementu piezoelektrycznego 1 i podobnie jak poprzednio, przyklejone klejem przewodzącym prąd elektryczny.

Dla zwiększenia trwałości na opisany zestaw elementów nałożono rurkę izolacyjną z folii termokurczliwej, najlepiej przezroczystej o nieco większej średnicy wewnętrznej niż średnica elektrod. Następnie rurkę lekko ogrzano, co spowodowało jej obkurczenie na elementach zestawu. Dzięki takiemu rozwiązaniu znacznie zwiększono trwałość połączeń. Tak przygotowany element piezoelektryczny jest przeznaczony do przeprowadzania doświadczeń, analogicznie jak z elementem opisanym poprzednio. Ponadto można ostrożnie poddać taki element rozciąganiu i zaobserwować zmianę znaku napięcia wskazywanego przez miernik.

Napięcia konieczne do wystąpienia efektu piezoelektrycznego można spowodować także przez przyłożenie pola magnetycznego. W tym celu należy wykonać element hybrydowy, przedstawiony na rys. 3 i fot. 6. Element piezoelektryczny 1 został umieszczony współosiowo między dwoma pręcikami 2, wykonanymi z materiału ferromagnetycznego, np. z kawałków gwoźdźa stalowego. Końce tych elementów zostały sklejone ze sobą klejem, przewodzącym prąd elektryczny 5. W tym przypadku końce przewodów 3 można było przylutować bezpośrednio do zewnętrznych końców pręcików 2.

Podobnie jak poprzednio, całość została zabezpieczona rurką termokurczliwą 6. Jeżeli tak przygotowany

element piezoelektryczny zostanie umieszczony w polu magnetycznym, skierowanym równolegle do pręcików 2, to te pręciki ulegną namagnesowaniu. W pobliżu ich wewnętrznych końców będą wydrukowane bieguny różnoimienne i pręciki zaczną się przyciągać, wywierając w ten sposób naprężenia ściskające na element piezoelektryczny 1. Miliwoltomierz przyłączony do tego układu pokaże napięcie. Opisany układ stanowi czujnik pola magnetycznego, w którym zmiana indukcji magnetycznej powoduje zmianę napięcia na końcach elementu piezoelektrycznego. Do wytworzenia pola magnetycznego nadaje się niewielka cewka lub kilka magnesów neodymowych w kształcie pierścieni, złożonych ze sobą.

Z co z tego dziś mamy?

Zjawiska piezoelektryczne mogą być tematem nie tylko interesujących doświadczeń o charakterze edukacyjnym, które można łatwo wykonać. Dzięki unikalnej możliwości bezpośredniego przetwarzania naprężeń na sygnały elektryczne (konwersji w strukturze materiału bez dodatkowych mechanizmów) i odwrotnie sygnałów elektrycznych na odkształcenia, te zjawiska znalazły wiele zastosowań w nauce, technice i życiu codziennym. [4, 5].

Zjawisko piezoelektryczne proste jest wykorzystane m.in. w budowie sensorów (czujników), montowanych w wagach, zarówno tych używanych w domu, w przemyśle, jak i precyzyjnych wagach laboratoryjnych, siłomierzach, generatorach napięcia elektrycznego, transformatorach, miniaturowych i bardzo czułych mikrofonach, montowanych również w naszych smartfonach, a także w czujnikach naprężeń, przyspieszeń i oczywiście w zapalniczkach, zapalarkach oraz zapalnikach, stosowanych przez pirotechników.

Zjawisko piezoelektryczne było też często wykorzystywane we wkładkach gramofonowych. Takie, powszechnie używane kilkadziesiąt lat temu gramofony, umożliwiały

odtworzenie dźwięków zapisanych na płytach winylowych, a obecnie znów są przedmiotem zainteresowania melomanów.

Z kolei najważniejsze zastosowania odwrotnego zjawiska piezoelektrycznego to przede wszystkim różnego rodzaju konwertery (przetworniki) sygnałów elektrycznych na odkształcenia, które mogą być źródłem dźwięków. Przykładami takich przetworników są: generatory ultradźwięków m.in.: w ultrasonografach medycznych, defektoskopach przemysłowych, sonarach, wykrywaczach ruchu, odstraszaczach zwierząt, myjkach ultradźwiękowych, wykrywaczach przeszkód w tym w czujnikach cofania, urządzeniach do obróbki twardych materiałów, a także głośniki, słuchawki i brzęczyki.

Liczną grupę zastosowań stanowią rezonatory kwarcowe, których od lat używa się do stabilizacji drgań w radiostacjach i radiotelefonach. Takie rezonatory mamy też w używanych na co dzień zegarkach elektronicznych, komputerach, laptopach i tabletach. Wymieniając baterię w zegarku łatwo zauważyć mały, metalowy cylinderek z dwoma wyprowadzeniami, to właśnie jest obudowa rezonatora kwarcowego.

Odwrotne zjawisko piezoelektryczne wykorzystuje się również w aktuatorach (mechanizmach wykonawczych) umożliwiających precyzyjną zmianę położenia. Przykładem jest STM (ang. Scanning Tunneling Microscope) skaningowy mikroskop tunelowy, gdzie sterowany elek-

trycznie układ beleczek krzemowych przesuwają koniec igły wolframowej nad powierzchnią próbki z nanometrową dokładnością.

W technice laboratoryjnej stosowane są też piezoelektryczne mikropompy i mikrosilniki, a w niektórych samochodach układy zasilania paliwem z zaworami i wtryskiwaczami piezoelektrycznymi. Ciekawą, obiecującą i szybko rozwijaną dziedziną są obecnie MEMS-y i NEMS-y, (ang. Micro- Electro- Mechanical Systems i Nano- Electro- Mechanical Systems), czyli systemy mikro- i nanoelektromechaniczne, w których pracują zintegrowane elementy elektryczne i mechaniczne o bardzo małych rozmiarach, m.in. wykonane z krzemu beleczki piezoelektryczne [6].

Stanisław Bednarek

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej UŁ

LITERATURA

- [1] S. Szeniowski, Fizyka doświadczalna, cz. III, Elektryczność i magnetyzm, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa (1972).
- [2] B. Hilczer, J. Małecki, Elektryty i piezopolimery, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa (1992).
- [3] W. Mizerski (red.), Tablice fizyczno-astrofizyczne, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa (2013).
- [4] Oleś, Metody doświadczalne fizyki ciała stałego, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa (1998).
- [5] A. Hryniewicz, E. Rokita (red.), Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa (2013).
- [6] M. Moczala, A. Sierakowski, P. Janus, P. Grabiec, W. Leśkiewicz, T. Goszałak, Postępy nanometrologii układów MEMS/NEMS, „Mechanik”, nr. 1 (2016), DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.459.

Co w fizyce piszczy

Latający komputer

W czasach, gdy wszyscy fascynują się wielkimi statkami powietrznymi, raketami i samolotami amerykańscy naukowcy postanowili pójść w drugą stronę i skonstruować najmniejszy, wykonany ręką człowieka obiekt latający. Obiekt ten ma wielkość ziarenka piasku. Składa on się z części elektronicznej zdolnej mierzyć parametry atmosfery i je przysyłać na ziemię oraz skrzydeł. Nie posiada on więc silnika. Do lotu wykorzystuje siłę prądów powietrznych. Powstał on jako rezultat długich studiów

dotyczących aerodynamiki małych obiektów. Pierwszym zastosowaniem latającego komputera będzie pomiar parametrów atmosfery, w tym zanieczyszczeń z jej wnętrza. Dzięki swoim małym rozmiarom nie będzie on jej zaburzał więc dane otrzymane za pomocą takiego małego czujnika są bardziej wiarygodne.

Źródło: Kim, B.H., Li, K., Kim, J.T. et al. Three-dimensional electronic microfliers inspired by wind-dispersed seeds. Nature, 2021 DOI: 10.1038/s41586-021-03847-y

Dron wskaże plony

Dron latający nad polem uprawnym wskaże przewidywany plon, ilość potrzebnego nawozu i stan nawodnienia upraw pszenicy ozimej, rzepaku czy kukurydzy.

Naukowcy z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza oraz Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu wspólnie ze spółką PolDrone z Gniezna pracują nad stworzeniem usługi o roboczej nazwie Sensecorps.

Będzie to narzędzie oparte na sztucznej inteligencji, które w każdej fazie wzrostu rośliny wskaże przewidywany plon, ilości potrzebnego nawozu czy stan nawodnienia, z uwzględnieniem podziału na jednorodne części pól i szczegółową informację dotyczącą stanu gleby. Niezależnie do tego dane zbierze dron.

Jak tłumaczy dr hab. inż. Cezary Kaźmierowski z Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM, projekt ma służyć optymalizacji zarządzania produktywnością upraw rolniczych z wykorzystaniem zobrazowań sateli-



tarnych. Spersonalizowane usługi GIS będą generowane w sposób autonomiczny na bazie sztucznej inteligencji, udostępnianej w portalu rolniczym.

PAP – Nauka w Polsce

Foto – Dreamstime



Najważniejszy problem edukacji

W 4 numerze „Fizyki w Szkole” ukazał się, tekst A. Biegańskiej o „Kształceniu językowym na lekcjach fizyki”. Autorka słusznie zauważa, że unikanie w szkole normalnej „naukowej” terminologii nie jest rozsądne¹ i prowadzi do wielu szkodliwych skutków. Ja bym dodał, że „specjalne” traktowanie uczniów, również w zakresie terminologii, prowadzi do „specjalnego” efektu dydaktycznego.

Jerzy Kuczyński

I już bez eufemizmów, człowiek nawet bardzo odporny psychicznie, po kilku latach traktowania jak dziecko, staje się dziecinny, a w przypadku ucznia po prostu nie dorasta psychicznie. Tak więc jestem zdecydowanie przeciwny tworzeniu „szkolnej terminologii” w jakiegokolwiek dziedzinie. Jednak określenie „kształcenie językowe” sugeruje znacznie poważniejszy problem. Otóż język to nie tylko słownictwo, ale również „odbiór i tworzenie tekstów”. A to już dużo poważniejszy problem. Dużo poważniejszy niż całe kształcenie w zakresie jakiegokolwiek przedmiotu szkolnego. I o tym chciałem napisać kilka słów.

Otóż poprawny tekst to tekst zrozumiały dla odbiorcy. Oczywiście odpowiedniego odbiorcy. Ucząc matematyki przyszłych inżynierów staram się ich przekonać, że odbierany tekst musi reprezentować odpowiedni dla nich poziom. Zbyt łatwy nie uczy wiele a zbyt trudny jest niezrozumiały. W szczególności u mnie egzamin zdaje się z wszystkimi pomocami². I zwracam uwagę, że przyniesienie na egzamin zbyt zaawansowanego podręcznika

może przynieść ocenę negatywną – po prostu student nie jest w stanie w takim podręczniku znaleźć odpowiedzi na zadane pytanie (nawet gdy ona się tam znajduje!) nie mówiąc już o jej zrozumieniu. I mimo wielokrotnego tego powtarzania, ciągle zdarza mi się, że student przynosi jakąś książkę powyżej swego poziomu. Po prostu pokutuje przekonanie, że jak ma tekst to go zrozumie. Niestety oznacza bardzo podstawowy błąd edukacyjny – uczący się otrzymywał „papkę” tak spreparowaną, że nie wymagała ona jakiegokolwiek wysiłku intelektualnego i nie zauważał, że zrozumieć nie jest wcale łatwo. Można zauważyć tę wadę edukacji łatwo i bez kłopotu można wyeliminować – wystarczy raz czy dwa razy kazać spróbować zrozumieć coś z bardziej zaawansowanego tekstu (uprzedzając i po fakcie odpowiednio to komentując). Warto też dodać, że każdy ma ten „chwilowo nieosiągalny” poziom (a większość z nas i „nigdy nieosiągalny”; z tego ostatniego warto sobie zdawać sprawę).

To jedna i w tym momencie drugorzędna sprawa, bo przede wszystkim chciałem zwrócić uwagę na uczenie tworzenia tekstów. W praktyce prawie każdy człowiek w życiu ma taką potrzebę i w pewien sposób problem wi-

¹ Autor ceni (i pamięta!) ludzi, którzy czegoś wartościowego go nauczyli. W tym przypadku wspomina najwybitniejszego ze swoich szkolnych Nauczycieli, wówczas doktora pracującego w liceum, a który skończył karierę jako rektor na jednej z krakowskich uczelni. Otóż Profesor kiedyś stwierdził, że najtrudniejszym elementem uczenia się jakiegokolwiek dziedziny wiedzy jest opanowanie jej terminologii. Rzeczywiste opanowanie terminologii oznacza opanowanie systemu pojęć danej nauki, a poziom znajomości tego ostatniego wyznacza jej rzeczywistą znajomość.

² Niemalą korzyścią z takiego typu egzaminu jest to, że dowiaduję się o studencie tego co w innym przypadku byłoby bardzo utrudnione. Konkretnie czy zna strukturę wykładanego materiału (wie, gdzie czego szukać), czy umie zrozumieć to czego z jakichś powodów wcześniej nie opanował oraz czy umie korzystać z takich elementów podręcznika jak spis treści czy indeks. Last not least w życiu podręczniki i pomoc fachowców są dozwolone a egzamin powinien być jak najbardziej zbliżony do życia i pozbawiony zbędnych uciążliwości.

dzą poloniści starając się go rozwiązać. Są jednak dwa powody, dla których nie są w stanie tego zrobić. Pierwszy to taki, że ograniczają się najczęściej do tekstów literackich a w życiu zwłaszcza zawodowym trzeba najczęściej tworzyć teksty zupełnie innego rodzaju.

Po drugie zasady tworzenia tekstu są niby podobne (tekst ma być zrozumiały) jednak każda dziedzina wypracowała inne reguły i co ważniejsze inna jest hierarchia wartości w ocenie tekstu - najczęściej liczy się nie tyle elegancja co zwięzłość i jednoznaczność. Dlatego powinniśmy nauczać tworzenia tekstu fizycznego. Ktoś powie, że w szkole nie ma do tego okazji. Oczywiście nieprawda. Rozwiązanie zadania i sprawozdanie z wykonanego eksperymentu to teksty fizyczne i to powiedzmy sobie jasno, bardzo ważne teksty fizyczne.

Dodatkowo zachęcałbym do prób zadawania zadań typu „treść zawartość artykułu popularnonaukowego”. Zachęcałbym też do omawiania tych zadań a nie tylko wpisywania ocen. Spróbuję poniżej podać to na co należałoby zwrócić uwagę przy taki omówieniu. Przede wszystkim tekst powinien być zrozumiały. I tu poważne pretensje do nauczycieli. Ponieważ zadanie zleca ten sam człowiek, który uczniów nauczał to dla niego tekst jest zrozumiały. Oznaczenia, forma wzorów a przede wszystkim tok postępowania jest znany obu stronom. Dlatego nauczyciel sprawdzając klasówkę nie zwraca uwagi na zasadnicze elementy decydujące o zrozumiałości tekstu dla osób postronnych. W najlepszym przypadku elementy te stanowią „wartość dodatkową” podnoszącą lub obniżającą (lekko!) ocenę. Wynikiem jest to, że zewnętrzny oceniający z trudem domyśla się co autor tekstu „chciał powiedzieć”.

Tak się składa, że już prawie czterdzieści lat oceniam prace uczestników Olimpiady Astronomicznej. Mimo ogromnego wysiłku również finansowego³ zdarzają się pomyłki. Wychodzą na jaw dopiero gdy uczestnik w ramach odwołania wyjaśni co właściwie „chciał powiedzieć” przez to co napisał⁴. A więc krótko jak tekst powinien być sporządzony.

1. Wszystkie, nawet uchodzące za standardowe, oznaczenia powinny być opisane. Pamiętajmy, że to co w jednym środowisku standard w innym może być zaskakujące. Tym bardziej, że liter w alfabecie niewiele a wielkości fizycznych prawie dowolnie wiele.

2. Każda zależność między wielkościami powinna być uzasadniona lub zacytowana. Zacytowanie powinno umożliwiać jednoznaczne potwierdzenie poprawności związku. W typowych sytuacjach fizycznych wystarczy podać nazwę prawa lub wzoru oraz jego standardową postać. To ostatnie można traktować za opisanie oznaczeń, jeżeli są one standardowe. W przypadku mało rozpoznawalnego wzoru (np. nie wchodzącego w program

szkolny i nie mającego ogólnie znanej nazwy) należy zacytować podręcznik, z którego wzór pochodzi.

Oczywiście cytowanie musi być jednoznaczne, a więc źródło powinno być precyzyjnie określone czasem łącznie ze stroną i rokiem wydania. W przypadkach szkolnych, a do takich należy Olimpiada Astronomiczna, może chodzić jedynie o standardowe podręczniki. W przypadkach „ogólnych” a o takich należy uczyć co trzeba cytować.

Ogólna reguła jest bardzo prosta. Cytujemy przede wszystkim mało znane źródła. A więc można (i na pewnym poziomie należy) pominąć cytowanie ogólnie znanego podręcznika natomiast nie można tego zrobić w stosunku do artykułu a już zupełnie nie można pominąć cytowania dokumentu. To ostatnie z jednoznacznym określeniem pozycji katalogowej i archiwum, w którym dokument się znajduje.

3. Ze szkolno-fizycznego punktu widzenia najistotniejszy jest problem wzorów tworzonych na potrzeby danego tekstu, czyli po prostu przedstawianego rozumowania. Znowu rzecz musi być jasna a każda czynność powinna być skomentowana. Typowa jest sytuacja, gdy jakieś dwa wzory są ze sobą porównane i typowy komentarz powinien wyglądać tak „wielkość A z wzoru (*) ze względu na ... jest równa wielkości B z wzoru (**) i stąd równanie. W miejsce kropek oczywiście uzasadnienie równości. I tak aż do uzyskania sformułowania „dlatego poszukiwana wielkość x jest opisana wzorem”.

4. Ostatecznie należy sprawdzić jednostki i uzyskać wynik. Wynik należy jeszcze skomentować – określić, czy wartość jest rozsądna. Nie jest to nieistotne, bo spotykałem już w Olimpiadzie gwiazdy o rozmiarach metrów czy masach rzędu 10^{80} kilogramów⁵. W takim przypadku uwaga „nie wygląda to rozsądnie, ale nie mam już czasu sprawdzać” zasadniczo poprawia ocenę uczestnika i błąd zwykle się traktuje jako błąd numeryczny (pół punktu minus). Przy braku takiej uwagi ocena może być dużo niższa. Przy okazji warto dodać, że regulaminowo w Olimpiadzie Astronomicznej spisanie z kalkulatora zbyt dużej ilości cyfr „kosztuje” 10% świadcząc o braku rozsądku uczestnika.

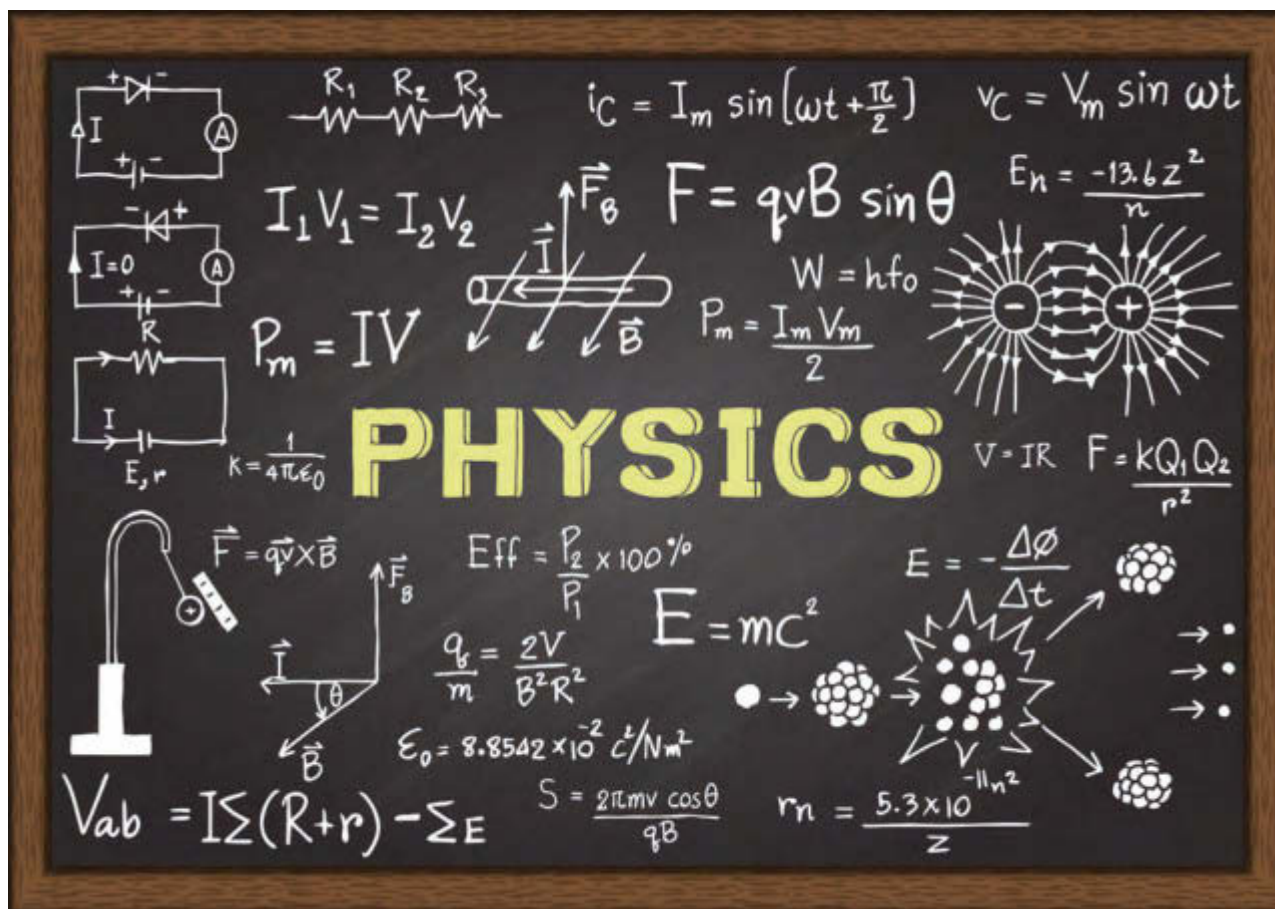
Oczywiście zbliżone zasady obowiązują i w innych tekstach. A więc uzasadnienie każdego stwierdzenia, sprawdzenie np. przez sprawdzenie jednostek i ocena sensowności uzyskanego wyniku. To ostatnie oznacza sprawdzenie zachowań granicznych (np. jakaś wielkość, która powinna być „rozsądna” nie dąży do nieskończoności, a jeżeli już czy nie jest to skutek wyjścia poza stosowność modelu), albo czy zgadza się to z wartościami „literaturowymi”.

Bardzo istotnym tekstem jest sprawozdanie z doświadczenia. Ale to chyba dość solidnie uczą na i pracowni więc chyba można sobie darować. Może jedynie warto zwrócić

³ Prace uczestników Olimpiady ocenia dwu niezależnych recenzentów. W przypadku braku zgodności oceny następuje „uzgadnianie” czyli mówiąc prosto próba wspólnego „dojścia do prawdy”. Zwykle udana i zakończona zmianą jednej z ocen.

⁴ Trudno czasem się oprzeć wrażeniu, że uczestnik niemal świadomie pisał tak by utrudnić zrozumienie swej pracy by skorzystać ze starej rzymskiej zasady „in dubio pro reo”. Niestety często stosowanej i w Olimpiadzie.

⁵ Liczba zbliżona do ilości barionów w dostępnej części Wszechświata.



uwagę na konieczność napisania po co się eksperyment przeprowadzało i co z niego wynika (na I pracowni to akurat nie jest istotne).

Pozostaje jeszcze omówić tekst będący streszczeniem artykułu popularno-naukowego. Otóż przede wszystkim taki tekst musi przedstawiać zasadniczą myśl artykułu. Tym samym streszczający musi znaleźć zasadniczą myśl, czyli „po co autor tekst napisał”. Zauważmy, że to w ogóle zasadnicza sprawa sporządzania tekstów – trzeba wiedzieć po co się go konstruuje. Tu warto zauważyć, że wiele tekstów popularnonaukowych nie zawiera tego elementu – dość często dziennikarz pisze, bo musi wyrobić etat. Oczywiście stwierdzenie takiej sytuacji może stanowić jądro tekstu streszczającego⁶.

Drugim elementem streszczenia jest porównanie z innymi tekstami na zbliżone tematy. W szczególności rzetelny streszczający (referujący) powinien zajrzeć do innych tekstów na zbliżone tematy by wychwycić co w referowanym tekście jest ważne i czy nie wchodzi w konflikt z dotychczasową wiedzą. Taka konstatacja też może stanowić konkluzję streszczenia.

Podsumowując chciałbym zwrócić uwagę na to, że najistotniejszym elementem edukacji jest nauczanie jasnego i precyzyjnego przedstawiania problemów. Powszechne w nauczaniu fizyki kładzenie nacisku na opanowywanie treści jest tyleż nieistotne (wiedza równie szybko co wchodzi opuszcza uczniowski umysł) co nawet szkodliwe. To ostatecznie, bo jak chyba wszyscy wiemy, fizyka jest zdecydowanie najbardziej nie lubianym przedmiotem. Chyba właśnie dlatego, że jest odbierana jako zbiór mało ze sobą powiązanych faktów do zakucia!

Położenie nacisku na wypowiedź i tworzenie tekstu wymuszają z jednej strony zrozumienie, jako że wydaje się niemożliwe jasne przedstawienie problemu bez jego zrozumienia a z drugiej jest samodzielną wartością o ogromnym znaczeniu. Znajomość takiego czy innego prawa fizycznego w praktyce mało komu się przyda a umiejętność stworzenia jasnego i zrozumiałego tekstu jest przydatna każdemu. Tym samym tak nauczana fizyka z jednej strony ma szansę stać się zrozumiała a z drugiej praktycznie przydatna⁷.

Jerzy Kuczyński

Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach

⁶ Spotyka się twierdzenie, że uczeń, ze względów etycznych, nie powinien takiego czegoś napotkać. Osobiście uważam, że jest przeciwnie – demoralizacją ucznia jest ukrywanie przed nim rzeczywistości.

⁷ Pamiętajmy, że fizyka była życiowo przydatna, gdy standardowym wykształceniem były studia inżynierskie. Obecnie, gdy standardem są studia typu humanistycznego praktyczna przydatność faktów dotyczących fizyki jest żadna! Co nie znaczy, że idee fizyki są nieprzydatne. Ale właśnie idee a nie konkretne fakty.



Myślenie projektowe a nauczanie fizyki

Szukanie nowych metod nauczania, uczenia się, jest zadaniem naukowców, badaczy i nauczycieli z obszaru edukacji szkolnej. Czy jesteśmy świadkiem nie tylko poszukiwań, ale wdrażania nowego podejścia do problemu nauczania i uczenia się w polskiej szkole?

Kazimierz Mikulski

Widoczne są próby nowego, może i nawet innego spojrzenia na technologię dydaktyki kształcenia w oświacie. Koncentrujemy się przede wszystkim na myśleniu projektowym, zwanym Design Thinking. Jest to nowoczesna metoda, którą wykorzystuje się do tworzenia innowacyjnych rozwiązań. Okazuje się, że sprawdza się wszędzie tam, gdzie ważne jest uwzględnienie i dopasowanie ich do potrzeb użytkowników. Jest ukierunkowana na potrzeby takich klientów. Powstała na gruncie biznesowym, ale jej potencjał jest o wiele większy, albowiem założenia tej metody z powodzeniem można stosować także w edukacji.

W tytułowej metodzie, przy wypracowywaniu nowych podejść do działania, standardowymi krokami powinny być: **koncentracja na adresatach działania, szeroka perspektywa**, z której patrzy się na wyzwania, jak również **nacisk na testowanie proponowanych rozwiązań oraz ich ulepszanie** na podstawie zebranych informacji zwrotnych. Podane elementy są głównymi założeniami Design Thinking. Uwzględnienie tych zagadnień powoduje, że praca tą metodą daje szansę na wypracowanie praktycznych, oryginalnych i przede wszystkim skutecz-

nych rozwiązań, odpowiadających realnym potrzebom szkolnej społeczności.

Myślenie projektowe, uważa wielu autorów oryginalnych opracowań, może służyć nie tylko do ulepszania szkoły, ale przede wszystkim, przyda się także poszczególnym nauczycielom i nauczycielkom, jako narzędzie zwiększające aktywność, a co za tym idzie atrakcyjności na lekcjach fizyki. Sami nauczyciele, stosując to podejście w pracy, mogą projektować zajęcia dopasowane do potrzeb klasy, szczególnie do możliwości poszczególnych uczniów. Metoda przyniesie wiele korzyści, a przy jej elastyczności, pomoże nauczycielowi wypracowywać innowacyjne rozwiązania dla swojej klasy, szkoły czy społeczności uczniowskiej. A także wspierać i sprawniej organizować twórcze działania uczniów na prowadzonych lekcjach fizyki, zajęciach pozalekcyjnych oraz w ramach projektów edukacyjnych. Warto więc zapoznać się z metodologią pracy projektowej.

„Według raportu Deloitte, 79% managerów w badaniu *Global Human Capital Trends* stwierdza, że DT (Design Thinking) jest ważnym i bardzo ważnym tematem w organizacji, a w firmach, w których HR (skrót HR – human resources) jest przodującym działem, design thinking stosuje się 5 razy częściej niż w pozostałych.”¹

Kilka słów o genezie Design Thinking

Miejscem narodzin i rozwoju Design Thinking jest Uniwersytet Stanforda w Kalifornii. To właśnie tam, w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych opracowano i realizowano przedsięwzięcia w duchu Design Thinking. Stosowano metody umożliwiające transfer kreatywnych idei i nowatorskich pomysłów do biznesowego środowiska przedsiębiorców z Doliny Krzemowej. Jednym z głównych twórców myślenia projektowego jest David M Kelley, prof. Uniwersytetu Stanforda, późniejszy współzałożyciel biura projektowego IDEO, które przy pomocy Design Thinking kreuje nowe produkty i usługi dla takich firm jak Apple, Shimano czy GE.

David M Kelley wspomina, że IDEO zrodziło się z konieczności zmiany starego modelu współpracy klient – projektant. Wcześniej, firmy technologiczne przychodziły do biura projektowego z gotowym produktem i oczekiwały projektu ładnej obudowy. Często okazywało się, że projektanci mieli przełomowe pomysły dotyczące funkcjonowania całego urządzenia, ale na zmiany było już za późno.

Założona w 1991 r. firma zapoczątkowała komercyjne zastosowanie Design Thinking jako metody dedykowanej nie tylko do projektowania produktów i wzornictwa, ale przede wszystkim w zakresie doradztwa strategicznego i biznesowego dla firm, wspierając je w obszarach dotyczących organizacji, zarządzania zmianą, innowacjami, relacjami a także sprzedażą, marketingiem i komunikacją. Obecnie szefem firmy IDEO jest Tim Brown.

Kolejnym etapem rozwoju i popularyzacji metody Design Thinking było powstanie w 2004 r. Instytutu Designu na Uniwersytecie Stanforda potocznie zwanego d.school. Założony z inicjatywy wspomnianego Davida M Kellego, przy wsparciu finansowym Hasso Plattnera, interdyscyplinarny ośrodek projektowy pozwala studentom z różnych specjalizacji realizować projekty wg. metody Design Thinking dla firm, fundacji czy społeczności lokalnych. W 2007 r. w Poczdamie powstał HPI School of Design Thinking, który w partnerstwie z d.school uczy i promuje Design Thinking w Europie.

Współcześnie wielu pedagogów samodzielnie podejmuje się takich działań m.in. w programie matematycznym Wartość Dodana Fundacji Szkoły z Klasą² czy wspierając zespoły uczniowskie w olimpiadzie „Zwolnieni z Teorii”³.

Design Thinking ma na celu kreację i wdrażanie w życie innowacyjnych rozwiązań

W praktyce istnieją różne etapy projektowe o szczególnym nazewnictwie. Ostatecznie jednak sprowadzają się do analogicznej ścieżki działań. Proces design thinking został podzielony na etapy, według których należy przechodzić przez tok twórczego projektowania działań.

1. **Empatia**, czyli rozpoznanie i głębokie zrozumienie potrzeb lub problemów grupy docelowej, którą stanowią mogą potrzebujący uczniowie.
2. **Problem**, polegający na zdefiniowaniu prawdziwego problemu na podstawie informacji z etapu 1.
3. **Ideacja**, czyli podjęcie szukania rozwiązania, przy jednoczesnym generowaniu rozwiązań – odpowiednich działań w stosunku do np. uczniów.
4. **Prototyp**, to wstępne zaprojektowanie rozwiązania, uwzględniającego aktualne potrzeby uczniów uczestniczących w design thinking.
5. **Test**, polegający na sprawdzeniu w formie pilotażu zaprojektowanych rozwiązań, z jednoczesnym badaniem ich skuteczności, a także wprowadzanie niezbędnych uzupełnień (korekt, czyli proces iteracji).
6. **Wdrożenie**, to wykorzystanie spostrzeżeń z testowanych rozwiązań oraz podjęcie decyzji wyboru najlepszego wariantu, który wprowadzamy w życie, np. w trakcie zajęć z uczniami.



Rys. 1 Graficzne przedstawienie wymienionych etapów Design Thinking

Metoda Design Thinking może być zastosowana w dowolnym problemie edukacyjnym (dydaktycznym), który nie ma jednego oczywistego rozwiązania

Metoda design thinking zapewnia inne, często świeże spojrzenie na daną sytuację, dzięki czemu można na nowo odkryć problem i zbliżyć się do znalezienia odpowiedniego rozwiązania także metodycznego.⁴

W obszarze oświaty (edukacji) Nestlé i Qualcomm wykorzystali Design Thinking do rozwoju intuicyjnego, eksperymentalnego programu edukacyjnego. Udowodnili, że tworzenie programów uczenia się zaczyna się od poznania jednostki i kontekstu jej pracy, a nie modelu. W działaniu oferują sposoby uczenia się, które są o wiele bardziej inspirujące, wciągające i prowadzą do osiągnięcia wyższego poziomu umiejętności. Dodatkowo wykorzystywane są nowe technologie, w tym cyfrowe, aby promować ciągłe uczenie się.

¹ <https://www.talentsfera.com.pl/co-to-jest-design-thinking/>

² <https://www.szkolazklasa.org.pl/>

³ Zrób własny projekt społeczny. Zdobądź międzynarodowy certyfikat i lepszą pracę, <https://zwolnienizteorii.pl/>

⁴ <https://www.talentsfera.com.pl/co-to-jest-design-thinking/>

Czy cykl Deminga był „prekursorem” tej metody?

William Edwards Deming (1900-1993), jako amerykański statystyk w 1947 r. wyjechał do Japonii, gdzie był pierwszym amerykańskim specjalistą, który w sposób metodyczny przekazywał japońskim inżynierom i menedżerom wiedzę na temat statystycznego sterowania procesem. Uważał, że 94% wszystkich problemów jakościowych powstaje z winy kierownictwa, które musi zaangażować się w zarządzanie jakością i zapewnieniem jakości. Kierownictwo powinno pamiętać, uważał Deming, że decyzje w tych sprawach należy podejmować razem z pracownikami.

Dał się poznać jako zdecydowany wróg kontroli⁵ oraz także wrogiem amerykańskich metod zarządzania, takich jak zarządzanie przez cele czy zarządzanie przez wyniki. Krytykował je na każdym kroku. Opracował zagadnienie zwane w literaturze przedmiotu <Cyklem Deminga>, określanym też jako cykl PDCA, co z ang. *Plan-Do-Check-Act* lub cykl P-D-S-A, z ang. *Plan-Do-Study-Act* lub koło Deminga), przedstawiany często jako schemat ilustrujący podstawową zasadę ciągłego ulepszania, stworzoną przez niego. Cykl Deminga występuje w 2 wersjach: popularnej i oryginalnej.

Najbardziej znana wersja, P-D-C-A, upowszechniona przez kręgi związane z zarządzaniem przez jakość i normami ISO, składa się z działań następujących po sobie określonych w porządku logicznym, które przyjęte przez polskich specjalistów brzmią: zaplanuj (ang. *Plan*) - zaplanuj lepszy sposób działania, lepszą metodę; wykonaj, zrób (ang. *Do*) - zrealizuj plan na próbę; sprawdź (ang. *Check*) - zbadaj, czy rzeczywiście nowy sposób działania przynosi lepsze rezultaty; popraw (ang. *Act*) - jeśli nowy sposób działania przynosi lepsze rezultaty, a także uznaj go za obowiązującą procedurę, wręcz normę, zestandaryzuj i monitoruj jego stosowanie.

W ostatnich latach życia Edwards Deming zgłaszał zastrzeżenia do interpretacji trzeciego kroku cyklu, który jest zbyt uproszczony i nie ujmuje sensu metodyki tzw. projektowania eksperymentalnego (Design of Experiments, w skrócie DOE). Spowodowało to, że przywrócono wersję oryginalną – P-D-S-A, a trzeci punkt ma treść: zbadaj (ang. *Study*) - gruntownie przeanalizuj rezultaty eksperymentu oraz wyprowadź wnioski dotyczące informacji, co zebrane dane mówią na temat skuteczności próbnego wdrożenia?

Ciekawe, że stworzenie cyklu PDCA, w literaturze przedmiotu, przypisuje się W. Shewhartowi, który w 1950 r. opracował algorytm działań korygujących przebieg rozregulowanych procesów. W latach późniejszych, to uczeń i współpracownik Shewharta, czyli W. E. Deming rozwinął, a następnie rozpropagował ten cykl. Cykl Deminga zawiera chronologicznie uporządkowane działania, które są typowe dla układu sterowania ze sprzężeniem zwrotnym. Działania te dotyczą jakości procesów technologicznych oraz produktów i przebiegają w następującej kolejności:

PLANOWANIE → WYKONANIE →
→ SPRAWDZANIE → DZIAŁANIE (POPRAWIANIE)

Ten model jest typowym modelem systemowym, który działa bardzo dobrze w ramach danej struktury kulturowej, zwłaszcza jak ukazano w pierwszych chwilach wdrażania w Japonii. Podjęto próby adaptacji w edukacji. W tym cyklu plan definiuje proces uczenia się, zapewnia dokumentację i zestaw mierzalnych celów. Wykonanie oznacza przeprowadzenie procesu oraz zgromadzenie wymaganych informacji i wiedzy, a po sprawdzeniu informacji według stosowanego schematu, następuje działanie korygujące, w trakcie którego następuje posługiwanie się technikami uczenia się (jakości), a także oszacowanie przyszłe plany. Na zakończenie każdego cyklu albo proces ulega standaryzacji albo koryguje się celem uczenia i cykl trwa nadal.

W naszej oświacie, na rodzimym gruncie myślenie projektowe w edukacji promuje Szkoła z Klasą 2.0, która wydała świetne i gotowe do remiksowania materiały oraz narzędzia do wykorzystania podczas zajęć w klasie. Pozyskane pomoce dydaktyczne pomogą nauczycielowi wypracowywać innowacyjne rozwiązania dla klasy, szkoły czy społeczności. Szkoła z Klasą opracowała również serię autorskich narzędzi do prowadzenia różnych etapów Design Thinking w szkole, które sprawdzą się z różnymi grupami wiekowymi. Warto sprawdzić m.in. „Alfę”, która służy ćwiczeniu empatii oraz „Ciastka” czyli popularną w Design Thinking: „personę”.

Kilka zdań o ustrukturyzowaniu metody Design Thinking w nauczaniu fizyki

Metoda pozwala w sposób praktyczny i kreatywny rozwiązywać problemy, tworzyć innowacyjne produkty oraz usługi, także dla edukacji, w tym szczególnie do nauczania fizyki. **Podążcie to koncentruje się na głębokim zrozumieniu potrzeb ucznia (użytkownika procesu kształcenia) oraz spojrzeniu na wytwarzany produkt z różnych perspektyw, szczególnie nauczyciela i ucznia.**

Przejdźcie przez cały proces składa się, jak wspominałem powyżej, z pięciu etapów. Podczas dobrego działania, każdy z nich wymaga powrotu do poprzedniego kroku lub rozpoczęcia procesu od nowa w przypadku, szczególnie gdy odkryjemy nowe potrzeby ucznia (uczniów), podczas etapu końcowego, np. podczas testów prototypu w trakcie zajęć.

Pierwszym etapem jest empatyzacja, która pozwala nauczycielowi dobrze poznać ucznia (lub uczniów), szczególnie potrzeby, problemy oraz motywacje działań (lub ich brak). Niezależnie od projektowanego działania, musimy „wejść w buty ucznia” i zrozumieć, dlaczego oczekuje od nas rozwiązań innych niż te, które wydają nam się słuszne.

Wielu absolwentów, a także ostatnio i uczniów, jawnie ukazuje problemy powstające w nauczaniu (i uczeniu się) fizyki. Obok podejścia do eksperymentów i doświadczeń fizycznych istnieje tabu liczenia zadań rachunkowych.

⁵ a swoje podejście do jakości totalnej określił w czternastu тезach, dla zainteresowanych polecam informacje na stronie o adresie https://pl.wikipedia.org/wiki/Czterna%C5%9Bcie_zasad_Deminga

Oczywiście mamy uczniów odnoszących sukcesy podczas konkursów i olimpiad krajowych i międzynarodowych, ale „problem” tkwi w nauczaniu fizyki tych wszystkich pozostałych, dla których najważniejsze jest „zaliczenie przedmiotu”. Działając zgodnie z metodologią DT, tym wszystkim młodym ludziom należy okazać, ze strony nauczyciela, empatię i zaproponować działanie (lub wręcz współpracę) z wykorzystaniem DT. Najlepiej dając własny przykład i zachęcając w perspektywie do wyliczenia np. około 1000 zadań.

W drugim etapie procesu Design Thinking analizujemy zebrane podczas wywiadów informacje i obserwacje o uczniach. Odpowiednia analiza pozwoli nam na **zdefiniowanie właściwego problemu**, który wpłynie na kierunek naszej dalszej pracy nad tworzeniem metodologii postępowania w uczeniu fizyki. Najważniejsze to podjęcie próby odpowiedzi na pytanie: co jest przyczyną „trudności”, jakie są kłopotliwe sytuacje i czy „dobra motywacja jest” jednym z elementem do naprawy. Jednocześnie pomoże również podjąć właściwe decyzje dydaktyczne, celem uniknięcia potencjalnych błędów, np. podczas rozwijania zainteresowania i motywacji, której uczniowie najprawdopodobniej potrzebują w dalszym zamiarach kształcenia.

Poszukiwanie rozwiązań w metodzie Design Thinking odbywa się na podstawie zdefiniowanego problemu oraz zebranych informacji na temat uczniów. Dobrze jest właśnie zaangażować grupę, wręcz zespół klasowy w DT. To zespół klasowy, podczas burzy mózgów, generuje jak największą liczbę pomysłów, kierując się swoimi doświadczeniami, rozwiązaniami dostępnymi w innych klasach lub szkołach oraz wszelkimi możliwymi skojarzeniami, zaczerpniętymi z przeczytanych komunikatów, np. z mediów społecznościowych. Sesja kreatywna zakończona jest głosowaniem przez członków zespołu uczniowskiego na pomysł, który zostanie wybrany do **prototypowania**.

W końcowych etapach należy zwizualizować pomysł, wybrany w etapie poszukiwania rozwiązań. Działanie to pomoże nauczycielowi zaprezentować go uczniom i zebrać ich pierwsze opinie. Prototypem może być prosta makietka, proste doświadczenie z instrukcją dokonania pomiarów i opracowania wyników, scenariusz z przykładowymi rozwiązaniami zadań, z postępowaniem krok po kroku (gdzie pamięta się na wykonaniu odpowiednich rysunków, gdyż jak mawiał mój nauczyciel „dobry rysunek to połowa rozwiązane zadania”). To działanie nie generuje wysokich kosztów, a znacząco obniży ryzyko tworzenia produktu lub usługi odbiegającej od potrzeb użytkowników, czyli uczniów.

Ostatnim etapem procesu Design Thinking jest **testowanie wybranego rozwiązania** z klientami, tutaj uczniami, w ich środowisku szkolnym. Jeżeli ten etap zostanie zakończony sukcesem, możemy przystąpić do rzeczywistego wdrożenia produktu, czyli działania (nauczania lub uczenia się) w edukacji. W innym wypadku, powinniśmy wrócić się do poprzednich etapów procesu i jeszcze raz zastanowić się, jak możemy zwiększyć wartość naszego produktu lub usługi, naszej metody działania, aby w pełni spełniła oczekiwania użytkowników, czyli uczniów.

Jestem przekonany, że warto spróbować każdy sposób, każdą metodę, by podnieść jakość oświaty z jednoczesnym przyglądaniem efektów edukacyjnych, na każdym etapie kształcenia.

dr Kazimierz Mikulski
Maksymilianowo

NETOGRAFIA

- [1] <https://otwartezasoby.pl/uruchom-myslenie-projektowe-design-thinking-w-szkole/>
- [2] <https://otwartezasoby.pl/jak-dbac-o-swoj-cyfrowy-dobrostan/>
- [3] <https://www.szkolazklasa.org.pl/materialy/design-thinking-edukacji/>
- [4] <https://otwartezasoby.pl/uruchom-myslenie-projektowe-design-thinking-w-szkole/>

I. PRENUMERATĘ NA 2022 ROK MOŻNA ZAMÓWIĆ BEZPOŚREDNIO U WYDAWCY

- **Przez internet:** zakładka *Prenumerata* na stronie www.aspress.com.pl i wypełniając formularz zamówienia na podstronie prenumeraty
- **e-mailem:** szewczyk24@gmail.com ■ **telefonicznie:** 606 201 244 ■ **listownie:** Agencja AS Józef Szewczyk, ul. Warchałowskiego 2/58, 02-776 Warszawa

Cena prenumeraty w 2022 roku

Tytuł	Liczba wydań (I i II półrocze)	Cena egzemplarzowa	Cena prenumeraty rocznej	Cena prenumeraty w I półroczu
Dwumiesięczniki				
Chemia w Szkole	6 (3+3)	35,00	210,00	105,00
Geografia w Szkole	6 (3+3)	35,00	210,00	105,00
Fizyka w Szkole z Astronomią	6 (3+3)	35,00	210,00	105,00
Wiadomości Historyczne z WOS	6 (3+3)	35,00	210,00	105,00

II. PRENUMERATA DOSTARCZANA PRZEZ FIRMY KOLPORTERSKIE:

- RUCH** – zamówienia na prenumeratę w wersji papierowej i na e-wydania można składać bezpośrednio na stronie www.prenumerata.ruch.com.pl. Ewentualne pytania prosimy kierować na adres e-mail: prenumerata@ruch.com.pl lub kontaktując się z Centrum Obsługi Klienta „RUCH” pod numerami: 22 693 70 00 lub 801 800 803 – czynne w dni robocze w godzinach 7.00–17.00. Koszt połączenia wg taryfy operatora.
- GARMOND PRESS** – tel. 22 836 69 21 prenumerata.warszawa@garmondpress.pl.
- KOLPORTER S.A.** – prenumeratę instytucjonalną można zamawiać w oddziałach firmy. Informacje: www.kolporter.com.pl.
- POCZTA POLSKA** – zamówienia we wszystkich urzędach pocztowych lub u listonoszy, drogą elektroniczną: www.poczta-polska.pl. Infolinia w godz. 8.00–22.00: 801 333 444 (dla telefonów stacjonarnych) i 801 333 444 (dla telefonów komórkowych i z zagranicy).

III. NUMERY ARCHIWALNE DRUKOWANE dostępne są w ograniczonym zakresie. Przed złożeniem zamówienia prosimy o kontakt pod adresem: szewczyk24@gmail.com.

Zamów prenumeratę przez Internet
www.aspress.com.pl/prenumerata/



Góra lodowa i edukacja polska

Jacek Orzechowski

Ten tekst ma być odpowiedzią na artykuł pt. „Góra lodowa nieszczęść polskiej edukacji” z ubiegłorocznego, wrześniowego numeru Fizyki w Szkole. Piszę go dość późno. To dlatego, że późno wpadł mi do rąk wspomniany artykuł. To co napiszę niżej, nie do końca jest zbieżne z poglądami autorów artykułu. Sądzę, że na wiele kwestii mogę spojrzeć z innej, szerszej perspektywy. W zawodzie nauczyciela pracuję dłużej, niż Autorki artykułu, to sprawia, że wiele kwestii mogę widzieć inaczej.

Studia skończyłem 35 lat temu. W tym czasie pracowałem w różnych szkołach i mogłem obserwować proces nauczania na różnych poziomach. Głównym moim zajęciem było nauczanie w liceum, w którym pracuje od 31 lat. Ale pracowałem także z uczniami szkoły zawodowej, podstawowej oraz studentami. Doświadczenie zdobyte w czasie pracy nauczycielskiej pozwala mi na sformułowanie kilku ważnych tez. Oto one:

1. Nie zawsze nowsze, oznacza lepsze.

Myślę, że jedną z bolączek polskiej szkoły może być uleganie mitowi nowoczesności. Często prowadzi ono do „wylewania dziecka z kąpielą”, do zastępowania sprawdzonych rozwiązań dydaktycznych nowszymi i niestety gorszymi. O tym, że nowsze nie musi być lepsze przekonałem się w początkach mojej pracy. Jako młodzieńki nauczyciel pracowałem w małej wiejskiej szkole, ucząc

fizyki i zastępując koleżankę matematyczkę, która była na urlopie wychowawczym. Wyzwaniem, z którym musiałem się zmierzyć było tłumaczenie dzieciom ułamków. Należało przełożyć na język uczniów coś, co dorosłym często wydaje się takie oczywiste. Podręcznik, z którego uczyłem miał być bardzo nowoczesny. Uzupełniał go poradnik metodyczny, pełen wskazówek i zaleceń dotyczących sposobu prowadzenia lekcji. Zarówno podręcznik, jak i poradnik metodyczny były dziełem tego samego autora. Jako młody i niedoświadczony nauczyciel wziąłem sobie do serca rekomendacje poradnika i starałem się prowadzić lekcje zgodnie z zawartymi w nim opisami. Szło jak po grudzie, dzieci były sfrustrowane, nauczyciel jeszcze bardziej. Po klasówce frustracja osiągnęła apogeum: wyniki były fatalne. A ja byłem skłonny zastanawiać się, czy nie powinienem szukać sobie innej pracy.

Szczęśliwym zbiegiem okoliczności niedługo potem wyjechałem z odwiedzinami do rodziny mojej żony. Spotkałem jej ciocię, nauczycielkę matematyki i doradcę metodycznego, i zwierzyłem się z moich rozterek. Rada, jakiej mi udzieliła wstrząsnęła mną do głębi. Powiedziała mniej więcej tak: „Jacek, zostaw obowiązujący podręcznik. Powiedz, niech uczniowie go nawet nie noszą ze sobą, niech nie obciążają sobie kręgosłupów. Ty ucz ułamków odwodząc się do dzielonych na części ciasteczek i jabłuszek. Mniej więcej tak jak w tej starej książce.” Tu podarowała mi stary podręcznik Abramowicza i Okołowicza, do tego kilka starych poradników metodycznych i zbiorów zadań. I stało się coś, co można porównać niemal z bajkową prze-

mianą. Dużo lepszy kontakt z uczniami na lekcji, dużo lepsze wyniki sprawdzianów, edukacja ciesząca uczniów i nauczyciela. Ale w jej centrum tkwiło zastąpienie rozwiązań nowoczesnych starszymi, sprawdzonymi metodami.

W artykule, z którym chcę polemizować znalazłem takie zdanie „...Holendrzy stwierdzili, że nauczanie fizyki polegające na wkuwaniu praw Newtona nie ma sensu w XXI wieku”. Jeśli punkt ciężkości tego stwierdzenia jest w słowie „wkuwaniu”, to muszę przyznać rację. Prawa Newtona należy przede wszystkim zrozumieć, a dopiero potem zapamiętać. Tylko trudno takie zalecenie nazwać odkrywczym. Ale jeśli ktoś uważa, że prawa Newtona są zbyt mało nowoczesne jak na obecne czasy, to bardzo się myli. Prawa Newtona są obecnie tak samo aktualne jak sto czy dwieście lat temu. Opis przyrody, jaki oferują można uznać za przybliżony. Ale to przybliżenie jest w większości sytuacji życiowych aż nadto wystarczające. Pozwala ono na rozwijanie myślenia o charakterze przyczynowo-skutkowym na poziomie, który w zupełności odpowiada rozwojowi i przygotowaniu uczniów.

W skrypcie „Podstawy mechaniki teoretycznej” prof. Sławomira Brzezowskiego UJ czytamy: „Prawa fizyki rządzące zjawiskami mechanicznymi są określone w zupełności przez zasady dynamiki Newtona i poznajemy je już w gimnazjum. Po przyjęciu tych praw do wiadomości, konstruujemy mechanikę teoretyczną, nie odwołując się już do żadnych doświadczeń, w tym sensie, że nie zadajemy Przyrodzie żadnych nowych pytań eksperymentalnych”. Myślę, że przytoczony tu cytat jest wystarczającą rekomendacją do uczenia mechaniki newtonowskiej.

2. Wybierając formy i metody pracy nie należy kierować się modą.

Opisana wyżej pogoń za nowoczesnością sprawia, że szukamy nowych metod i form pracy, sądząc, że będą one lepsze. To dążenie do wypracowania coraz lepszych sposobów nauczania jest chwalebne, ale czasami przesadzamy z poziomem nowatorstwa. Pojawiają się formy wręcz karykaturalne. Próbuje się prowadzić zajęcia z ludźmi niemal pełnoletnimi tak, jakby byli przedszkolakami lub pierwszoklasistami. Oto przykład: zasugerowano mi kiedyś, by rozważania na temat zasadności budowy elektrowni jądrowych prowadzić dzieląc klasę na grupy obiektywnych, pesymistów, optymistów i emocjonalnych. Ważnym elementem nowatorstwa miały być kartonowe kapelusze w różnych kolorach, które należało podnosić do góry zgłaszając się do dyskusji. Innymi słowy: zamiast poszukiwania rzeczowych i merytorycznych argumentów koncentrować na stronie emocjonalnej i bawić kolorowymi gadżetami. Tak wiem, metodę tę wymyślił słynny Edward de Bono, psycholog i lekarz z Malty. Wiem, że jego książki o myśleniu lateralnym są tłumaczone na wiele języków. Wiem, że powyższy opis wywołał i niejednej osoby oburzenie: jak można negocjować pomysł kogoś tak wielkiego, jak maltański ekspert w zakresie twórczego myślenia? Tylko że tu nie chodzi o negocjowanie samej metody, ale użycie jej w kontekście energetyki jądrowej, gdzie najważniejsze jest poznanie już odkrytych faktów i praca na poziomie racjonalnym, a nie emocjonalnym.

Mam wrażenie, że często nie doceniamy metody nauczania problemowego, że na siłę szukamy czegoś nowego. Mam też wrażenie, że wiele tzw. nowych metod nauczania to tylko adaptacje metody problemowej na poziomie szczegółowych rozwiązań. Zachwycając się tymi nowymi metodami nie zauważamy, że ich istotą jest właśnie nauczanie problemowe.

3. Reforma nauczania wprowadzona przez minister Annę Zalewską była bardzo potrzebna.

Konkretniej: bardzo potrzebny był powrót do idei czteroletniego liceum. Zmianę, jaką wprowadzono w 1999 roku w polskim systemie edukacji uważam za zmianę na gorsze. Tak przynajmniej odbieram ją w stosunku do nauczania fizyki. Szczególnie odczuły to klasy o profilu matematyczno-fizycznym. W czasie pierwszego roku nauki klasy te poznawały fizykę na poziomie szcztątkowym zwanym podstawowym w wymiarze jednej godziny tygodniowo. Później miały rok i osiem miesięcy na opanowanie programu rozszerzonego – wcześniej realizowanego przez cztery lata.

Publikacje, jakie się pojawiały po wprowadzeniu gimnazjów początkowo można porównać z tzw. propagandą sukcesu. Zachwyty w mediach nijak się miały do tego, co można było zaobserwować w praktyce szkolnej. Symptomy przebudzenia zaobserwowałem podczas zjazdu PTF w Szczecinie w 2007 roku. Wówczas absolwenci gimnazjów pojawili się w progach uczelni i wprawili wielu wykładowców w osłupienie słabym poziomem przygotowania do studiów.

Nie tak dawno w „Fizyce w Szkole” znalazłem artykuł, wspominający o tym, jak STUDENCI FIZYKI zachodzili w głowę, skąd we wzorze na drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym bierze się czynnik $\frac{1}{2}$. Ich zdaniem tego czynnika nie powinno tam być. Myślę, że to przykład bardzo dobrze pokazujący realność osiągnięć absolwentów gimnazjów.

Uczciwość nakazuje mi jednak napisać, że kontakt z absolwentami przywróconej szkoły podstawowej nie napawa mnie optymizmem. Sprawiają wrażenie jeszcze słabiej przygotowanych niż uczniowie po gimnazjum. Tyle, że wg mnie to nie jest dowód, na bezzasadność reformy z 2017 roku. To raczej dowód, że dużo łatwiej coś zepsuć, niż potem naprawić. Musi minąć jakiś czas, wydłużone szkoły podstawowe muszą okrzepnąć. I wreszcie: siatka godzin i programy muszą zostać dopracowane.

Z punktu widzenia nauczania fizyki byłoby bardzo dobrze, gdyby uczniowie w podstawówkach na matematyce zetknęli się z pojęciem funkcji, układami dwóch równań z dwiema niewiadomymi, poznali pojęcia z zakresu trygonometrii w jakiejś zarodkowej formie, poćwiczyli trochę algebry. To wszystko kiedyś było w podstawówkach i uczniowie z tym sobie radzili. Oczywiście, niektórym było trudno. Ale jeśli młody człowiek spróbował rozwiązywać układ równań metodą podstawiania, to potem nie wpadał w przerażenie, gdy zmienną wyliczoną z jednego prostego równania należało podstawić do drugiego i całość uprościć.

4. Dekrety i rozporządzenia nie wystarczą do zmiany rzeczywistości.

Christof Drosser w książce „Matematyka daje się uwieść” opisuje debatę w jednym ze stanów USA, by zadekretować wartość liczby π na 3,2. Wtedy wiele zagadnień matematycznych dałoby się uprościć, np. problem kwadratury koła.

Czasem mam wrażenie, że niektórzy urzędnicy uważają, że wystarczy wydać rozporządzenie, a wszystko zmieni się na lepsze. Można bez problemu sformułować wymóg, „by na każdej lekcji stosować indywidualizację”. Ale wypełnić ten wymóg w klasie, która liczy 35 uczniów a zajęcia odbywają się raz w tygodniu jest dużo trudniej. Żeby wszystko działało, trzeba połączyć zarządzenia dotyczące sposobu pracy, liczebność grup i siatkę godzin.

5. Obniżenie wieku skolaryzacji może się okazać działaniem przeciwnie skutecznym.

Ośmielam się sformułować taką tezę na podstawie publikacji prof. Gruszczyk-Kolczyńskiej poświęconej trudnościom w uczeniu się matematyki. Rozwój myślenia operacyjnego następuje od 7 roku życia. Chodzi o ten rodzaj myślenia, który Piaget nazywał operacjami logicznymi. Problem polega na tym, że przekroczenie progu myślenia operacyjnego u różnych dzieci może być przesunięte o kilka miesięcy. To może sprawić, że dziecko nie radzi sobie w początkowym okresie uczenia matematyki. Gdy już dojrzeje do tego typu myślenia, jest tak zrażone początkowymi niepowodzeniami, że nawet nie próbuje uczyć się tego przedmiotu. Jeśli nie spotka kogoś, kto będzie potrafił podjąć odpowiednie działania terapeutyczne, to do końca życia będzie sądzić, że nie ma talentu do nauk ścisłych. Tu proponuję dość długi cytat z artykułu Małgorzaty Majerek napisanego na podstawie książki prof. Gruszczyk-Kolczyńskiej. Artykuł ma tytuł: „Dlaczego dzieci nie potrafią się uczyć matematyki?”. Oto wspomniany cytat:

„Nauczanie matematyki – kształtowanie w umysłach dzieci podstawowych pojęć i umiejętności matematycznych opiera się na rozumowaniu operacyjnym. Aby dziecko było zdolne do uczenia się matematyki, musi posługiwać się rozumowaniem operacyjnym. Takie rozumowanie pojawia się u dziecka około siódmego roku życia (na poziomie operacji konkretnymi), ale różnice indywidualne w tempie rozwoju dochodzą nawet do 4 lat. Jest to jedna z przyczyn iż dziecko, które znajduje się w grupie tej różnicy nie jest w stanie pojąć sensu elementarnych pojęć matematycznych. Aby dziecko nie miało problemów w zakresie tego przedmiotu musi osiągnąć wymagany poziom rozwoju psychicznego, czyli dojrzałość psychiczną do uczenia się matematyki. Na taka dojrzałość składa się:

- zdolność do operacyjnego rozumowania, aby móc kształtować pojęcia liczb naturalnych i czterech działań,
- odporność emocjonalna na pokonywanie trudności,
- sprawność manualna i precyzja spostrzegania.

Jeśli dziecko nie zdobędzie takiej dojrzałości przed rozpoczęciem nauki matematyki w kl. I, wówczas występują zaburzenia, powodujące niepowodzenia i trudności.

Te niepowodzenia nie są wynikiem braku uzdolnień matematycznych, tylko opóźnieniem w rozwoju w/w procesów. Pierwszym składnikiem dojrzałości psychicznej do uczenia się matematyki, jest wymagany poziom myślenia oraz właściwy dobór metody nauczania. Metoda nauczania ma duży wpływ na rozwój procesów psychicznych, które w dużej mierze gwarantują dobre efekty w nauczaniu matematyki i eliminowaniu trudności w uczeniu się tego przedmiotu.”

Lekarka Maria Montessori proponowała, by dziecko od piątego roku życia miało ćwiczenia wstępne do rachunku i pisanie. Tyle tylko, że te ćwiczenia nie mogą być prowadzone tak, jakby dziecko już osiągnęło poziom myślenia operacyjnego, a zajęcia z takimi dziećmi muszą się różnić od zajęć przeznaczonych dla obecnych pierwszoklasistów. Być może da się je zorganizować tak, by stymulować pojawienie się myślenia operacyjnego. Warto jednak się zastanowić, czy to jest realizowalne w grupach takich, jak obecne pierwsze klasy szkoły podstawowej.

6. Rozwiązania dydaktyczne stosowane w innych krajach nie muszą się sprawdzić u nas.

Bardzo często spotykam się z argumentacją, w myśl której w takim czy innym kraju stosuje się taki lub inny sposób organizacji nauczania. Nasze kompleksy podpowiadają nam, że to musi być coś lepszego niż nasze krajowe rozwiązania i, że warto się zastanowić nad naśladownictwem. Tyle tylko, że system edukacyjny nie może być rozpatrywany w oderwaniu od całokształtu stylu życia w danym społeczeństwie. Coś co sprawdziło się w Belgii nie musi sprawdzić się w Polsce. Jeśli chcielibyśmy jako wyznacznik jakości systemu edukacyjnego brać pod uwagę osiągnięcia absolwentów, to należałoby przyjrzeć się sposobowi uczenia w Chinach, lub szerzej w dalekowschodnich krajach azjatyckich. Czy taki pomysł znajdzie akceptację w Polsce?

7. Mała ilość doświadczeń podczas lekcji fizyki nie wynika tylko z braku pomocy naukowych.

To także wynik małej ilości czasu przeznaczonego na nauczanie. Doświadczenie bywa czasochłonne, a nauczyciel musi myśleć o tym, by zrealizować cały program. Często doświadczenie wymaga wcześniejszego przygotowania i zestrojenia używanych przyrządów. Ale gdzie te przyrządy zostawić, by móc je później wykorzystać w czasie lekcji? W sali szkolnej oprócz lekcji fizyki w konkretnej klasie odbywają się zajęcia innych klas z innych przedmiotów. To wyklucza pozostawienie sprzętu doświadczonego do czasu planowanej lekcji. Jak ma sobie radzić z eksperymentowaniem na lekcjach nauczyciel, który uzupełnia etat pracując w różnych szkołach?

dr Jacek Orzechowski

II Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Staszica
w Starachowicach

Kompendium astronomiczne

– wybrane pojęcia i zagadnienia – cz. 5

Kompendium astronomiczne zostało napisane z myślą o szerokim gronie czytelników. Może być ono przydatne dla uczniów szkół ponadpodstawowych, a także dla kandydatów na studia, którzy planują zdawać egzamin maturalny z przedmiotu fizyka. Również może stanowić ciekawą pozycję literaturową dla nauczycieli przedmiotu fizyka i wszystkich miłośników tego przedmiotu. W pracy tej przedstawiono najważniejsze pojęcia i terminy związane z astronomią.

W piątej części tego kompendium zostały przedstawione wybrane zagadnienia z astronomii w porządku alfabetycznym – uzupełnienie od litery K aż do litery N.

Komety długookresowe – komety o okresie orbitalnym P spełniającym warunek: $P > 200$ lat.

Komety krótkookresowe – komety o okresie orbitalnym P spełniającym warunek: $P < 200$ lat.

Komety jednopojawieniowe – (nieokresowe) – komety poruszające się wokół Słońca po orbitach parabolicznych lub nawet hiperbolicznych. Zbliżają się z głębi przestrzeni kosmicznej w pobliże Słońca by następnie z powrotem opuścić na zawsze Układ Słoneczny ich ruch wokół Słońca jest więc nieokresowy.

Poniżej przedstawiamy podstawowe informacje związane z wybranymi kometami.

Kometa 2P/Encke – krótkookresowa kometa krążąca wokół Słońca o najmniejszym znanym dla komet okresie obiegu $P = 3,3$ lat.

Kometa 1P/Halley – słynna duża, jasna kometa, najbardziej znana ze wszystkich komet okresowych, której zbliżenia do Słońca są regularnie odnotowywa-



Foto. 1. Fotografia komety 2P/Encke z 1994 roku (Foto. NASA).



Foto. 2. Fotografia komety Halley, która została wykonana podczas ostatniego zbliżenia się komety do Słońca w 1986 roku (Foto. NASA).

ne w kronikach wielu narodów od roku 466 p.n.e. Krąży ona wokół Słońca po wydłużonej orbicie eliptycznej o dużej półosi $a = 17,8$ AU z okresem orbitalnym równym około 75 lat. Jej orbitę na podstawie trzech wcześniejszych pojawień wyznaczył w pierwszej połowie XVIII wieku astronom angielski Edmund Halley i stąd jej nazwa. Ostatni raz przeleciała w pobliżu Słońca w 1986 roku. Następny jej powrót w okolice Słońca jest przewidywany około roku 2061.

Kometa 29P/Schwassmann-Wachmann – kometa krążąca po prawie kołowej orbicie pomiędzy orbitami Jowisza i Saturna odkryta w 1929 roku przez dwóch astrono-



Foto. 3. Fotografia komety 29P/Schwassmann-Wachmann wykonana w podczerwieni przez Kosmiczny Teleskop Spitzera (Foto. NASA).

mów niemieckich Schwassmanna i Wachmanna w czasie wybuchu swojej jasności. Jest najlepiej poznaną przedstawicielką grupy przejawiającej wybuchy blasku komet. Na podstawie współczesnych badań stwierdzamy, że kometa wybuchła średnio około 7 razy w ciągu każdego roku tzn. zwiększa swój widomy blask równy średnio około 18-19 magnitudo o kilka wielkości gwiazdowych. Zazwyczaj zmiana jasności wynosi około 5 magnitudo, ale zdarzają się skoki jasności tej komety o większej a także i mniejszej amplitudzie. Z powodu dalekiej odległości od Słońca z Ziemi praktycznie dostępna tylko obserwacjom teleskopowym – niewidoczną okiem nieuzbrojonym.

Kometa 67P/Czuryumov-Gerasimenko (67P/Ch-G) – jest to typowa kometa okresowa, która została odkryta w 1969 roku. Cechą charakterystyczną tego obiektu jest to, że posiada nieregularne jądro składające się z dwóch połączonych płatów. Kometa ta była przedmiotem badań podczas misji kosmicznej Rosetta. W sierpniu 2014 roku Rosetta dotarła w pobliże komety 67P/Ch-G. i weszła na orbitę wokół jej jądra. Z pokładu sondy został uwolniony lądownik Philae, który po raz pierwszy w historii wylądował na powierzchni komety w dniu 12 listopada 2014 roku. Dodajmy, że szczegółowe badania uzyskanych wyników podczas misji Rosetta dostarczyły wielu cennych informacji. Na szczególną uwagę zasługuje możliwość monitorowania naprawdę z bliska aktywności sublimacyjnej komety 67P/Ch-G.



Foto. 4. Fotografia komety 67P/Czuryumov-Gerasimenko wykonana przez sondę kosmiczną Rosetta (Foto. ESA, <https://www.flickr.com/photos/european-space-agency/16456721122/>).

Kometa 21/Borisov (21/B) – to pierwsza zaobserwowana kometa międzygwiazdowa, i drugi zaobserwowany obiekt międzygwiazdowy, po planetoidzie 'Oumuamua. Sformułowanie międzygwiazdowa oznacza, że kometa nie jest związana grawitacyjnie

ze Słońcem. Najprawdopodobniej ciałem macierzystym jest gwiazda Kruger 60 w konstelacji Cefeusza. Kometa 21/B była przedmiotem obserwacji wykonywanych między innymi przy użyciu Kosmicznego Teleskopu Hubble'a. Szczegółowe obserwacje i dokładne analizy pozwoliły ustalić, że jądro komety 21/B jest małe i wynosi od 200 do 500 m. Już pierwsze obserwacje tego obiektu ujawniły śpiączkę, co utwierdziło astronomów w przekonaniu, że mamy do czynienia z kometa. Okrycie rozwoju aktywności sublimacyjnej danego obiektu jest ważne. Pozwala nam określić jego skład chemiczny poprzez analizę gazów w śpiączce. Przeprowadzona wstępna analiza spektralna wykazała, że śpiączka komety pod względem składu chemicznego nie różni się znacząco od komet pochodzących z Obłoku Oorta. W połowie marca 2020 roku zaobserwowano fragmentację komety, a później, w kwietniu, odnotowano jeszcze więcej dowodów na jej fragmentację.



Foto. 5. Zdjęcie komety międzygwiazdowej 21/Borisov (Foto. NASA, ESA).

Kometarne warkocze – wypływające z głowy komety strumienie materii; generalnie kometarna materia pyłowa tworzy zakrzywione łukowato od Słońca warkocze pyłowe a kometarna materia plazmowa tworzy warkocze plazmowe skierowane prostoliniowo od Słońca. Astronom rosyjski Briedichin wprowadził klasyfikację warkoczy kometarnych ze względu na ich kształt i podzielił je na trzy typy:

- I – warkocze proste leżące wzdłuż przedłużenia wektora wodzącego Słońce – kometa,
- II – warkocze łukowate odchylone do tyłu względem kierunku ruchu komety,
- III – krótkie warkocze odchylone znacznie od przedłużenia promienia wodzącego komety.

Materia w warkoczach poddana jest działaniu dwóch sił: skierowanej ku centrum ruchu komety przyciągającej

siły grawitacji Słońca oraz skierowanej w przeciwną stronę siły odpychającej, która w ogólnym przypadku pochodzi od ciśnienia promieniowania słonecznego oraz ciśnienia wiatru słonecznego. Poszczególnym typom warkoczy można przypisać następujące wartości $1 + \mu$ oznaczające stosunek pierwszej z tych sił do drugiej:

- typ I: $60 < 1 + \mu < 100$,
- typ II: $0.5 < 1 + \mu < 2.5$,
- typ III: $0 < 1 + \mu < 0.3$.

Im wartość wyrażenia $1 + \mu$ jest większa tym mniejsze jest zakrzywienie warkocza. Warkocze typu I składają się z plazmy (zjonizowane molekuły CO^+ , N_2^+ , O_2^+ , CH^+); typu II zawierają molekuły neutralne takie same jakie znajdują się w głowie komety oraz bardzo małe pyły; typu III składają się z pyłów kometarnych o bardzo zróżnicowanych wymiarach. Geometrycznie warkocze typu I i II mają kształt zbliżony do syndyny tzn. składają się z cząstek wybiegających z jądra komety w sposób ciągły i doznających jednakowych przyspieszeń natomiast warkocze typu III mają kształt synchronów, czyli są zbiorami cząstek (pyłów) wylatujących z głowy komety jednocześnie i ulegających różnym przyspieszeniom.



Rys. 1. Dwa typowe warkocze kometarne gazowy i pyłowy (Rys. NASA).

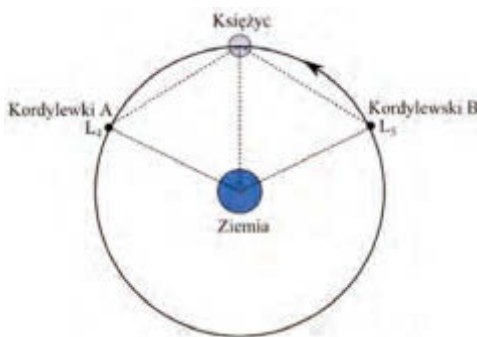
Koniunkcja (planety) – konfiguracja polegająca na tym, że Słońce, Ziemia i druga planeta położone są w jednej linii prostej. Rozróżniamy koniunkcję górną, gdy planeta znajduje się poza Słońcem licząc od Ziemi oraz koniunkcję dolną, gdy planeta znajduje się pomiędzy Słońcem a Ziemią.

Księżyc – naturalny satelita Ziemi i najbliższe jej ciało niebieskie. Bryła Księżyca ma kształt zbliżony do kuli o promieniu 3476 km i masę $7.33 \cdot 10^{22}$ kg. Księżyc obiega Ziemię po orbicie będącej lekko spłaszczoną elipsą o mimośrodku $e = 0.055$ i dużej półosi $a = 384\,395$ km

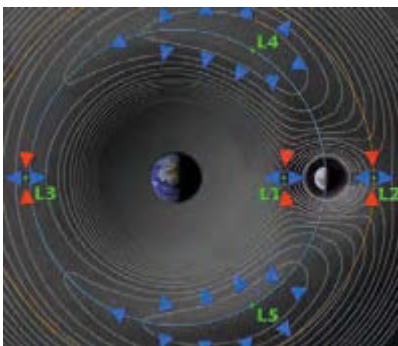


Foto. 6. Fragment powierzchni Księżyca – widoczny krater Dedalus (Foto. NASA).

w czasie 27.322 dni. Konsekwencją ruchu orbitalnego Księżyca jest jego przemieszczanie się po sferze niebieskiej z zachodu na wschód ze średnią prędkością około 13° na dobę czemu towarzyszy zjawisko faz. Ponieważ okres obrotu Księżyca wokół własnej osi jest równy jego okresowi orbitalnemu, dlatego zwraca się do Ziemi ciągle tą samą stroną. Jednak dzięki tzw. zjawisku libracji, które związane są z faktem, że ruch po orbicie eliptycznej nie jest jednostajny oraz z wahaniami położenia Księżyca względem kierunku ku Ziemi możemy obserwować około 59% jego



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie położenia naturalnego satelity Ziemi – Księżyca oraz dwóch księżyców pyłowych: Kordylewski A (w pobliżu L_4) i Kordylewski B (w pobliżu L_5).



Rys. 3. Dwa księżycy ziemskie tzw. pyłowe, które znajdują się w dwóch punktach libracyjnych L_4 i L_5 – księżyc Kordylewski A, natomiast L_5 to księżyc Kordylewski B (Rys. NASA). Poprzez punkt libracyjny należy rozumieć miejsce w układzie dwóch ciał powiązanych grawitacją, w którym ciało o znikomej masie pozostaje w spoczynku względem ciał układu.

powierzchni. Oprócz tego satelity dookoła Ziemi krążą dwa księżycy pyłowe: Kordylewski A i Kordylewski B (nazwa pochodzi od odkrywcy polskiego astronoma Kazimierza Kordylewskiego), które podobnie jak planetoidy trojańskie są przykładem realizacji rozwiązania Lagrange'a zagadnienia trzech ciał. Są to obłoki materii pyłowej położone w dwóch wierzchołkach trójkątów równobocznych zbudowanych na podstawie układu Ziemia-Księżyc.

Kulminacja – najwyższe lub najniższe położenie ciała niebieskiego względem płaszczyzny horyzontu. Kulminacja górna (górowanie) oznacza najwyższe a kulminacja dolna najniższe położenie ciała niebieskiego względem płaszczyzny horyzontu. Gdy Słońce znajduje się w kulminacji górnej to mówimy o prawdziwym południu słonecznym, a jak w dolnej to o prawdziwej północy słonecznej.

Kwazary – pozagalaktyczne zwarte (pozornie punktowe) źródła gwiazdopodobne ciągnącego nietermicznego promieniowania elektromagnetycznego o ogromnej mocy, któremu towarzyszą szerokie linie emisyjne wykazujące bardzo duże przesunięcie linii widmowych ku czerwieni. Całkowita moc promieniowania kwazarów może sięgać rzędu 10^{41} W czyniąc te obiekty najjaśniejszymi obiektami astronomicznymi. Pierwszy kwazar został odkryty w 1963 roku jako optyczny, punktowy odpowiednik źródła radiowego więc nazwano go początkowo gwiazdopodobnym radioźródłem (ang. quasi-stellar radio source QSRS). Później okazało się, że tylko około 10 % kwazarów jest czynnych radiowo, resztę nazwano obiektami gwiazdopodobnymi (ang. quasi-stellar object QSO). Jednak nazwa kwazar obejmuje oba rodzaje obiektów (QRSRS i QSO), o których przynależności do rodziny kwazarów decyduje obecność szerokich linii emisyjnych w widmie. Obserwuje się również w ich widmach linie absorpcyjne o różnych mniejszych niż dla linii emisyjnych przesunięciach ku czerwieni. Jasności kwazarów zarówno w paśmie optycznym jak i radiowym mogą ulegać znacznym zmianom w okresie od kilkudziesięciu do kilku tysięcy dni. Linie emisyjne powstają prawdopodobnie w gorącym gazie tworzącym kwazary a linie absorpcyjne tworzą się w obłokach materii międzygalaktycznej pomiędzy kwazarem a Ziemią. Są to najdalsze (odległe nawet około 15 mld lat świetlnych o Ziemi) i o największej mocy promienio-

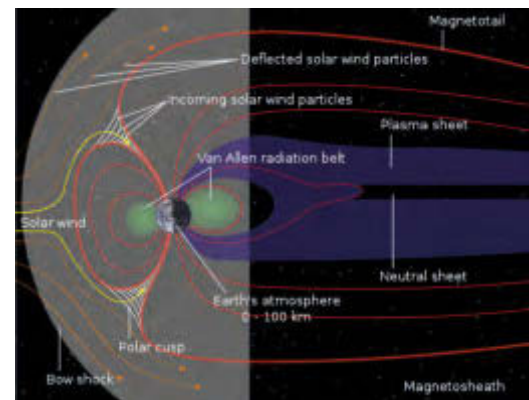


Foto. 7. Fotografia Galaktyki NGC 4319 wraz z widocznym w górnej prawej części kwazarem Markarian 205 (Foto. NASA).

wania obserwowane obiekty kosmiczne. Natura kwazarów jest słabo znana. Prawdopodobnie są to aktywne centra galaktyk. Sądzi się, że źródłem ich energii jest akrecja materii na czarną dziurę.

Magnetar – młoda gwiazda neutronowa o olbrzymich polach magnetycznych rzędu 10^{10} – 10^{11} T. Magnetary są źródłami powtarzalnych rozbłysków gamma.

Magnetosfera – obszar wokół planety wewnątrz którego ruchy cząstek naelektryzowanych zdeterminowane są przez pole magnetyczne planety (i ewentualnie przez jej pole elektryczne). Jest to obszar, gdzie dominuje pole magnetyczne planety. Magnetosfera Ziemi ma kształt wydłużony i nieco kropkowaty; w kierunku ku Słońcu rozciąga się na odległość rzędu $10R_z$ gdzie R_z jest promieniem Ziemi, w kierunku do niego prostopadłym na około $12R_z$ a w kierunku odslonecznym na odległość rzędu kilkuset R_z . Magnetosferę Ziemi dzielimy na zewnętrzną – utworzoną przez linie pola magnetycznego wypływające z obszarów położonych w okolicach biegunów magnetycznych Ziemi i wewnętrzną – utworzoną przez linie wypływające z niższych szerokości geomag-



Rys. 4. Schemat pola magnetycznego Ziemi. Północny biegun magnetyczny leży w pobliżu geograficznego bieguna południowego, natomiast południowy biegun magnetyczny leży w pobliżu północnego bieguna geograficznego (Rys. NASA).

netycznych. Zamknięte linie wewnętrznej magnetosfery stanowią pułapkę magnetyczną dla naładowanych elektrycznie cząstek, głównie protonów i elektronów co jest przyczyną utworzenia się w magnetosferze Ziemi dwóch pasów radiacji Van Allena. Cząstki naelektryzowane poruszające się w zewnętrznej magnetosferze, mogą przenikać przez obszary okołobiegunowe do atmosfery Ziemi i zderzając się z cząsteczkami i atomami pierwiastków wchodzących w skład ziemskiej atmosfery. Efektem tego procesu jest ich świecenie, które powoduje powstawanie zorń polanych (łac. aurora borealis).

Magnetopauza – powierzchnia graniczna magnetosfery planety (np. Ziemi) gdzie ciśnienie pola magnetycznego planety jest równoważone przez ciśnienie dynamiczne wiatru słonecznego opływającego pole magnetyczne planety (np. Ziemi).

Ciemna materia – hipotetyczna, lecz dziś szeroko akceptowana w kosmologii forma nieświecącej materii trudno dostępna bezpośrednim obserwacjom (stąd jej nazwa), która miałaby wypełniać



Foto. 8. Na fotografii przedstawiono gromadę galaktyk Abell 520, która znajduje się w konstelacji Oriona. Kolorem niebieski oznaczono ciemną materię, natomiast różowym gorący gaz (Foto. NASA).



Foto. 9. Fotografia gromady galaktyk CL0024+17 – zdjęcie zostało wykonane przez kosmiczny teleskop Hubble'a. Na fotografii można dostrzec zjawisko soczewkowania grawitacyjnego pierścienia ciemnej materii (Foto. NASA). Wyjaśnijmy, że soczewkowanie grawitacyjne polega na zakrzywieniu promieni świetlnych w polu grawitacyjnym masywnego ciała niebieskiego prowadzące do ich skupienia.

przestrzeń międzygwiazdową i międzygalaktyczną. Istnienie wielkich obłoków ciemnej materii wokół galaktyk spiralnych pozwala wytłumaczyć stabilność dysków galaktycznych i dynamikę gwiazd poruszających się w ich zewnętrznych obszarach a także dynamikę galaktyk znajdujących się w gromadach. Istnieją przypuszczenia, według których ciemną materię stanowią neutrina, lub mogą to być gwiazdy neutronowe, czarne dziury i brązowe karty. Prawdopodobnie ciemnej materii jest kilka razy więcej niż wynikałoby to z ilości świecących obserwowanych gwiazd w galaktykach.

Materia międzygalaktyczna – materia wypełniająca przestrzeń kosmiczną pomiędzy galaktykami. Aktualnie przyjmuje się, że jej gęstość jest rzędu około $10^{-28} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Składa się głównie z wodoru, helu i domieszki takich pierwiastków jak tlen, azot, węgiel oraz bardzo drobnych pyłów. Być może mogą do niej z rzadka należeć również odosobnione gwiazdy wyrzucane z galaktyk.

Materia międzygwiazdowa – materia wypełniająca przestrzeń kosmiczną pomiędzy gwiazdami. Zaliczmy do niej gaz – głównie wodór i hel, pył oraz galaktyczne promieniowanie kosmiczne. Cząsteczki pyłów, które zbudowane są z rdzeni mineralnych (żelazo, krzem) otoczonych lodowym płaszczem mają wymiary rzędu $10^{-7} - 10^{-6} \text{ m}$. Rozkład materii międzygwiazdowej jest wyraźnie niejednorodny. Średnia gęstość materii międzygwiazdowej jest rzędu $10^{-21} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ lecz w najgęstszych obłokach może osiągać wartości około $10^{-17} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Obłoki materii międzygwiazdowej odgrywają kluczową rolę w procesie powstawania gwiazd.

Materia międzyplanetarna – materia wypełniająca przestrzeń kosmiczną pomiędzy planetami Układu Słonecznego. Składają się na nią rozrzedzony neutralny wodór, cząsteczki plazmy wiatru słonecznego, promieniowanie kosmiczne, pył kosmiczny, meteoroidy, asteroidy, komety. Średnia gęstość materii międzyplanetarnej w pobliżu Ziemi jest rzędu $10^{-19} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, średnia prędkość protonów wiatru kosmicznego w pobliżu Ziemi jest równa około 350 km/s .

Meteoroidy – drobne ciała kosmiczne – jedna ze składowych materii międzyplanetarnej, okruchy materii od pyłków o wymiarach rzędu 10^{-6} m do największych brył o średnicach rzędu 100 metrów krążące w Układzie Słonecz-

nym będące pozostałością po rozpadzie komet.

Moc promieniowania (L) (jasność absolutna wyrażona w Watach) – ilość energii promieniowanej z powierzchni ciała niebieskiego w jednostce czasu we wszystkich zakresach fal elektromagnetycznych. Moc promieniowania np. gwiazdy o kształcie kulistym wyraża wzór:

$$L = 4\pi\sigma R^2 T_{\text{ef}}^4, \quad (1)$$

gdzie R oraz T_{ef} oznaczają odpowiednio jej promień i temperaturę efektywną a σ jest stałą Stefana-Boltzmann'a.

Model kosmologiczny – w szerokim znaczeniu jest to model opisujący globalny kształt i ewolucję Wszechświata. Często pod tym pojęciem rozumiemy układ równań matematycznych opisujących lokalną budowę i ewolucję Wszechświata w oparciu o pewne przesłanki obserwacyjne. Współczesne dane obserwacyjne – obserwacyjne podstawy kosmologii – świadczą o tym, że w chwili obecnej Wszechświat poprawnie jest opisywany prawdopodobnie przez jeden z modeli Friedmanna.

Nadir – punkt, w którym linia pionu przecina sferę niebieską znajdujący się pod obserwatorem, niewidoczny przez niego, gdyż przesłania go powierzchnia Ziemi.

Uwaga:

Pozostałe pojęcia będą sukcesywnie omawiane w kolejnych częściach tego kompendium.

dr Marcin Wesołowski^{1,2},
dr hab. Piotr Gronkowski^{1,2}, prof. senior UR
¹Kolegium Nauk Przyrodniczych,
Instytut Nauk Fizycznych, Uniwersytet Rzeszowski,
²Centrum Innowacji
i Transferu Wiedzy Techniczno-Przyrodniczej
Uniwersytetu Rzeszowskiego.

LITERATURA:

- [1] Harrington, P., S., 1999, Zaćmienie! Co, gdzie, kiedy, dlaczego i jak? Prószyński i S-ka, Warszawa.
- [2] Rybka, E., 1976, Astronomia ogólna, PWN, Warszawa.
- [3] Borkowski, K. M., 1991, Astronomiczne obliczenia nie tylko dla geografów, UMK Toruń.
- [4] Artymowicz, P. 1995, Astrofizyka układów planetarnych, Wyd. Naukowe PWN.
- [5] Kubiak M., 1994, Gwiazdy i materia międzygwiazdowa, PWN, Warszawa.

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

- [6] Stodółkiewicz J. S., 1978, Astrofizyka ogólna z elementami geofizyki, PWN Warszawa.
- [7] Jaroszyński M., 1993, Galaktyki i budowa Wszechświata, PWN, Warszawa.
- [8] Urania – Postępy Astronomii roczniki z lat 2000 – 2020.
- [9] Fizyka w szkole z astronomią – roczniki z lat 2000-2020.

STRONY INTERNETOWE:

- [10] <https://www.nasa.gov/>
- [11] <https://sci.esa.int/>

PRENUMERATA 2022

PRZEDŁUŻ LUB ZAMÓW!



Zamów
wydanie
darmowe!



PRENUMERATA:

- ☐ w wersji drukowanej,
- ☐ w wersji elektronicznej (pliki PDF),
- ☐ roczna,
- ☐ półroczna.

Szczegóły i formularz zamówienia na www.aspress.com.pl/prenumarata/

eprasa.pl c2f218f360

**Wymyśliłeś?
Zbadałeś?
Pokaż!**


Odkrycia
Polska Edycja EUCYS



**Weź udział w kolejnej
edycji EUCYS!**

fundusz.org/odkrycia