

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

383 (LXIV) indeks 35810X Nr 6 listopad/grudzień 2022 CENA w wersji PDF 20,00 zł (w tym 8% VAT)

SPEKTAKULARNE EKSPERYMENTY

Energia z Kosmosu
ratunkiem dla Ziemi?

Promieniowanie kosmiczne,
czyli właściwie co?

Niezwykły
świat
kwantów

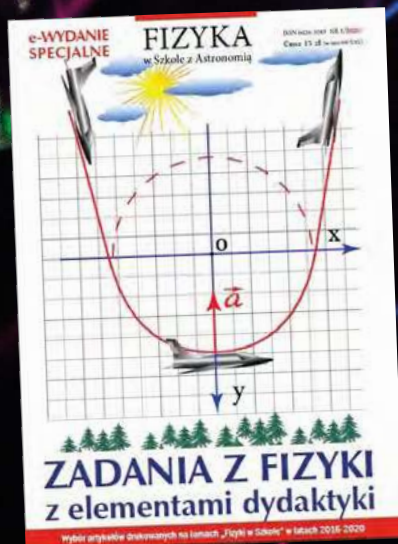
Uczyć jak Wolfke
O praktycznym
i interdyscyplinarnym
podejściu do dydaktyki
fizyki

O energii interdyscyplinarnie
O energii uczymy nie tylko na lekcjach fizyki,
ale też chemii, biologii i geografii



WYDANIA SPECJALNE „Fizyki w Szkole”

Wersje elektroniczne – pliki PDF



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

eprasa.pl 9d551931e2

Drodzy Czytelnicy!

Na początku chciałbym złożyć najserdeczniejsze życzenia zdrowych, wesółych i pogodnych świąt Bożego Narodzenia i szczęśliwego Nowego Roku. Mam nadzieję, że wśród świątecznej krzątaniny znajdą Państwo czas na lekturę naszego czasopisma. Ważnym elementem tradycji świątecznej jest czekanie na pierwszą gwiazdę. Tym tematem zajmują się też astronomowie. Ich głównym zainteresowaniem jest oczywiście próba przewidzenia, która gwiazda będzie pierwsza. Zdaniem Marcina Wesołowskiego tegorocznym kandydatem na pierwszą gwiazdę jest Jowisz. Czas pokaże czy będzie miał rację.

Drugim słowem, które nie znikną z środków masowego przekazu jest energia. Fizyk rozumie pojęcie energii dwójako. Oczywiście z jednej strony jak każdy śmiertelnik traktuje energię jako sposób na zasilenie lodówki, lub samochodu, za którą niestety trzeba płacić, z drugiej strony, energia jest jednym najważniejszych pojęć fizycznych, a prawo zachowania energii jest, późno odkrytym ale niezwykle ważnym prawem fizyki. Pierwszemu ujęciu energii poświęcony jest artykuł Kazimierza Mikulskiego – „Kosmiczna energia”. W nim autor opisuje, mniej lub bardziej realistyczne pomysły pozyskiwania energii ze Słońca. Ktoś mógłby powiedzieć, że to nic nowego, ponieważ farmy słoneczne są znane od lat. Autor zajmuje się jednak innym podejściem polegającym na wyłapywaniu energii bezpośrednio w Kosmosie. Podejście to jest o tyle obiecujące, że w Kosmosie jest jej znacznie więcej, gdyż część energii emitowanej przez Słońce jest odbijana przez atmosferę Ziemi, a więc tracona. Autor opisuje sposoby nie tylko jak pozyskać wspomnianą energię ale też sposoby na jej transportu na Ziemię.

Z kolei Grzegorz Karwasz w swoim artykule „O „energii” interdyscyplinarnie” traktuje pojęcie energii całościowo, czyli, żeby użyć modnego obecnie słowa interdyscyplinarnie. W tym artykule znajdziemy po pierwsze ewolucję samego pojęcia energii, dowiemy się z niej, że co prawda pojęcie to było znane od czasów aleksandryjskich ale czy energia Arystotelesa to to samo co energia dla współczesnego fizyka, a jak na pojęcie energii spojrzeli biolog? A jak chemik? Aby się tego dowiedzieć zapraszam do lektury wspomnianego artykułu.

Zapraszam też do lektury pozostałych artykułów. Mam nadzieję że uznają je Państwo za ciekawe i jeszcze raz życzę Wesółych Świąt.

W imieniu redakcji

Zbigniew Wiśniewski

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

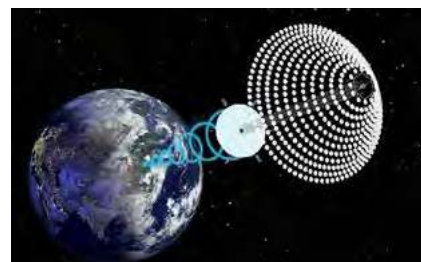
4 Od superciężkich pierwiastków do terapii hadronowej, czyli o wkładzie GSI Darmstadt w światową naukę ■ Tomasz Kubiak

Obecnie wielkie projekty naukowe angażują tysiące najlepszych specjalistów z całego świata, a warta miliony euro infrastruktura badawcza, zgromadzona w wielkich centrach naukowych, pozwala przeprowadzać spektakularne eksperymenty. Nie tylko przybliżają nas one do zrozumienia, jak funkcjonuje przyroda, ale często dostarczają też innowacyjnych rozwiązań technicznych, które później znajdują zastosowanie w medycynie, przemyśle a nawet urządzeniach codziennego użytku.



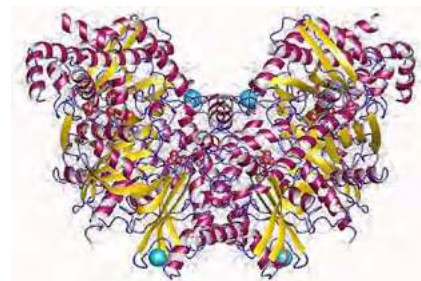
10 Kosmiczna energia ■ Kazimierz Mikulski

Grupa naukowców od ponad 50 lat wymyśla techniki przechwytywania energii słonecznej w Kosmosie i przesyłania jej na Ziemię. Czy to zaspokoi nasze potrzeby energetyczne?



16 O „energii” interdyscyplinarnie. Pojęcie energii w dydaktyce ■

Grzegorz Karwasz, Katarzyna Wyborska ...Energia to zdolność ciała do wykonania pracy. Jednak pojęcie energii pojawia się również na lekcjach chemii podczas omawiania reakcji chemicznych, lekcjach biologii – pojęcie energii związanej z metabolizmem czy na lekcjach geografii omawiając energię geotermalną.



24 CREDO-Maze: promieniowanie kosmiczne, czyli właściwie co?

■ Tadeusz Wibig

Teoria kwantowania energii promieniowania była początkowo traktowana jako czysto teoretyczna (matematyczna) hipoteza.

32 Niezwykły świat kwantów ■ Waldemar Reńda

38 Żywoty fizyków. Joseph Henry, Jr. (1797-1878) ■ Tadeusz Wibig

40 Isidor Isaac Rabi – fizyk noblista z Galicji ■ Rafał Simon

Z naszych lekcji

41 Jedna z przyczyn niechęci do nauki ■ Jerzy Kuczyński

44 Uczyć jak Wolfke... czyli o praktycznym i interdyscyplinarnym podejściu do dydaktyki fizyki ■ Ewelina Agnieszka Kędzierska

Astronomia dla każdego

47 Jowisz prawdopodobnym kandydatem na gwiazdę Betlejemską w 2022 roku ■ Marcin Wesołowski

48 Program Szkół Kosmicznych ■ Joanna Pietrzak, Ryszard Gabryszewski



FIZYKA

w Szkole z Astronomią

NUMER 6 LISTOPAD/GRUDZIAŃ 2022
383 (LXIII) indeks 35810X ISSN 0426-3383

CENA 35,00 zł
(w tym 8% VAT)

Komitet redakcyjny Krystyna Jabłońska-Ławniczak, 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/, 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: GSI

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

Od superciężkich pierwiastków do terapii hadronowej, czyli o wkładzie GSI Darmstadt w światową naukę

Osoby, które nie zajmują się na co dzień badaniami naukowymi, często utożsamiają fizykę z treściami znanymi ze szkolnych podręczników. W książkach tych nie znajdziemy jednak aktualnych informacji o współczesnych osiągnięciach tej dziedziny wiedzy. Dlatego warto przybliżyć pracę uczonych i popularyzować wyniki ich badań.

Tomasz Kubiak

Wbrew stereotypom w dzisiejszych czasach przełomowych doświadczeń zazwyczaj nie wykonuje się już w ciasnych laboratoriach w pojedynkę lub z wąską grupą współpracowników. Obecnie bowiem wielkie projekty naukowe angażują tysiące najlepszych specjalistów z całego świata, a warta miliony euro infrastruktura badawcza, zgromadzona w wielkich centrach naukowych, pozwala przeprowadzać spektakularne eksperymenty. Nie tylko przybliżają nas one do zrozumienia, jak funkcjonuje przyroda, ale często dostarczają też innowacyjnych rozwiązań technicznych, które później znajdują zastosowanie w medycynie, przemyśle a nawet urządzeniach codziennego użytku.

Na łamach „Fizyki w Szkole” została już przedstawiona działalność najsłynniejszego z europejskich ośrodków naukowych, czyli CERN (Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych).¹ Niniejszy artykuł przybliży natomiast infrastrukturę i wybrane osiągnięcia Instytutu Badań Ciężkich Jonów w Darmstadt w niemieckiej Hesji.

GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung² to bowiem nie tylko ogromny kompleks akceleratorów i doskonale wyposażonych laboratoriów, ale przede wszystkim miejsce, gdzie ponad 1200 naukowców z całego świata wspomaganych przez 1520 stałych pracowników prowadzi przełomowe badania z zakresu fizyki i nauk przyrodniczych. Fot.1 przedstawia mapę kampusu

z zaznaczeniem najważniejszych elementów infrastruktury naukowej. Naszą peregrynację po instytucie warto zacząć od bliższego przyjrzenia się, w jaki sposób generowane i przyspieszane są tam ciężkie jony.

Źródła jonów

W GSI jony do przyspieszaczy dostarczane są przez trzy niezależne terminale. Pierwszy z nich wykorzystuje źródło najstarszego typu, czyli PIG (ang. *Penning Ionization Gauge*), zapewniając wiązki nisko bądź średnio zjonizowanych atomów (zarówno gazów, takich jak: argon, neon, krypton czy ksenon, jak i pierwiastków metalicznych np. złota, glinu, bizmutu czy ołowiu).

PIG pozwala uzyskać prąd wiązki jonów rzędu kilkuset mikroamperów. W źródle tym elektrony oscylują pomiędzy dwoma katodami, wewnątrz cylindrycznej anody, wzdłuż równoległych do jej osi linii pola magnetycznego. Gaz wprowadza się bezpośrednio do komory jonizacyjnej, natomiast pierwiastki stałe rozpyla z elektrody spolaryzowanej ujemnie w stosunku do anody. Silne pole magnesu dipolowego pozwala utrzymać plazmę, w której szybkie elektrony jonizują atomy pierwiastków. Ekstrakcja wiązki odbywa się przez otwór w jednej z katod albo alternatywnie przez szczelinę w anodzie. Warto dodać, że źródła typu PIG, choć stosowane od kilkudziesięciu lat, były poddawane licznym udoskonaleniom.

Drugi z terminali zaopatrywany jest przez nowoczesniejsze źródło typu ECR (ang. *Electron Cyclotron Re-*

¹ T. Kubiak, Od badań podstawowych do edukacji. Co warto wiedzieć o CERN?, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 5 (2019), s. 10-16.

² Nazwa GSI związana jest z dawną, niemiecką nazwą instytutu Gesellschaft für Schwerionenforschung.

sonance). W jego przypadku mikrofałe ($f = 8-18$ GHz) wprowadzane są do znajdującej się w polu magnetycznym komory wyładowań i przy spełnionym warunku rezonansu powodują wirowanie elektronów po trajektoriach spiralnych. Dzięki temu uzyskiwane są wysokie temperatury plazmy, które zapewniają jonizację również wewnętrznych powłok elektronowych.

Dostępne w GSI źródła ECRIS CAPRICE wykorzystują pola magnetyczne 1,0 oraz 1,2 T i pozwalają generować szeroką gamę jonów, począwszy od wodoru aż do ołowiu. Warto wspomnieć, że źródła te nadają się do generowania wiązek jonów węgla, wykorzystywanych w teleradioterapii pacjentów z nowotworami, o czym będzie jeszcze mowa w dalszej części artykułu.

Trzeci terminal, który dostarcza nisko naładowane jony, ale w wiązkach o dużej intensywności, bazuje na źródłach określanych akronimami: MEVVA, MUCIS oraz CHORDIS. MEVVA (od ang. *MEtal Vapor Vacuum Arc*) generuje jony metali, natomiast MUCIS (od ang. *MUlti Cusp Ion Source*) zjonizowane atomy pierwiastków gazowych.

Z kolei CHORDIS (ang. *Cold or HOT Reflex Discharge Ion Source*) to mała komora plazmowa, wytwarzająca jony jednokrotnie naładowane. W GSI źródła jonów ulokowane są w dwóch charakterystycznych, metalowych, pomalowanych na pomarańczowo kontenerach, ukazanych na fot.2. Po ekstrakcji z odpowiedniego źródła jony trafiają do przyspieszaczy.³

Akceleratory w GSI

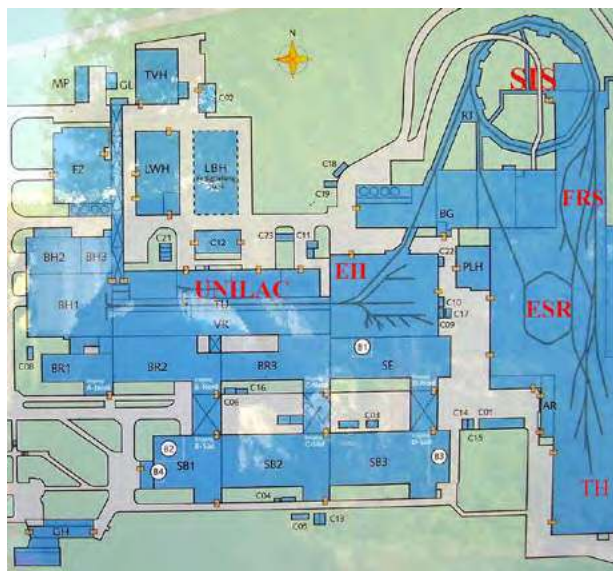
Jony wygenerowane przez wybrane źródło, po wstępnym przyspieszeniu (do około 0,2% szybkości światła), posiadają wystarczającą energię, aby zostać wstrzyknięte do układu akceleratorów. Pierwszą strukturą przyspieszającą, grupującą i ogniskującą ciężkie cząstki naładowane po ich elektrostatycznej ekstrakcji ze źródła jest kwadru-pol wysokiej częstotliwości RFQ (ang. *Radio Frequency Quadrupole*). Dalej używane są wnęki typu Alvarez (pięć jednostek przyspieszających) o ściśle dobranej częstotliwości rezonansowej.⁴ Tworzą one układ DTL (ang. *Drift Tube Linac*).

W GSI akcelerator liniowy nosi nazwę UNILAC (ang. *UNIversal Linear ACcelerator*). Ten 120 m długości przyspieszacz potrafi rozpędzić zjonizowane pierwiastki (od protonów do jonów uranu) do ok. 16% prędkości światła, tj. $\approx 11,4$ MeV/u. Następnie mogą one jonowodami (fot. 3) trafić na różne stanowiska w hali eksperymentalnej albo do akceleratora kołowego SIS18 (niem. *Schwerionensynchrotron 18*) w celu dalszego zwiększenia ich prędkości.

Czytelnicy „Fizyki w Szkole” wiedzą zapewne, że w synchrotronie pole elektryczne przyspiesza jony, a pole magnetyczne zakrzywia ich trajektorię, aby krążyły w ultrawysokiej próżni po torze o stałym promieniu. Przy obwodzie 216 m w SIS18 jony mogą zostać rozpędzone do około 90% szybkości światła. Warto dodać, iż w skład tego akceleratora wchodzi: 2 wnęki przyspieszające (0,8 – 5,5 MHz, $V_{pp} \approx 16$ kV), 24 magnesy dipolowe 1,8T

(zakrzywiające wiązkę), 12 magnesów sekstupolowych i 12 trypletów magnesów kwadru-polowych (ogniskujących wiązkę niczym soczewki) oraz inne elementy optyki jonowej i diagnostyki wiązki (m.in. kubek Faraday’a).

Jony przyspieszone w synchrotronie SIS 18 mogą zostać wykorzystane w eksperymentach mających na celu poszukiwanie pierwiastków, które różnią się od dotychczas poznanych liczbą neutronów w jądrze. Ukazany na fot.4 spektrometr magnetyczny wysokiej rozdzielczości FRS (ang. **F**ragment **S**eparator) pozwala właśnie zidentyfikować takie nowe izotopy oraz oddzielić je od innych produktów reakcji.



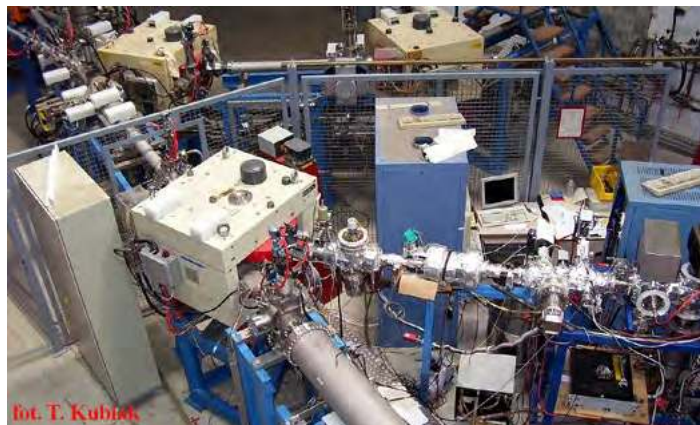
Fot. 1. Mapa kampusu GSI z zaznaczeniem: akceleratora liniowego (UNILAC), hali eksperymentalnej (EH), synchrotronu ciężkich jonów (SIS), separatora (FRS), pierścienia akumulacyjnego (ESR) i hali tarcz (TH).



Fot. 2. Charakterystyczne pomarańczowe kontenery mieszczące źródła jonów w GSI.

³ W procesie ekstrakcji wiązki jonów wykorzystywane są wysokie napięcia od 20-130 kV.

⁴ Wynalazcą tego typu struktur przyspieszających był amerykański fizyk i noblista Luis Walter Alvarez.



Fot. 3. Wiązki ciężkich jonów rozprawdane są jonowodami do poszczególnych stanowisk w hali eksperymentalnej.



Fot. 4. Fragment separatora FRS w GSI Darmstadt.

Kolejnym niesamowitym urządzeniem jest pierścień akumulacyjny ESR (ang. *Experimental Storage Ring*) o obwodzie 108,36 m. To w nim wiązki ciężkich pierwiastków, wykonując nawet kilka milionów obiegów na sekundę, oczekują na wykorzystanie w zaplanowanym eksperymencie. Na uwagę zasługują ogromne możliwości pierścienia, mogącego pracować zarówno z jądrami helu, jak i uranu. Te ostatnie osiągają w nim energię rzędu 560 MeV/u. Generalnie jednak do doświadczeń najczęściej wykorzystuje się wiązki jonów o energii w okolicach 300 MeV/u. Warto uświadomić sobie, że dla poprawnego funkcjonowania urządzenia kluczowe jest utrzymanie wewnątrz wysokiej próżni (10^{-11} mbar), aby zminimalizować prawdopodobieństwo zderzeń krążących jonów z cząsteczkami gazu.

W przypadku pierścienia akumulacyjnego, podobnie jak ma to miejsce w synchrotronie, odpowiednią trajektorię ruchu jonów zapewniają liczne magnesy kwadrupolowe ogniskujące wiązkę oraz sześć ogromnych magnesów dipolowych (fot.5), które ją zakrzywiają. Niezwykle ciekawą aparaturą jest też tzw. „electron cooler” (fot.6). Aby zrozumieć jego funkcję, warto uświadomić sobie, że wzajemne odpychanie się jonów w wyniku oddziaływań kulombowskich a także zderzenia pomiędzy jonami a cząsteczkami resztek gazu w pierścieniu prowadzą do pogorszenia para-

metrów wiązki, w tym zwiększenia jej rozbieżności kątowej. Chłodzenie elektronowe pozwala temu zapobiec.

Oddziaływanie „gorących” jonów z „zimnymi” elektronami poruszającymi się w tym samym kierunku powoduje bowiem przekaz energii termicznej od jonów do elektronów.⁵ Należy również wspomnieć, iż w pierścieniu ESR przeprowadza się także bardzo dokładny pomiar mas krążących tam jonów metodą spektrometrii mas Schottky’ego.

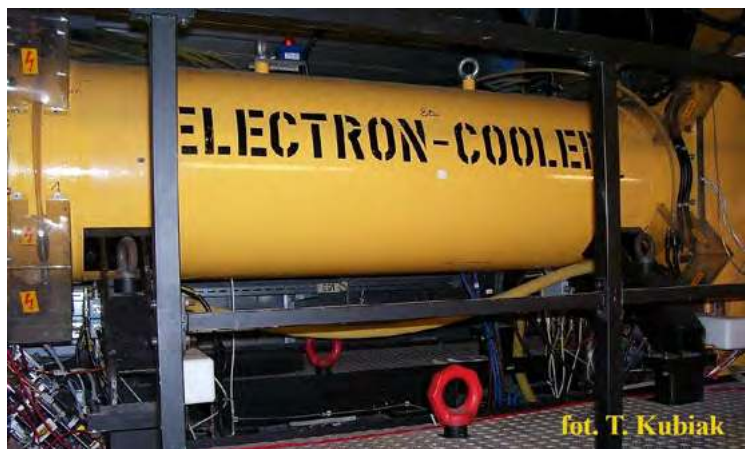
Z pierścienia ESR jony w wybranej chwili trafiają do stanowisk eksperymentalnych. Przykładowo wtórne wiązki niestabilnych, rzadkich izotopów, wytwarzanych w reakcjach fragmentacji lub rozszczepienia relatywistycznych ciężkich jonów, badane są również metodą spektroskopii promieniowania gamma.

Warto w tym miejscu przypomnieć słynny, aczkolwiek historyczny już projekt RISING (ang. *Rare ISotope Investigations at GSI*). Wykorzystywano w nim nie tylko separator FRS, ale również imponujący spektrometr promieniowania gamma (fot.7). Składał się na niego zestaw detektorów półprzewodnikowych z czystego germanu (HPGe od ang. *High Purity Germanium*) EUROBALL oraz układ scyntylatorów BaF₂ (HECTOR) do rejestracji kwantów γ o wysokich energiach.

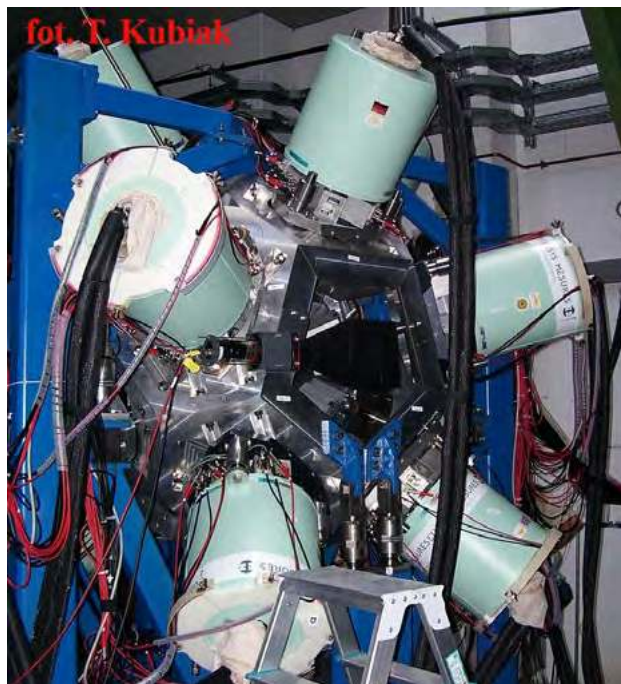
⁵ Szczegóły na temat procedury chłodzenia elektronowego można znaleźć w pracy H. Poth, Electron cooling: Theory, experiment, application, Physics Reports 196 (3-4), 1990, 135-297.



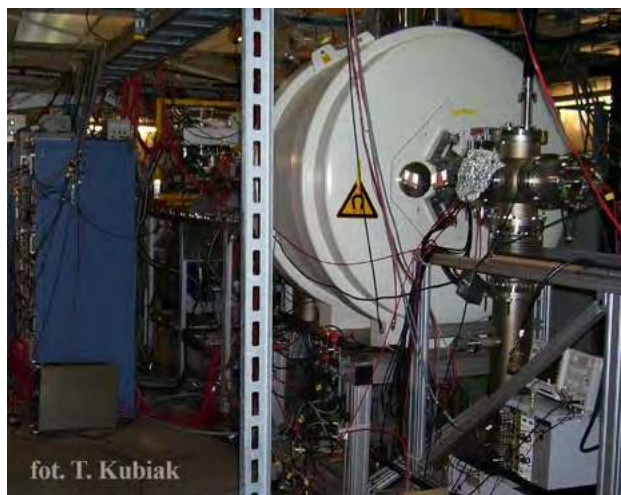
Fot. 5. Jeden z ogromnych magnesów dipolowych zakrzywiających tor wiązki w pierścieniu ESR.



Fot. 6. Electron cooler wykorzystuje strumień elektronów do poprawy właściwości wiązki jonów.



Fot. 7. Detektory promieniowania otaczające tarczę w eksperymencie RISING.



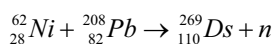
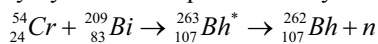
Fot. 8. Fragment układu do poszukiwania superciężkich pierwiastków w GSI Darmstadt.

Poszukiwanie superciężkich pierwiastków

W świadomości społecznej instytut w Darmstadt zapisał się przede wszystkim ze względu na odkryte tam ciężkie pierwiastki. Żeby uzmysłowić sobie rolę, jaką odegrało GSI w uzupełnianiu tablicy Mendelegiewa najlepiej przyjrzeć się współczesnej wersji układu okresowego. Oficjalne nazwy nowych pierwiastków, które są ustalane przez Międzynarodową Unię Chemii Czystej i Stosowanej (IUPAC od ang. *International Union of Pure and Applied Chemistry*), często pochodzą bowiem od miejsca lub rejonu geograficznego, w jakim zostały odkryte. Warto zatem zwrócić uwagę, że pierwiastek z liczbą atomową 110 nazwano „darmsztadt” (${}_{110}\text{Ds}$, łac. *darmstadtium*). Z kolei na pozycji 108 znajdziemy has (*lac. hassium*, ${}_{108}\text{Hs}$), którego miano pochodzi, co nietrudno się domyślić, od Hesji. Do innych pierwiastków uzyskanych w prowadzonych w GSI

eksperymentach należą: bohr (${}_{107}\text{Bh}$, łac. *bohrium*), meitner (${}_{109}\text{Mt}$, łac. *meitnerium*), roentgen (${}_{111}\text{Rg}$, łac. *roentgenium*) i kopernik (${}_{112}\text{Cn}$, łac. *copernicium*).

Jeśli do tego dodamy jeszcze, że w niemieckim laboratorium potwierdzono istnienie, wytworzonych wcześniej w innych ośrodkach: ${}_{113}\text{Nh}$, ${}_{114}\text{Fl}$, ${}_{115}\text{Mc}$, ${}_{116}\text{Lv}$, ${}_{117}\text{Ts}$ oraz ustalono właściwości wielu innych ciężkich pierwiastków, nikt nie będzie miał wątpliwości, jaki wkład do nauki światowej wniosły prowadzone tam eksperymenty.⁶ Oczywiście należy mieć świadomość, iż wymagały one niezwykle kosztownej i skomplikowanej aparatury naukowej, której opis wymagałby odrębnego artykułu. Warto wspomnieć tylko, że przyspieszanymi w akceleratorze liniowym UNILAC ciężkimi jonami bombardowano m.in. cienkie tarcze zbudowane z innego pierwiastka, np. ołowiu czy bizmutu. W wyniku wywołanych w ten sposób reakcji fuzji jądrowej powstały właśnie pierwiastki o liczbie atomowej od 107 do 112. Przykładem może być otrzymywanie izotopu bohru⁷ czy darmsztadu:



Bombardowane jonami tarcze (o grubości $450 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) umieszczano na specjalnym, rotującym z szybkością 1125 rpm kole, co umożliwiało pracę z wiązkami o dużej intensywności. Koniecznie trzeba wspomnieć również o innych elementach układu doświadczalnego, przede wszystkim separatorze produktów reakcji jądrowych (filtre prędkości), licznych detektorach (np. czasu przelotu elektronów wtórnych) oraz o technikach pozwalających uzyskać pełniejsze informacje o najcięższych nuklidach, czyli spektroskopiach: masowej (umożliwiającej identyfikację dłużej żyjących izomerów jądrowych) i laserowej (przydatnej do określania spinów i momentów magnetycznych jąder). Fot. 8 przedstawia część aparatury do badania superciężkich pierwiastków, w tym separator SHIP (ang. *Separator for Heavy Ion reaction Products*) oraz pułapkę jonową SHIPTRAP.

Interdyscyplinarne badania w GSI

Aczkolwiek poszukiwanie superciężkich pierwiastków najbardziej rozsławiło GSI Darmstadt, w ośrodku tym wykonuje się również wiele interesujących doświadczeń z zakresu fizyki jądrowej, atomowej, inżynierii materiałowej, fizyki cząstek elementarnych oraz plazmy a także biofizyki oraz medycyny nuklearnej.⁸ Posiadanie odpowiedniej infrastruktury, a przede wszystkim akceleratora liniowego oraz synchrotronu a także szeregu zaawansowanych stanowisk eksperymentalnych zdecydowanie ułatwia prowadzenie przełomowych badań.

Na szczególną uwagę zasługują interdyscyplinarne prace nad wykorzystaniem wiązek ciężkich jonów w leczeniu chorób nowotworowych. Zaletom terapii hadronowej poświęcono już osobny artykuł w „Fizyce w Szkole”.⁹

⁶ Liderem grupy naukowej poszukującej nowe pierwiastki był zmarły w 2022 r. prof. Sigurd Hofmann.

⁷ Szczegóły czytelnicy znajdą w historycznej już pracy: G. Münzenberga i inni, Identification of Element 107 by α Correlation Chains, *Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei*, 300 (1981), 107-108.

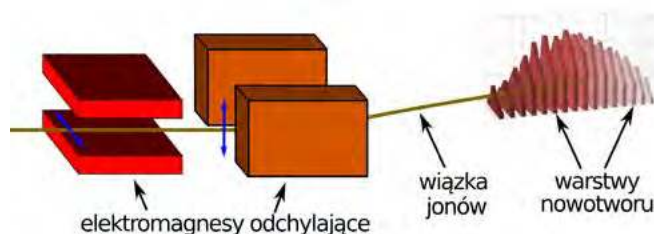
⁸ Informacje o aktualnie prowadzonych badaniach znaleźć można na oficjalnej stronie GSI: <https://www.gsi.de/en/start/news> (dostęp z 1.11.2022).

⁹ T. Kubiak, Od konwencjonalnej radioterapii fotonowej do terapii hadronowej, czyli fizyka w leczeniu nowotworów, *Fizyka w Szkole z Astronomią*, nr 6 (2015), s. 4-7.

Przypomnijmy tylko, że wiązki jonów węgla, ze względu na korzystne właściwości fizyczne (m.in. odpowiedni rozkład dawki na głębokości z maksymalnym przekazem energii zachodzącym w obszarze tzw. piku Bragga) oraz radiobiologiczne (wysoki współczynnik szkodliwości biologicznej), pozwalają zdecydowanie skuteczniej walczyć z nowotworami niż stosowana powszechnie terapia fotonowa. Zalety radioterapii hadronowej są szczególnie widoczne w przypadku precyzyjnego niszczenia odpornych na promieniowanie nowotworów, zlokalizowanych w sąsiedztwie tzw. narządów krytycznych, czyli organów szczególnie wrażliwych na promieniowanie. To właśnie w GSI Darmstadt prof. Gerhard Kraft wraz z zespołem opracował technikę aktywnego skanowania (ang. *raster scanning*), wykorzystującą wąskie („ołówkowe”) wiązki $^{12}\text{C}^{6+}$ (o energiach 85–430 MeV/u) do precyzyjnego napromieniania kolejnych małych elementów przestrzennych (wokseli), wyróżnionych w obrębie chorej tkanki.

W tej technice odchylenie strumienia jonów odbywa się przy użyciu zmiennego pola magnetycznego, wytwarzanego przez zestaw dwóch elektromagnesów skanujących (rys.1) i nie wymaga stosowania elementów pasywnych (modulatorów, kompensatorów itp.), których obecność pogarsza jakość wiązki. Z kolei zmiana głębokości, na jaką podawana jest wiązka (wybór warstwy), odbywa się poprzez regulowanie energii jonów, dostarczanych przez synchrotron.

Następną innowacją zaproponowaną przez biofizyków z GSI było wprowadzenie nowoczesnych metod planowania leczenia i optymalizacji dawek w oparciu o modele RBE (ang. *Relative Biological Effectiveness modelling*). Początkowo, w latach 1997 – 2009, pacjentów napromieniano w ramach pilotażowego projektu bezpośrednio na terenie GSI. Z czasem w niedalekim Heidelbergu zbudowano za



Rys. 1. Technika aktywnego skanowania polega na napromienianiu kolejnych warstw nowotworu wąską wiązką jonów, która odchylana jest z wykorzystaniem pola magnetycznego.

119 mln euro supernowoczesny ośrodek radioterapii, czyli HIT (niem. *Heidelberger Ionenstrahl-Therapiezentrum*). Jest to wspaniały przykład transferu wiedzy i technologii z laboratoriów biofizycznych do praktyki klinicznej.

Bardzo ważnym aspektem działalności GSI Darmstadt są również badania materiałowe. Właściwości ciał stałych mogą być bowiem modyfikowane w wyniku napromieniania wiązkami wysokoenergetycznych jonów. W laboratoriach wytwarzane są m.in. nanodrut (struktury o średnicy od kilku do kilkunastu nm i długości nawet 1000 razy większej) o kontrolowanym składzie, geometrii i orientacji krystalograficznej. Napromienienie polimerowej matrycy jonami złota o energii ~2 GeV, przyspieszonymi w akceleratorze UNILAC, skutkuje powstaniem śladów w penetrowanym materiale. Po dodatkowym wytrawieniu stanowią one kanały o ściśle określonej średnicy.

Dzięki zastosowaniu metody osadzania elektrochemicznego wewnątrz tych nanoporów powstają nanodrut z miedzi, złota, bizmutu, platyny, srebra i różnorodnych stopów. Struktury te mogą zostać później wykorzystane do produkcji sensorów gazowych, fotoelektrod oraz różnych elementów elektronicznych.



FAIR będzie jednym z największych i najbardziej złożonych obiektów akceleratorowych na świecie. Sercem obiektu jest podziemny akcelerator pierścieniowy o obwodzie 1100 metrów.

FAIR GSI

Współcześnie GSI Darmstadt to jeden z najszybciej rozwijających się ośrodków naukowych na świecie. Świadczy o tym chociażby prowadzona w jego sąsiedztwie ogromna inwestycja, czyli budowa kompleksu FAIR (ang. *Facility for Antiproton and Ion Research*).¹⁰ Co ciekawe, Polska znajduje się wśród krajów będących współudziałowcami tego gigantycznego projektu. Zestaw akceleratorów, w tym kołowy o obwodzie 1100 m, pierścienie akumulacyjne oraz szereg stanowisk eksperymentalnych pozwolą użyć wiązki jonów i antyprotonów do spektakularnych doświadczeń, które przybliżą nas do uzyskania odpowiedzi na fundamentalne pytania: skąd wzięła się materia we Wszechświecie, jakie ma ona właściwości, jak przebiegała ewolucja Wszechświata, w jaki sposób w gwiazdach i ich eksplozjach wytwarzane są ciężkie pierwiastki, jak zbudowane są gwiazdy neutronowe, czym charakteryzuje się plazma wysokiej gęstości?

Należy wspomnieć również o planowanych badaniach z zakresu biofizyki (pod kątem wykorzystania antymaterii w leczeniu nowotworów oraz ochrony astronautów przed promieniowaniem kosmicznym) a także inżynierii materiałowej (modyfikacji właściwości materiałów z wykorzystaniem wiązek jonów). Oczywiście przy okazji badań

fundamentalnych rozwinięte zostaną także liczne innowacje, mogące w przyszłości zmienić nasze życie. Warto wspomnieć chociażby energooszczędne superkomputery, zaawansowane metody analizy dużych ilości danych czy też technologie związane z próżnią i nadprzewodnictwem. Jednego możemy być pewni – naukowcy z GSI i FAIR napiszą jeszcze niejedną rozdział w historii fizyki.

dr Tomasz Kubiak

Wydział Fizyki UAM w Poznaniu

LITERATURA:

- T. Kubiak, Particle therapy of moving targets-the strategies for tumour motion monitoring and moving targets irradiation, *British Journal of Radiology* 89, (2016), 20150275.
- M. Block i inni, Recent progress in experiments on the heaviest nuclides at SHIP, *La Rivista del Nuovo Cimento* 45, (2022), 279-323.
- S. Hofmann, Synthesis and Properties of Superheavy Elements, *Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences* 4, (2003), R1-R13.
- O. Jäkel i inni, The history of ion beam therapy in Germany, *Zeitschrift für Medizinische Physik* 32, (2022), 6-22.
- F. Caddeo i inni, Tuning the Size and Shape of NanoMOFs via Templated Electrodeposition and Subsequent Electrochemical Oxidation, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 11, (2019), 25378-25387.
- N. Angert, Ion sources, *CAS CERN accelerator school: 5. general accelerator physics course, Proceedings* 1994, 619-642.
- T. Kubiak, Beam delivery systems in hadron therapy for cancer treatment, *PhD Interdisciplinary Journal* 1, (2014), 67-73.
- W. Bayer, Heavy-Ion-Beam Emittance Measurements at the GSI Unilac, *Proceedings of LINAC 2006, USA*, 177-179.
- H. H. Gutbrod, International Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR) at GSI, Darmstadt, *Nuclear Physics A* 752, (2005), 457-469.

¹⁰ Filmy z budowy kompleksu dostępne są na Youtube na oficjalnym kanale „FAIR GSI – The Universe in the Lab”: <https://www.youtube.com/c/FAIRGSITheUniverseintheLab> (dostęp z 1.11.2022)

Co w fizyce piszczy

Plastik przewodzący prąd jak metal

Naukowcy z University of Chicago odkryli sposób na stworzenie materiału, który może być wykonany jak plastik, ale przewodzi elektryczność bardziej jak metal. Badania, opublikowane w czasopiśmie *Nature*, pokazują, jak stworzyć rodzaj materiału, w którym fragmenty molekularne są pomieszczone i nieuporządkowane, ale nadal mogą bardzo dobrze przewodzić elektryczność. Zdaniem Johna Andersona, profesora chemii na Uniwersytecie w Chicago jednego z autorów artykułu, otwiera to możliwość projektowania zupełnie nowej klasy materiałów, które przewodzą prąd elektryczny, łatwo je kształtować i są bardzo wytrzymałe w codziennych warunkach.

Materiały przewodzące są absolutnie niezbędne w urządzeniach elektronicznych, niezależnie od tego, czy jest to iPhone, panel słoneczny czy telewizor. Zdecydowanie najstarszą i największą grupą przewodników są metale: miedź, złoto, aluminium. Przed 50 laty naukowcom udało się stworzyć przewodniki wykonane z materiałów organicznych, stosując obróbkę chemiczną znaną jako „domieszkowanie”, która polega na wprowadzaniu różnych atomów lub elektronów przez materiał. Dzięki temu materiały te są bardziej elastyczne i łatwiejsze w obróbce niż tradycyjne metale, ale problem polega na tym, że mogą utracić przewodnictwo, jeśli zostaną wystawione na działanie wilgoci lub zbyt wysokiej temperatury.

Ale zasadniczo oba te organiczne i tradycyjne przewodniki metaliczne mają wspólną cechę. Składają się z prostych, ściśle upakowanych rzędów atomów lub cząsteczek. Oznacza to, że elektrony mogą łatwo przepływać przez materiał, podobnie jak samochody na autostradzie. W rzeczywistości naukowcy uważali, że materiał musi mieć te proste, uporządkowane rzędy, aby skutecznie przewodzić elektryczność.

Z czasem naukowcy zaczęli eksperymentować z niektórymi materiałami odkrytymi wiele lat temu, ale w dużej mierze zignorowanymi. Dr Xie nałożył atomy niklu jak perły na sznur molekularnych koralików wykonanych z węgla i siarki i zaczął testować. Ku zdumieniu naukowców materiał łatwo i silnie przewodził elektryczność. Co więcej, był bardzo trwały. „Podgrzaliśmy go, schłodziliśmy, wystawiliśmy na działanie powietrza i wilgoci, a nawet kapaliśmy na niego kwasem i zasadą, i nic się nie stało” – powiedział Xie.

Ale dla naukowców najbardziej uderzającą rzeczą było to, że struktura molekularna materiału była nieuporządkowana. „Z podstawowego obrazu wynika, że nie powinien to być metal” – powiedział Anderson. „Nie ma solidnej teorii, która by to wyjaśniła”.

Xie, Anderson i ich laboratorium współpracowali z innymi naukowcami z uniwersytetu, próbując zrozumieć, w jaki sposób materiał może przewodzić prąd. Po testach, symulacjach i pracach teoretycznych uważają, że materiał układa się warstwami, jak płatki w lasagne. Nawet jeśli arkusze obracają się na boki, nie tworząc już zgrabnego stosu lasagne, elektrony nadal mogą poruszać się poziomo lub pionowo – o ile kawałki się dotykają.

Efekt końcowy jest niespotykany w przypadku materiału przewodzącego. „To prawie jak przewodzący Play-Doh (masa plastyczna używana przez stomatologów – przyp. red.) – można go wcisnąć na miejsce i przewodzi prąd” – powiedział Anderson.

Źródło – <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/10/221026114443.htm>

Kosmiczna energia

Grupa naukowców od ponad 50 lat wymyśla techniki przechwytywania energii słonecznej w Kosmosie i przesyłania jej z powrotem na Ziemię. Czy to zaspokoi nasze potrzeby energetyczne?

Kazimierz Mikulski

Pomysł ten już od dłuższego czasu krążył po świecie science fiction. W 1941 r. Isaac Asimov opublikował opowiadanie, w którym opisał stację orbitalną zbierającą energię słoneczną i przesyłającą ją na Ziemię przy użyciu mikrofal. Pomysł jest realizowany, ponieważ moc paneli słonecznych nie jest tak wydajna, jak moc elektrowni słonecznych na orbicie.¹

Przechwytywanie światła słonecznego w kosmosie i przesyłania go na Ziemię przestała być tematem science fiction. Jak wskazuje Jon Cartwright, „*rządy na całym świecie poważnie traktują „energię słoneczną z kosmosu” jako potencjalne rozwiązanie naszych (współczesnych) potrzeb energetycznych*”.²

Freeman Dyson, amerykański astrofizyk i futurolog wyobraził sobie obcą cywilizację, o szczególnie zaawansowanym rozwoju, otaczającą swoją macierzystą gwiazdę gigantyczną, sztuczną powłoką. Wewnętrzna powierzchnia tej sfery, zwanej „kulą Dysona” wychwytywałaby promieniowanie słoneczne i przekazywałaby je do punktów zbiorczych, zamieniających je w elektryczną energię. Nie-

typowe ujęcie problemu generuje pytanie: „czy podobna zasada może być zastosowana na znacznie mniejszą skalę, aby wykorzystać moc naszego Słońca?”³

Uwzględniając wiek Wszechświata i liczbę gwiazd podobnych do Słońca, Bruce Dorminey amerykański dziennikarz naukowy pisze: „wydaje się logiczne, że Ziemia nie jest jedynym miejscem, w którym rozwinęło się inteligentne życie. Jednak przez ostatnie pół wieku naukowcy aktywnie poszukiwali oznak takich pozaziemskich cywilizacji i do tej pory wychodzili z pustymi rękami.”⁴

Czym jest „Kula Dysona”?

W 1959 r., zainspirowany powieścią Olafa Stapledona z 1937 r. pt.: „*Star Maker*”, F. Dyson założył, że zaawansowane cywilizacje mogą podejmować projekty astroinżynieryjne, znane jako sfery Dysona.⁶ To hipotetyczna megastruktura opisana przez niego w czasopiśmie „*Science*”, w artykule „*Search for Artificial Stellar Sources of Infra-Red Radiation*”. Autor zakłada istnienie zaawansowanej cywilizacji zdolnej do wybudowania ogromnej konstrukcji, która całkowicie otaczałaby gwiazdę, w celu wykorzystania prawie całej energii wypromieniowywanej przez gwiazdę na użytek cywilizacji.⁷

¹ <https://wiadomosci.onet.pl/swiat/oto-europejska-elektrownia-sloneczna-w-kosmosie/qdlb8t0>

² Cartwright J., Energia słoneczna z kosmosu: czy wysyłanie promieni słonecznych z powrotem na Ziemię może zaspokoić nasze potrzeby energetyczne?

³ <https://physicsworld.com/a/space-based-solar-power-could-beaming-sunlight-back-to-earth-meet-our-energy-needs/?notification=onesignal>

⁴ Ibidem

⁵ Bruce D., Poszukiwanie astroinżynierów <https://physicsworld.com/a/the-search-for-astroengineers/>

⁶ https://pl.wikipedia.org/wiki/Sfera_Dysona

⁷ Dyson J. Freeman, Poszukiwanie sztucznych gwiazdnych źródeł promieniowania podczerwonego – adres <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.131.3414.1667?HITS=10&hits=10&FIRSTINDEX=0&searchid=1&resourceType=HWCIT&RESULTFORMAT=&volume=131&maxtoshow=&firstpage=1667>

W czasopiśmie „Science” czytamy: „Jeśli pozaziemskie istoty inteligentne istnieją i osiągnęły wysoki poziom rozwoju technicznego, jednym z produktów ubocznych ich metabolizmu energetycznego będzie prawdopodobnie wielkoskalowa konwersja światła gwiazd w promieniowanie dalekiej podczerwieni. Niedawno rozpoczętym poszukiwaniom radiokomunikacji międzygwiazdowej towarzyszyły poszukiwania źródeł promieniowania podczerwonego.”

Dyson opisał cywilizacje zdolne do ujarzmnienia energii swoich gwiazd poprzez dekonstrukcję planety wielkości Jowisza i stworzenie z niej sferycznej powłoki o grubości 2-3 m, obracającej się wokół gwiazdy. Kula miałaby promień 150 milionów km. Wewnętrzna powierzchnia kuli Dysona wychwytywałaby, a następnie przekazywałaby promieniowanie słoneczne w kierunku punktów zbiorczych. Mogłoby ono zostać przekształcone w użyteczną energię.

W 1964 r. radziecki fizyk Nikołaj Kardaszew sklasyfikował cywilizacje pozaziemskie według stopnia ich zaawansowania, od KI do KIII. Amerykański astronom Carl Sagan oszacował, że ludzkość jest zaledwie na progu bycia cywilizacją, KI która może okiełznać całe promieniowanie słoneczne w jej atmosferę. W przeciwieństwie do tego cywilizacja KII może użyć sfery Dysona do bezpośredniego wykorzystania energii swojej gwiazdy macierzystej. A cywilizacja KIII może wykorzystać energię całej galaktyki.

„Niebo jest zatłoczone obiektami, które są jasnymi źródłami podczerwieni, ale niewidocznymi w paśmie optycznym” – mówi Dyson. Dodaje: „Nie ma powodu przypuszczać, że którykolwiek z nich jest sztuczny, ale wyglądają dokładnie tak, jak powinna wyglądać sfera Dysona”. Idealna sfera Dysona pochłaniałaby energię swojej gwiazdy,

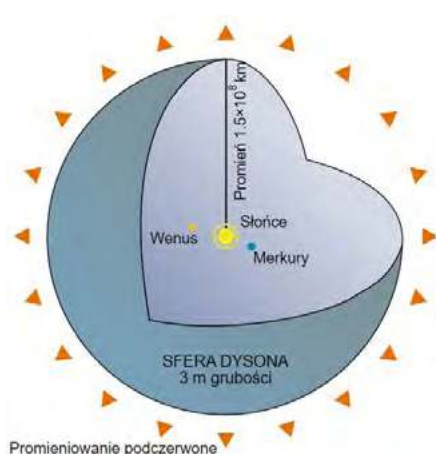
nie emitowałaby żadnego promieniowania optycznego ani ultrafioletowego. Powłoka wypromieniowałaby ciepło odpadowe i spowodowałaby silną emisję podczerwoną. Twierdzi, że moglibyśmy mieć szczęście i wykryć źródło podczerwieni o specyficznym widmie lub zmienności czasowej, której nie można wyjaśnić jako zjawisko naturalne.

Zgadza się z tym amerykański naukowiec Dan Werthimer⁸, słowami: „Możesz się spierać, czy cywilizacje budują sfery Dysona, ale jeśli jest to możliwe, to dlaczego nie spojrzeć? Trudno przewidzieć, że jeśli cywilizacje budują sfery Dyson, wypromieniują swoje ciepło odpadowe o temperaturze 200 K”. Werthimer, w 2004 r. z Charlie Conroy, przeanalizowali dane spektralne z 1000 gwiazd typu słonecznego. Przeszukano 32 gwiazdy z nadmierną emisją podczerwoną w poszukiwaniu oznak anomalnej emisji radiowej lub optycznych nanosekundowych impulsów laserowych, które wskazywałyby na sztuczne, inteligentne pochodzenie. Nie znaleziono żadnych weryfikowalnych sygnałów.

W końcu poza chmurami, zwraca uwagę amerykański dziennikarz, Bruce Dorminey⁹, w nocnym blasku kosmosu bliskiego Ziemi, jest więcej nieprzerwanej energii słonecznej, niż ludzkość mogłaby realistycznie potrzebować przez następne stulecia. Grupa naukowców od ponad 50 lat wymyśla techniki przechwytywania tej energii w kosmosie i przesyłania jej z powrotem na ziemię. Jak wiadomo, „energia słoneczna z kosmosu” (SBSP) ma dwie zalety w porównaniu z tradycyjnymi metodami czerpania energii ze Słońca i wiatru. Umieszczenie w kosmosie satelity przechwytyjącego światło słoneczne oznacza, że nie musielibyśmy pokrywać ogromnych połaci ziemi panelami słonecznymi i farmami wiatrowymi. Także mie-

⁸ https://pl.wikipedia.org/wiki/Sfera_Dysona

⁹ Dyrektor programu SETI na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley,



Rysunek 1. Schemat „Kuli Dysona”

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8c/Dyson_Sphere_Diagram-pl.svg oraz https://physicsworld.com/wp-content/uploads/2008/04/PWast2_04-08.jpg

Fotografia 1. Freeman John Dyson (1923-2020), amerykański naukowiec, fizyk teoretyczny, astrofizyk, matematyk i futurolog pochodzenia angielskiego, profesor Institute for Advanced Study (IAS) w Princeton. Laureat licznych nagród oraz Medalu Lorentza (1966), Medalu Maksa Plancka (1969) i Nagrody Wolfa w dziedzinie fizyki (1981). Dyson to jeden z pionierów elektrodynamiki kwantowej współautor astronautycznego projektu Orion i twórca futurologicznej koncepcji sfery Dysona. https://pl.wikipedia.org/wiki/Freeman_Dyson

Źródło: [https://pl.wikipedia.org/wiki/Freeman_Dyson#/media/Plik:Freeman_Dyson_\(2005\).jpg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Freeman_Dyson#/media/Plik:Freeman_Dyson_(2005).jpg)

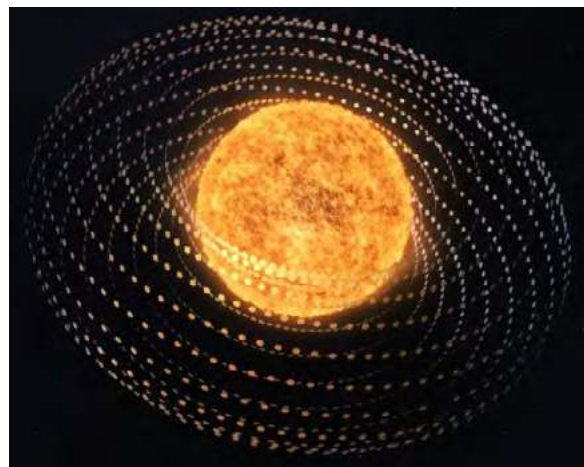
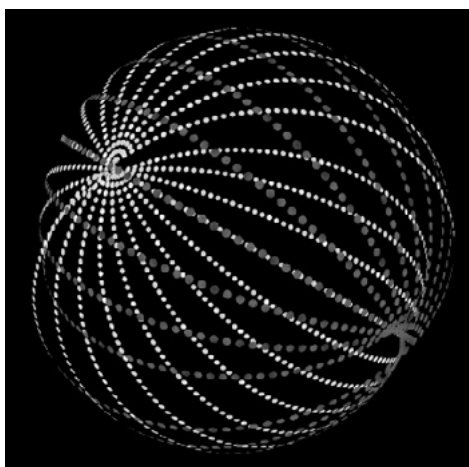
Fotografia 2. Nikołaj Kardaszew (1932-2019) rosyjski astrofizyk i pionier SETI. W 1963 r. przeprowadził pierwsze poszukiwania pozaziemskiej inteligencji (SETI), badając kwazar CTA-102 pod kątem oznak technologicznego cywilizacja. Również w 1964 r. zaproponował skalę, która służy do klasyfikowania cywilizacji pozaziemskich pod kątem ich zużycia energii.

Źródło: <http://meti.org/en/blog/nikolai-kardashev-1932-2019>, https://pl.wikipedia.org/wiki/Niko%C5%82aj_Kardaszew

Rysunek 2. Bardziej realistyczna wizualizacja „roju” kolektorów orbitujących wokół gwiazdy.

Rysunek 3. Wizja artystyczna roju Dysona.

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/ba/Dyson_Swarm_-_2.png
<https://scroll.morele.net/technologie/co-to-jest-sfera-dysona-najwazniejsze-informacje-megastrukturze/>



libyśmy wystarczający zapas energii nawet wtedy, gdy jest pochmurno lub słaby wiatr, który także może ustać.

Co z problemami w realizacji planów?

Innowacyjne projekty satelitów oraz niższe koszty wystrzelenia sprawiają, że (SBSP) wydaje się realistycznym rozwiązaniem. Japonia wpisała te działania do strategii jako cel narodowy. Europejska Agencja Kosmiczna ogłosiła zaproszenie do zgłaszania pomysłów.

Chiny i USA budują obiekty testowe. W konsultacjach ogłoszonych przez rząd Wielkiej Brytanii w 2021 r.¹⁰ stwierdzono, że (SBSP) jest technicznie i ekonomicznie wykonalna. Wskazano także, że: „W świetle zobowiązań krajowych rządów europejskich do osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 r., niedawne badanie kosztów i korzyści prowadzone przez firmę Frazer-Nash Consultancy wykazało, że (SBSP) może pomóc w dywersyfikacji źródeł wytwarzania energii w Europie”.¹¹ To rozwiązanie technologiczne może zostać wdrożone 10 lat przed osiągnięciem celu jakim jest „zero emisji” w 2050 r.¹²

Czy zatem kosmiczna energia słoneczna jest odpowiedzią na problemy energetyczne? A jeśli tak, to co powstrzymujemy, przed urzeczywistnieniem tego systemu?

Czy mamy „Kosmiczne marzenia”?

Pierwotna koncepcja energii słonecznej z kosmosu została wymyślona w 1968 r. przez Petera Glasera, amerykańskiego inżyniera z firmy konsultingowej Arthur D Little. Przewidywał umieszczenie bardzo dużych rozmiarów, ogromnego satelity w kształcie dysku na orbicie geostacjonarnej, czyli około 36 000 km¹³ nad Ziemią.¹⁴ Satelita o średnicy 6 km zbudowany z paneli fotowoltaicznych do zbierania światła słonecznego i przekształcania go w energię elektryczną zamienianą w mikrofałę i przesyłana na Zie-

mię za pomocą nadajnika o średnicy 2 km. Mikrofałę nie są pochłaniane przez chmury na Ziemi i przechodzą w dużej mierze (prawie) bez przeszkód przez naszą atmosferę.

Glaser wyobrażał sobie, że będą zbierane przez nieruchomą antenę o średnicy 3 km. Następnie zostaną mikrofałę zamienione na energię elektryczną dla sieci użytkowej. „Chociaż wykorzystanie satelitów do konwersji energii słonecznej może nastąpić za kilkadziesiąt lat”, napisał inżynier, to „możliwe jest zbadanie kilku aspektów wymaganej technologii jako przewodnika dla przyszłych zmian”. Reakcja środowiska naukowego i inżynierii była bardzo pozytywna, przynajmniej w pierwszych latach, kiedy NASA przyznała firmie Glasera, Arthurowi D Little’owi, kontrakt na dalsze badania. Z późniejszych badań nad SBSP zdania wahały się od pozytywnych do wręcz negatywnych.

System znany jako Multi-Rotary Joints Solar Power Satellite (MR-SPS), został zaproponowany w 2015 r. przez Hou Xinbina i innych z Chińskiej Akademii Technologii Kosmicznych w Pekinie. Wążący 10 000 ton satelita o szerokości około 12 km poruszałby się po orbicie geostacjonarnej nad Ziemią. Ciągłe przesyłanie energii zapewniają panele fotowoltaiczne zwrócone w stronę Słońca w stosunku do centralnego nadajnika, zwróconego w stronę Ziemi.

Koncepcja MR-SPS nie opiera się na lustrach. W 2015 r. technologia ta otrzymała jedynie małe poparcie w raporcie Instytutu Studiów Strategicznych (SSI) przy US Army War College¹⁵, w którym pisało: „brak przekonujących dowodów”, że (SBSP) może być ekonomicznie konkurencyjna w stosunku do naziemnej, wytwarzanie energii. SSI¹⁶ skrytykowało „wątpliwe założenia” dotyczące wyniesienia tak ogromnej struktury orbitującej w kosmos. Mniej niż olśniewający werdykt SSI pojawił się, zanim prywatne firmy – w szczególności SpaceX¹⁷ zaczęły prze-

¹⁰ Dziennikarz z USA, autor Distant (Nowy Jork, Springer) Bruce D., Poszukiwanie astroinżynierów <https://physicsworld.com/a/the-search-for-astroengineers/>

¹¹ Badanie Frazer-Nash pokazuje, że kosmiczna energia słoneczna może przynieść Europie miliardy korzyści i rozwiązać problem wrażliwości energetycznej – Artykuł informacyjny <https://www.fnc.co.uk/discover-frazer-nash/news/frazer-nash-space-based-solar-power-study-addresses-energy-vulnerability/> Raport: Energia słoneczna z kosmosu: Podsumowanie wykonawcze <https://www.fnc.co.uk/media/myuhgfg/space-based-solar-power-executive-summary.pdf>

¹² ibidem

¹³ Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu. Kosmiczne elektrownie słoneczne to nie science fiction, a bliska przyszłość energetyki <https://forsal.pl/biznes/energetyka/artykuly/8234946,kosmiczne-elektrownie-sloneczne-przyszlosc-energetyki.html>

¹⁴ Dokładnie na wysokości 35 786 km nad równikiem

¹⁵ P. E. Glaser, Energia ze słońca: jego przyszłość <https://www.science.org/doi/10.1126/science.162.3856.857>

¹⁶ Raport z badań J. I. Caton, Energia słoneczna z kosmosu: ocena techniczna, ekonomiczna i eksploatacyjna, https://www.jstor.org/stable/resrep11703#metadata_info_tab_contents <https://www.jstor.org/stable/resrep11703>

¹⁷ SSI – Strategic Studies Institute – https://www.jstor.org/stable/resrep11703?seq=2#metadata_info_tab_contents



Fotografia 3. Konstrukcja stalowa o wysokości 75 m, w której znajdują się systemy do testowania kosmicznej energii słonecznej, na Uniwersytecie Xidian w Xi'an w północnych Chinach.

Źródło: Uniwersytet Xidian

kształcać przemysł kosmiczny i łączyć systemy raketowe wielokrotnego użytku z podejściem do badań i rozwoju.

Koncepcja Glasera była prosta, ale niestety z wieloma ukrytymi wyzwaniem. Satelita krąży wokół Ziemi, kąt między Słońcem, statkiem i punktem na Ziemi, do którego wysyłana jest energia, stale się zmienia. Innymi słowy, satelita nie wytwarzałby prądu przez cały czas. Jednym z zaproponowanych rozwiązań takiego problemu było nieprzerwane obracanie paneli fotowoltaicznych względem pozostających nieruchomo nadajników mikrofalowych. Panele fotowoltaiczne ciągle byłyby skierowane w stronę Słońca, a nadajniki zawsze skierowane w stronę Ziemi. Zaproponowane w 1979 r. po raz pierwszy przez NASA takie rozwinięcie pomysłów Glasera, zostało dodatkowo rozszerzone w 2015 r. przez inżynierów z Chińskiej Akademii Technologii Kosmicznych w Pekinie, którzy nazwali je MR-SPS.¹⁸

Chiński Uniwersytet Xidian ukończył pierwszy na świecie kompletny system naziemny do testowania energii słonecznej w przestrzeni kosmicznej. Stalowa, 75-metrowa konstrukcja, zawiera podsystemy do testowania koncepcji (SBSP).¹⁹ Obiekt przeznaczony jest do gromadzenia energii słonecznej i przekształcania jej w prąd stały, który przekształcony w mikrofałe jest przesyłany przez antenę na odległość 55 metrów. Obejmuje technologie koncentracji światła i konwersji fotoelektrycznej, konwersji energii na mikrofałe, transmisji mikrofalowej i optymalizacji kształtu fali, pomiaru i kontroli celowania wiązki mikrofalowej oraz odbioru i prostowania mikrofal.

Pracami kierował Duan Baoyan, chiński ekspert ds. SBSP, współautor systemu koncentratora SSPS-OMEGA (Orb-Shape Membrane Energy Gathering Array) do generowania energii elektrycznej na orbicie geostacjonarnej. „*Badania nad kosmiczną energią słoneczną są obecnie gorącym punktem na świecie*” – powiedział w komunikacie prasowym. Zaznaczył jednak, że realizacja SBSP zajmie czas następnych pokoleń. System modułowy OMEGA został przedstawiony w porównaniu z proponowanym przez NASA projektem SPS-ALPHA (Solar Power Satellite via Arbitrarily Large Phased Array). D. Baoyan jest ekspertem w zespole ds. badań strategicznych SPS utworzonego przez Chińską Narodową Agencję Kosmiczną (CNSA) w 2014 r.

W przeciwieństwie do SSPS-OMEGA w kształcie kuli, wymagałoby to zastosowania wielu liniowych paneli słonecznych z wieloma obrotowymi złączami, aby uniknąć awarii jednopunktowej. Wymagałoby to montażu w kosmosie za pomocą swobodnie latającego robota kosmicznego, które to technologie także się doskonalą.

Tymczasem CAST²⁰ planuje przeprowadzić „eksperyment z transferem wysokiego napięcia w kosmos i bezprzewodową transmisją mocy” na niskiej orbicie okołoziemskiej w 2028 r., a następnie testy w GEO w 2030 r. Satelita będzie w stanie generować 10 kW i przenosić układ ogni słonecznych, antenę nadawczą mikrofalową, ładunek transmisji laserowej o niskiej mocy, układ nadawczy i testową transmisję mocy na odległość 400 km od orbity.²¹ CAST wcześniej określił cel wystrzelenia megawatowego satelity do 2030 roku.²²

Tymczasem John Mankins²³, znalazł w 2012 r. konkurencyjne rozwiązanie, nazywane SPS ALPHA²⁴. Jego pomysłem było utrzymanie paneli słonecznych i nadajnika na stałe, ale z zainstalowaniem wielu luster otaczających panele. Te lustra, znane jako heliostaty, byłyby w stanie obracać się, stale przekierowując światło słoneczne na panele słoneczne, a tym samym umożliwiając satelity dostarczanie energii do Ziemi bez przerwy.²⁵

SPS-ALPHA (Solar Power Satellite via Arbitrarily Large Phased Array) to nowatorskie, biomimetyczne podejście do wyzwań związanych z kosmiczną energią słoneczną. Jeśli się powiedzie, projekt ten umożliwi budowę ogromnych platform z dziesiątek tysięcy małych elementów, które mogą zdalnie i niedrogo dostarczać od 10 do 1000 megawatów za pomocą bezprzewodowej transmisji energii na rynki na Ziemi i misje w kosmosie.²⁶ Umieszczony na orbicie geostacjonarnej ważący 8000 ton satelita

¹⁸ <https://www.spacex.com/>

¹⁹ Strona ta <https://spacenews.com/chinese-university-completes-space-based-solar-power-ground-test-facility/>

²⁰ Więcej informacji oraz fotografii <https://news.xidian.edu.cn/info/2106/220926.htm>

²¹ The China Academy of Space Technology (CAST) – Chińska Akademia Technologii Kosmicznych <https://spacenews.com/china-aims-for-space-based-solar-power-test-in-leo-in-2028-geo-in-2030/>

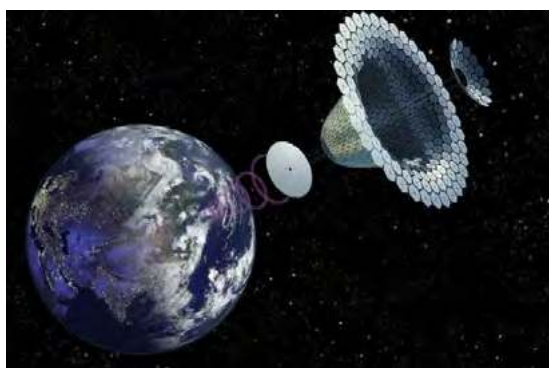
²² <https://spacenews.com/china-aims-for-space-based-solar-power-test-in-leo-in-2028-geo-in-2030/>

²³ <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3180627/china-brings-forward-plans-space-solar-power-plant>

²⁴ Biografia <https://space.nss.org/john-mankins-biography/>

²⁵ SPS-ALPHA: pierwszy praktyczny satelita energii słonecznej wykorzystujący arbitralnie duży układ fazowy John Mankins, *Artemis Innovation Management Solutions*. https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/niac/2011_Practical_Solar_Power_Satellite/

²⁶ Energia słoneczna w kosmosie? Garretson P., Tom. 6, nr 1, s. 97-123 https://www.jstor.org/stable/26270792?searchText=&searchUri=&ab_segments=&searchKey=&refreqid=fastly-default%3A88db1d1b0eb80c9c0c68f1b8fc51ee75&seq=12#metadata_info_tab_contents



Fotografia 4. Konceptcje Johna Mankinsa

składa się z szeregu modułów w kształcie dysku, które przekształcają światło słoneczne w energię elektryczną za pomocą fotowoltaiki, a następnie przesyłają tę energię w postaci mikrofal.

Ani MR-SPS, ani SPS ALPHA nie są jednak satysfakcjonujące, uważa Ian Casha²⁷, dyrektor i główny inżynier w International Electric Company Limited w Wielkiej Brytanii. Cash zainteresował się rozwojem czystych źródeł energii i szybko wybrał SBSP jako najbardziej praktyczną opcję. Uważa on, że problem, zarówno z MR-SPS, jak i SPS ALPHA, polega na tym, że muszą obracać niektóre części satelity względem innych. Każda część musiałaby być fizycznie połączona z inną, potrzebując ruchomego stawu przegubowego. W przypadku użycia na satelitach, takich jak Międzynarodowa Stacja Kosmiczna, stosowane połączenia mogą ulec uszkodzeniu z powodu zużycia. Pominięcie połączeń przegubowych sprawiłoby, że satelita zasilany energią słoneczną byłby bardziej niezawodny, podsumował Cash: „Chciałem dowiedzieć się, co należy wykonać, aby otrzymać rozwiązanie umożliwiające w ciągłym czasie zawsze widzieć Słońce i Ziemię”.

Do 2017 r. Cash się zapoznał i przedstawił rozwiązanie nazwane: „konceptcja CASSIOPeiA”.²⁸ To satelita wyglądający jak spiralne schody, z panelami fotowoltaicznymi będącymi „stopniami” i nadajnikami mikrofal jako dipoli w kształcie prętów. Spiralna geometria oznacza, że CASSIOPeiA może odbierać i przysyłać energię słoneczną 24 godziny na dobę. CASSIOPeiA Solar Power Satellite został okrzyknięty „znaczącym przełomem koncepcyjnym” na Międzynarodowej Konferencji Rozwoju Kosmicznego Krajowego Towarzystwa Kosmicznego (ISDC 2018) w Los Angeles w 2018 r. Zaprezentowanie przez Iana Casha koncepcja (slajdy do poznania pod adresem <https://www.internationalelectric.com/space-solar>) została dobrze przyjęta, a Philip K. Chapman, byłego astronautę NASA: „Najciekawszy nowy pomysł na satelity słoneczne, jaki widziałem od dziesięcioleci!”²⁹

Proponowany przez niego satelita może być zbudowany z setek, a nawet tysięcy, połączonych ze sobą mniejszych modułów. Piękno tego podejścia polega na tym, że gdyby jakikolwiek moduł został uderzony przez pro-

mienie kosmiczne lub kosmiczne śmieci, jego awaria nie zniszczyłaby całego systemu.

Zaletą CASSIOPeiA jest to, że elementy nefotowoltaiczne są stale w cieniu, co minimalizuje rozpraszanie ciepła będące problemem w bezkonwekcyjnej próżni kosmicznej. Satelita jest zawsze zorientowany w kierunku Słońca, zajmując więcej rodzajów orbit, także eliptycznych. Byłby czasami bliżej Ziemi niż, gdyby był geostacjonarny, co czyni go tańszym.

Na stronach o poniższych adresach można zapoznać się z wizualizacją projektu.

<https://physicsworld.com/wp-content/uploads/2022/09/PWOct22Cartwright-fig2a.png>

<https://physicsworld.com/wp-content/uploads/2022/09/PWOct22Cartwright-fig2b.png>

Światło słoneczne pada na dwa ogromne eliptyczne lustra, każde o średnicy do 1700 m, które leżą pod kątem 45° do spiralnego układu 60 000 paneli słonecznych. Panele zbierają światło słoneczne i zamieniają je w mikrofałę o określonej częstotliwości, które są następnie przesyłane do stacji naziemnej na Ziemi o średnicy około 5 km. Stacja ta przekształca mikrofałę w energię elektryczną dla sieci. Zaletą geometrii spiralnej jest to, że mikrofałę mogą być stale kierowane w kierunku Ziemi bez konieczności stosowania połączeń przegubowych, które często zawodzą w środowiskach kosmicznych.

Konkurenci Casha nie zgadzają się z jego oceną. Mankins, który obecnie pracuje w Artemis Innovation Management Solutions w Kalifornii,³⁰ USA, kwestionuje, że przegubowe heliostaty w jego koncepcji SPS-Alpha stanowią problem. Zamiast tego twierdzi, że są one „prostym rozszerzeniem [bardzo] dojrzałej technologii”, wykorzystywanej do skupiania światła słonecznego do podgrzewania płynów i napędzania turbin w wieżach słonecznych³¹ na Ziemi. Uważa również, że podwójne lustra wymagane przez CASSIOPeiA mogą stanowić problem – muszą być bardzo precyzyjnie zbudowane.

Zainteresowanie kosmiczną energią słoneczną zyskało dodatkowy impuls w następstwie raportu rządu Wielkiej Brytanii z 2021 r. dotyczącego³² tej technologii, który pozytywnie odnosi się do tej koncepcji. Raport opracowany

²⁷ Ibidem https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/niac_2011_phasei_mankins_spsalpha_tagged.pdf

²⁸ Więcej <https://www.internationalelectric.com/about-2>

²⁹ Więcej na stronie o adresie do oglądania z dźwiękiem <https://www.internationalelectric.com/space-solar> i <https://www.internationalelectric.com/>

³⁰ <https://www.internationalelectric.com/space-solar>

³¹ Więcej na stronie o adresie <http://www.artemisinnovation.com/>

³² Wieża energii słonecznej https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_tower

został przez inżynierów z brytyjskiej firmy konsultingowej Frazer-Nash³³. Korespondowali oni z wieloma ekspertami w dziedzinie inżynierii kosmicznej i energetyki – w tym wynalazcami SPS ALPHA, MR-SPS i CASSIOPEIA. Na str. 45 (z 82) tego raportu umieszczono *rysunek 3-1*, przedstawiający „Trzy wiodące koncepcje satelitów energii słonecznej, które są w stanie zapewnić moc obciążenia podstawowego” – <https://www.fnc.co.uk/media/fi4pvbqv/space-based-solar-power-final-report.pdf>.

W raporcie stwierdzono, że satelita CASSIOPEIA o szerokości 1,7 km na orbicie geostacjonarnej przesyłający promieniowanie słoneczne do macierzy odbiorników mikrofalowych (lub „prostokątnych”) o powierzchni 100 km² znajdującej się tutaj na Ziemi, będzie generować 2 GW mocy ciągłej. Jest też znacznie lepsza niż istniejąca farma wiatrowa London Array³⁴ w ujściu Tamizy, która jest o około 25% większa, ale generuje średnią moc zaledwie 190 MW.

Bardziej uderzająca jest analiza ekonomiczna raportu. Oszacowano, że opracowanie i uruchomienie pełnowymiarowego systemu kosztowałoby 16,3 miliarda funtów, z minimalną stopę zwrotu z inwestycji na poziomie 20% rok do roku. Kosmiczny system energii słonecznej może, w ciągu około 100 lat, generować energię w cenie 50 GBP za MWh. Autorzy powiedzieli, że ich ostrożne szacunki dotyczące kosztów nie są ostateczne i „*należy się spodziewać zmniejszenia w miarę postępu prac rozwojowych*”. „*Jest niesamowicie skalowalny*”, mówi Martin Soltau z Frazer-Nash, jeden z autorów.

Bezprzewodowa transmisja energii rozwija się od dzieścioleci. W 2021 r. zespół Rodenbecka wysłał 1,6 kW energii elektrycznej na odległość 1 km, przy sprawności konwersji mikrofal na energię elektryczną wynoszącą 73%. Najpotężniejsza demonstracja bezprzewodowej energii miała miejsce w 1975 r., kiedy personel laboratorium NASA Goldstone³⁵ w Kalifornii przekształcił mikrofałe 10 GHz na energię elektryczną z wydajnością powyżej 80%. Rodenbeck zastosował mikrofałe 2,4 GHz o niższej częstotliwości, które „ucierpiałyby” znacznie mniej w przestrzeni kosmicznej. Zniwelowano rozpraszanie wiązki występujące przy niższych częstotliwościach poprzez wykorzystanie otaczającego terenu do „odbicia” mikrofal w kierunku zestawu odbiorników, poprawiając w ten sposób gęstość mocy o 70%.³⁶ Rodenbeck optymistycznie podchodzi do perspektyw kosmicznej energii słonecznej SBSP „*[To] jedyna forma zielonej, odnawialnej energii, która może zapewnić ciągłą, podstawową energię elektryczną*”, twierdzi Rodenbeck i dodaje: „*Jeżeli nie nastąpi przełom techniczny w kontrolowanej syntezie jądrowej, wydaje się bardzo prawdopodobne, że ludzkość wykorzysta kosmiczną energię słoneczną do przyszłych potrzeb energetycznych*”.

Yang Gao, inżynier z Uniwersytetu Surrey w Wielkiej Brytanii, przyznaje, że „*sama skala*” proponowanego systemu kosmicznego „*jest oszalamiająca*”. Uważa, że początkowa budowa może wymagać „*całodobowej fabryki w kosmosie, z linią montażową jak fabryka samochodów na Ziemi*”, prawdopodobnie z wykorzystaniem autonomicznych robotów.

Czy wystarczy woli?

Największym wyzwaniem dla kosmicznej energii słonecznej (SBSP) może nie być ekonomiczne czy techniczne, ale polityczne podejście do problemu. Znaczna liczba ludzi wierzy w teorie spiskowe dotyczące technologii mobilnej 5G. Przesyłanie gigawatów mocy mikrofalowej z kosmosu na Ziemię może okazać się trudną sprzedażą. W rzeczywistości raport przyznaje, że jego zwolennicy muszą przetestować apetyt publiczny wokół kluczowych idei.

Ale są też prawdziwe względy techniczne i społeczne

W jaki sposób satelity zostaną wycofane z eksploatacji pod koniec ich życia bez dodawania śmieci kosmicznych? Czy w widmie mikrofalowym zostanie miejsce na cokolwiek innego?

Czy system będzie podatny na ataki?

Były sekretarz ds. biznesu Kwasi Kwarteng powiedział, że (SBSP) „*może zapewnić niedrogie, czyste i niezawodne źródło energii dla całego świata*”. Tymczasem „*współpraca chętnych*”, jak pisze Inicjatywa Energii Kosmicznej, zgromadziła naukowców, inżynierów i urzędników z ponad 50 instytucji akademickich, firm i organów rządowych, **którzy pracują pro bono**, aby pomóc w urzeczywistnieniu działającego systemu. *Celem jest ustanowienie do 2030 r. pierwszego demonstracyjnego systemu orbitalnego SBSP³⁷, z pierwszym tego rodzaju systemem operacyjnym dostarczającym energię do sieci do 2040 r.³⁸*

Naziemne odnawialne źródła energii nie są w stanie zapewnić nieprzerwanej, podstawowej mocy bez niezwykle kosztownej infrastruktury akumulatorów, a energia jądrowa zawsze spotyka się z ostrym sprzeciwem. Cash uważa, że energia słoneczna z kosmosu jest kluczową częścią miksu, a samo prośenie ludzi o zużywanie mniejszej ilości energii jest „*niebezpiecznym pomysłem*”. Większość wojen toczono z powodu braku zasobów, w tym energetycznych. Badacz mówi. „*jeśli nie przyjrzymy się, jak utrzymać cywilizację, alternatywa jest bardzo przerażająca*”.

Problem energii słonecznej z kosmosu stoi przed poważnymi wyzwaniami, w tym wykonalnością ekonomiczną i kosztami produkcji, tanimi i niezawodnymi usługami startowymi oraz wydajną i bezpieczną transmisją energii. **Ale wszystko przed nami.**

dr Kazimierz Mikulski
Maksymilianowo

³³ <https://www.fnc.co.uk/media/fi4pvbqv/space-based-solar-power-final-report.pdf>

³⁴ <https://www.fnc.co.uk/>

³⁵ <https://londonarray.com/> London Array to jedna z wiodących na świecie morskich farm wiatrowych.

³⁶ <https://www.gdsc.nasa.gov/>

³⁷ <https://s3-us-west-2.amazonaws.com/ieeshutpages/xplore/xplore-ie-notice.html>

³⁸ Space Based Solar Power is the concept of harvesting solar energy in space, and beaming it to earth, thereby overcoming the intermittency of terrestrial renewable energy. <https://spaceenergyinitiative.org.uk/space-based-solar-power/> Energia słoneczna oparta na przestrzeni kosmicznej to koncepcja pozyskiwania energii słonecznej w kosmosie i przesyłania jej na Ziemię, dzięki czemu przewyższa nieciągłość naziemnej energii odnawialnej. ZASOBY i fotografie (grafika) na <https://spaceenergyinitiative.org.uk/category/resources/> <https://spaceenergyinitiative.org.uk/>



O „energii” interdyscyplinarnie

Pojęcie energii w dydaktyce (krótkie wprowadzenie do tematu)

Grzegorz Karwasz, Katarzyna Wyborska

W fizyce energia (od starożytnej greki: ἐνέργεια, *enérgeia*, „aktywność”) jest właściwością ilościową, która przy wystąpieniu odpowiednich warunków daje możliwość wykonania przez ciało pracy. Energia może być magazynowana w ciele oraz przekształcona w inne formy. Taką definicję uczniowie mogą wyczytać z Wikipedii i taką najczęściej słyszą w szkole, kiedy na lekcjach fizyki poznają pojęcie energii potencjalnej i energii kinetycznej. Ujmując zdecydowanie krócej, energia to zdolność ciała do wykonania pracy. Jednak pojęcie energii pojawia się również na lekcjach chemii podczas omawiania reakcji chemicznych, lekcjach biologii – pojęcie energii związanej z metabolizmem czy na lekcji geografii omawiając energię geotermalną.

Można przypuszczać, że energia na każdym przedmiocie będzie wyjaśniona tylko częściowo, co doprowadzi do fragmentarycznego zrozumienia tematu. Jeżeli skłonimy się do wprowadzenia pojęcia energii w kontekście interdyscyplinarnym, nasi uczniowie będą mogli osiąść wiedzę o energii w zakresie międzyprzedmiotowym, co pozwoli zgłębić wiedzę i zdobyć umiejętności z zakresu wielu dziedzin.

Wiadomo, że każdy żywy organizm potrzebuje energii do życia, rozwoju. Pytanie, które najczęściej pojawia się na lekcji to „skąd czerpiemy energię?” Bardzo często pada odpowiedź z pożywienia. Aby móc odpowiedzieć na to pytanie musimy zgłębić wiedzę właśnie na poziomie in-

terdyscyplinarnym, wyjaśniając uczniom jaką rolę odgrywa energia, która przekształcana jest wewnątrz komórek.

Z lekcji chemii lub biologii uczniowie wiedzą, że komórki w organizmach żywych wykonują tysiące reakcji chemicznych a terminem używanym do opisanie tych złożonych procesów chemicznych jest metabolizm. Ale zacznijmy, nie tylko dla humanistów, od filozofii.

Już starożytni Grecy...

Używamy tego określenia, aby przywołać, że dana myśl pojawiła się dawno, dawno temu. Czy rzeczywiście tak dawno? W perspektywie pojedynczego człowieka to ponad sto pokoleń temu. Ale od 1987 r. wiemy (i dotyczyła częściowo tego nagroda Nobla w 2022 roku w zakresie medycyny), że genotyp współczesnego człowieka (*Homo sapiens sapiens*), a co za nim idzie umiejętność myślenia, pojawił się jakieś 150 tysięcy lat temu. Innymi słowy, filozofia Arystotelesa dla nas jest początkiem, ale jednocześnie było to zwieńczenie stuleci prac wcześniejszych myślicieli.

O dziwo, słowo energia nie pojawia się w *Fizyce* Arystotelesa (ta w dużej mierze jest poświęcona dyskusji o naturze czasu, przestrzeni i ruchu) ale w jego *Metafizyce*. Arystoteles odróżniał *energię* od *potencjału*. Dziś, obydwie pojęcia zostały niejako zawładnięte przez fizyków. Dla Arystotelesa *energia* oznaczała akcję, akt, działanie, dzianie się, istnienie, zaś *potencjał* coś, co dopiero w energię miało się przemienić. Nie do końca rozważania Arystotelesa odpowiadają naszemu współczesnemu rozumieniu działania i możliwości działania.

W oparciu o znaczenia „wcześniejszy” powyżej zdefiniowane, staje się oczywiste, że energia (akt) jest wcześniejsza niż potencjał. Zamierzam mówić nie tylko o potencjale w znaczeniu powyżej zdefiniowanym jako zasadzie zmiany w coś innego albo w to samo o ile zmienione, ale ogólnie, o każdej przyczynie ruchu lub bezwładności. Rzeczywiście, również sama natura przynależy do tego samego rodzaju, do którego przynależy potencjał, ponieważ również w niej jest przyczyna ruchu, ale nie w niczym innym, ale w samym sobie jako takim. (Arystoteles, *Metafizyka*, 1049, 3-7, tłum. z wersji włoskiej GK)

O Galileuszu, autor znakomitej książki „Fizyka dla dociekliwych”, wydanej w Oxfordzie w 1960 roku, E. M. Rogers, napisał „Fizyka zesłała z nieba na ziemię, po równi pochyłej Galileusza”. Ale od sformułowania przez Galileusza praw ruchu (gdzieś około 1610 roku) do zdefiniowania „energii” przez fizyków minęło jeszcze 250 lat. Unifikacji wymagały pojęcia pracy i ciepła. Dzieło zmarłego w młodym wieku inżyniera, na usługach u Napoleona, Sadi Carnota teoretycznie wyjaśniło działanie maszyny parowej (i stało się podstawą do wynalazków innego rodzaju silników). Pojęcie „ciepłoty” jako płynu przenoszącego ciepło powoli traciło rację bytu. Z kolei niezwykle prosty pomysł pomiaru ciepła powstającego przy wierceniu rury armaty, dały nam przelicznik, dziś cytowany na każdym opakowaniu soków, czekoladek, ciastek: kalorii na dzule (a właściwie na *joule*).

I wówczas okazało się, że fizycy potrzebują obu Arystotelesowych pojęć: energii jako możliwości (wykonania pracy) i potencjału, jako ilości energii (potencjalnej) odniesionej do jednostki specyficznego ładunku (elektrycznego, lub *masowego*, jeśli masę uznamy za jakiś grawitacyjny ładunek, pomysł GK). Co więcej, jedną z energii (tę związaną z podniesieniem ciała na jakąś wysokość, lub związaną z naciągnięciem sprężyny) fizycy nazwali *potencjalną*. Przypominamy odpowiednie wzory:

- | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| (1) Energia kinetyczna: | $E_k = \frac{1}{2} mv^2$ |
| (2) Energia potencjalna grawitacji: | $E_p = mgh$ |
| (3) Energia potencjalna sprężystości: | $E_{ps} = \frac{1}{2} kx^2$ |



Ryc. 1. „Który samochodzik, cięższy czy lżejszy, zjeżdża szybciej po równi?”. Hyperkonstruktywistyczna lekcja fizyki w Gunsan, Republika Korei, 2016. Foto: Maria Karwasz

W interaktywnych wykładach (na rys. 1 zdjęcie z wykładu GK dla licealistów w Korei) „Dlaczego ciała spadają” odwracamy standardową (ale tautologiczną) odpowiedź, że działa na nie grawitacja, czyli przyciąganie ziemskie, czyli grawitacja, i stawiamy hipotezę, zgodnie z Arystotelesem, że ciała spadają, bo są ciężkie, a *miejsce naturalne* ciał ciężkich jest w środku Ziemi. Po czym kładę marynarkę na stole katedry i spuszczałam piłkę – spada i zatrzymuje się na marynarce. Przekładałam marynarkę na krzesło – znów piłka leci do środka Ziemi i tylko krzesło jej w tym przeszkadza. Na ziemi marynarki już nie kładę, „bo się pobrudzi”. (Marynarka zapobiega odbiciu się piłki, a trzeci raz doświadczenia nie powtarzamy zgodnie z maksymą wybitnego pedagoga, Kazimierza Sośnickiego, że „nadmiar pogładowości prowadzi do infantylności”).

Ale stwierdzenie Arystotelesa nie wystarcza, do wyjaśnienia, dlaczego pół-piłka „dropper-popper” [1] sama (a właściwie po „zaczarowaniu”, czyli włożeniu pracy w jej przenicowanie sama podskakuje). Raz odkrywając sposób na zaczarowanie kauczukowej piłki, rzucamy ją z rozpędem na ziemię a ona na nasze życzenie podskakuje aż do sufitu auli wykładowej. Tak to energia napędza świat. Najlepiej oddała to na rysunku, po naszym wykładzie pełnym równi, dźwigni i spadających piłek, 12-letnia dziewczynka w Brzegu (nad Odrą), rys. 2.

Innymi słowy, aby ciała „spadły”, czyli nabrały szybkości, muszą wcześniej znajdować się na jakiejś wysokości. Czy stwierdzenie, że ciała spadają, bo mają energię (potencjalną), jest to poprawne naukowo? I jak tę energię zmierzyć? Wysokość h we wzorze jest wysokością *odniesienia*, czyli względną. A prędkość we wzorze (1) w zasadzie również, zgodnie z zasadą względności ruchów Galileusza, jest prędkością względną. Einstein usunął z fizyki pojęcie układu inercjalnego: nie ma miejsca we Wszechświecie, które by spoczywało lub nie przyspieszało. Energia kinetyczna jest więc pojęciem względnym, podobnie jak potencjalna. Czyli – ciała spadają, jeśli mają energię: tę potencjalną, oczywiście odniesioną do innego punktu niż ten w którym się znajdują.

Po tych trudnych, kosmologicznych nieco rozważaniach, wróćmy do życia, czyli metabolizmu.



Ryc. 2. „To energia napędza świat” – rysunek dziewczynki 12 lat z Brzegu, kilka miesięcy po hyperkonstruktywistycznym wykładzie. GK, 2013.

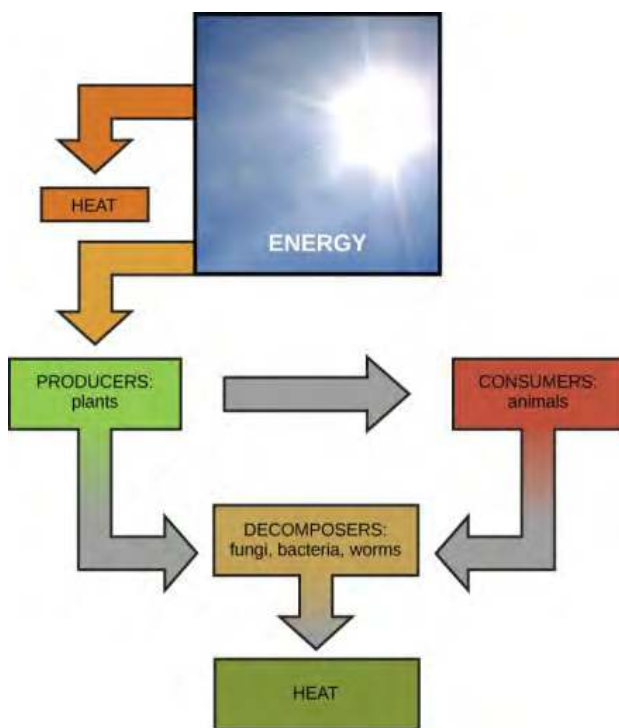
Energia i metabolizm

Metabolizm (kolejne greckie słowo) to ogół reakcji zachodzących w organizmie, które prowadzą do wykorzystania energii i składników odżywczych z pożywienia do podtrzymania procesów życiowych. Obejmuje on reakcje chemiczne, które rozkładają złożone cząsteczki (katabolizm) i takie, które przyczyniają się do ich budowy (anabolizm) [2].

Globalny grafik energii zużywanej przez życie biologiczne (na Ziemi), zob. ryc. 3, pokazuje, że większość energii jest dostarczana przez słońce. Rośliny wykorzystują ją w procesie fotosyntezy, inne organizmy żywe („konsumenci”) zjadają rośliny uzyskując dzięki temu energię. Na poziomie elementarnym wiemy, że fotosynteza to zamiana dwutlenku węgla (pozostajemy przy nomenklaturze polsko-języcznej, jako że bi-tlenek to nomenklatura na wpół tylko polska) i wody na cząsteczki organiczne a katabolizm to reakcja odwrotna. Ale jest to bardzo, bardzo duże uproszczenie.

Diagram (ryc. 4) bardzo ładnie pokazuje złożoność procesu jakim jest metabolizm. Obraz przedstawia szereg skomplikowanych ścieżek, podobnych do płytki PCB (Printed Circuit Board), którą możemy znaleźć w prawie każdym urządzeniu elektronicznym, zarówno domowego użytku, jak w szeroko pojętej automatyce przemysłowej.

W widocznej na diagramie sieci metabolicznej zachodzą reakcje chemiczne, które uwalniają energię (zachodzą spontanicznie), ale również te, które potrzebują energii. Przyjrzyjmy się bliżej wzajemnie powiązanych reakcji chemicznych zwanych szlakami metabolicznymi. To na tym etapie odbywa się budowa lub rozpad złożonych



Ryc. 3. To Słońce dostarcza na bieżąco energii do wszystkich procesów życiowych na Ziemi: dla roślin (producentów), a przez nie zwierząt i ludzi (konsumentów). Końcowym efektem metabolizmu (katabolizmu + anabolizmu) jest wytworzone ciepło, z rozkładu masy organicznej: niewielka tylko część wytworzonej masy odkłada się w morzach i ziemi w postaci „paliw kopalnych”. [2]



Ryc. 4. „Cybernetyczny” diagram metabolizmu [3]

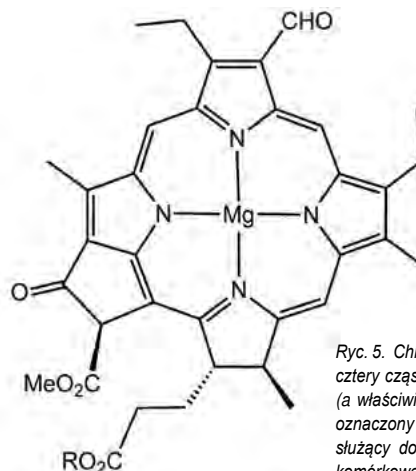
cząsteczek takich jak np. cukier. Zaczniemy powoli komplikować opis, uszczegóławiając znaczenie transferów energii (i elektronów), pisząc coraz bardziej rozbudowane wzory chemiczne i nazywając szczegółowo poszczególne związki, w tym katalizatory reakcji (w biologii: enzymy).

Życie jest (chemicznie) skomplikowane

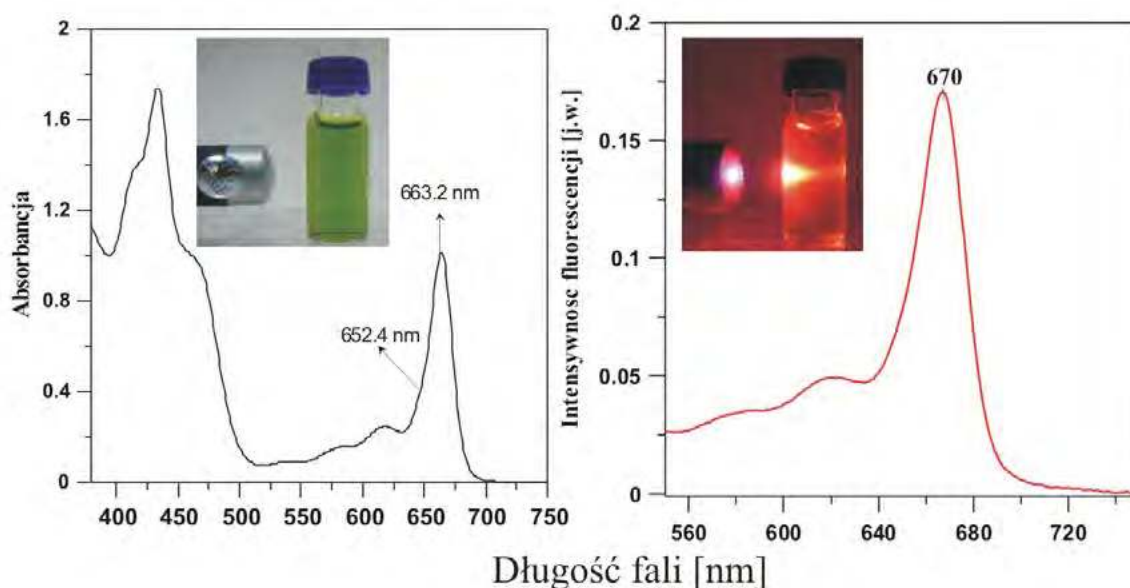
Fotosynteza (jedna z najważniejszych przemian zachodzących w przyrodzie) będzie przykładem szklaku anabolicznego. Jest to reakcja endergoniczna, która wymaga pochłonięcia energii (w naszym przypadku światła słonecznego), która bierze udział w przekształceniu wody i dwutlenku węgla w glukozę. Równanie reakcji przedstawia się następująco:



W równaniu powyższym użyliśmy słowa „energia”. Jest to oczywiście energia niesiona przez światło słoneczne, czyli energia fotonów. W biologii wiemy, że do fotosyntezy jest niezbędny „chlorofil” – wbrew pozorom chloru on nie zawiera. Chemicy podadzą wzór, z którego wynika, że w środku skomplikowanej struktury organicz-



Ryc. 5. Chlorofil A – pierścień porfirynowy, czyli cztery cząsteczki pirołu, z centralnym atomem (a właściwie jonem) magnezu. Symbolem „R” oznaczony jest długi łańcuch węglowodorowy, służący do zakotwiczenia chlorofilu w błonie komórkowej [4].



Ryc. 6. Chlorofil (w roztworze acetonu), w świetle rozproszonym (białym) jest zielony. Chlorofil, oświetlony fioletowym laserem świeci na czerwono. Widmo absorpcji (ryc. 6a) ma dwa maksima – w świetle niebieskim i czerwonym; widmo re-emisji (fluorescencji) – tylko maksimum w czerwieni; liść pelargonii oświetlony fioletowym laserem odświeci na różowo. Widma: M. Gagoś [4].

nej (pierścieni zawierających węgiel, czyli z „grubsza” przypominających benzen) figuruje atom magnezu.

Wiemy z chemii, że atom Mg łatwo się „utlenia”, czyli oddaje swoje (może jeden, może dwa) elektrony (z orbitalu słabo związanego, czyli $2s$). Ale fizyk zauważył we wzorze strukturalnym więcej: właśnie te zewnętrzne grupy organiczne, o różnych konfiguracjach, czytając – różnych energiach wzbudzeń elektronowych i oscylacyjnych. Cemu one służą? Efektywnemu „koszeniu” (ang. harvesting) energii fotonów w szerokim zakresie widma słonecznego. Wiedząc już jaka jest struktura chlorofilu, możemy sprawdzić, że widmo absorpcji (ryc. 6) jest rzeczywiście szerokie. Co więcej – ma dwa maksima: rośliny lubią „kosić” kolor niebieski (z rozproszonego światła „nieba”), bo to te właśnie fotony niosą najwięcej energii (zauważmy, że trawa rośnie również w cieniu), ale też światło czerwone. O dziwo, rośliny unikają światła zielonego (liście je odbijają, dlatego są zielone), bo w tym zakresie przypada maksimum emisji z fotosfery Słońca – liście spaliłyby się na popiół po paru słonecznych a bezdeszczowych dniach.

Wielkością, którą operuje się przy ocenie fotosyntezy jest tzw. „wydajność kwantowa”, określana zazwyczaj, ile kwantów światła jest niezbędnych dla wytworzenia jednej cząsteczki O_2 . Wydajność kwantowa fotosyntezy jest różna dla różnych gatunków roślin, zależy od stężenia CO_2 , temperatury warunków oświetlenia itd. „Zgrubnie” można przyjąć, że potrzebnych jest co najmniej 10-12 kwantów światła dla wytworzenia jednej cząsteczki O_2 [5]. Entalpia tworzenia CO_2 w reakcji $C + O_2 \rightarrow CO_2$ w temperaturze 298K wynosi 4,1 eV. Licząc, że chlorofil absorbuje światło czerwone (kwanty o energii około 2 eV), efektywność fotosyntezy (o ile można tak ją określić) wynosi 20%, czyli całkiem sporo: dwa razy więcej niż efektywność polikrystalicznych krzemowych ogniw fotowoltaicznych.

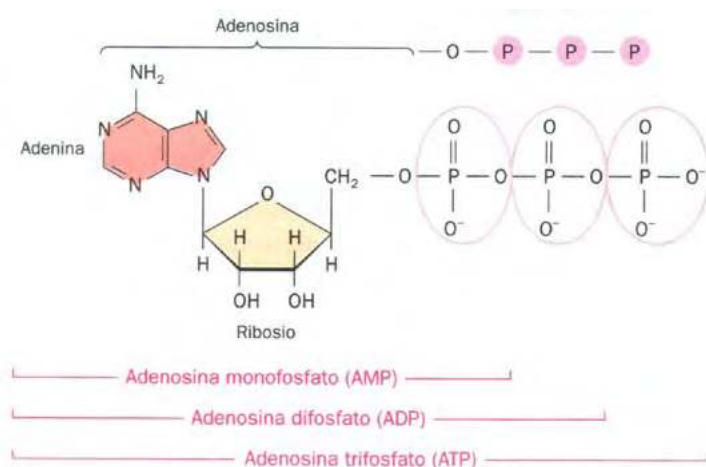
Chlorofil (lub raczej jego jon Mg^{2+} dostarcza niezbędnych elektronów do dalszych reakcji, ale nie są one bynaj-

mniej proste. O ile energia wiązania $C=O$ w CO_2 wynosi 5,5 eV, to z kompletnego „spalenia” cząsteczki glukozy dostajemy aż 29 eV (specjaliści od żywienia podają to jako 16 kJ/g). Reakcje są więc wiele, wiele-stopniowe. Potrzebne są „kwanty” energii i jakiś nośnik tych kwantów. Natura nie eksperymentuje zbyt dużo: jedno dobre rozwiązanie stosuje w wielu różnych procesach.

„Nośniki energii”

Swój udział w syntezie biologicznej, zachodzącej w organizmach żywych, podczas przekształcania prostych molekuł w bardziej złożone cząsteczki ma ATP (trójfosforan adenozyne) i/lub NAD(P)H (komórkowe nośniki elektronów). Jak piszą Wikipedie (tu poszczególne wersje językowe niewiele się różnią) „ATP magazynuje energię chemiczną w wysokoenergetycznych wiązaniach fosforanowych (ryc. 7) i wykorzystuje ją w procesach wymagających energii.” Rozpad wiązania między grupami fosforanowymi wiązania generuje duże ilości energii do napędzania reakcji endo-energetycznych” (kiedyś zwanych „endo-termicznymi”, ang. *endogenic*). I znów, w naszej dydaktycznej metodzie konstruktywistycznej zadajmy sobie pytanie, co to znaczy? Przede wszystkim stąd nagle w chemii węgla, wodoru i tlenu (czasem też azotu) również fosfor.

Rzut oka na tablicę Mendelejewa i elementarna wiedza z chemii nieorganicznej wystarczy, aby sformułować ogólne przypuszczenia. Kwas ortofosforowy, H_3PO_4 jest tzw. słabym kwasem, co oznacza, że dysocjuje w roztworach wodnych w niewielkim stopniu (czyli dostarcza niewielkiego stężenia jonów H^+). Innymi słowy, atom wodoru jest w tym kwasie silniej związany niż np. w kwasie fosforowym. Fosfor, w technologii półprzewodników, służy do domieszkowania krzemu, aby otrzymać półprzewodnik typu n , czyli z nadmiarem elektronów. A przy tym, atom fosforu w chemii C-H-O jest łatwo rozróżnialny.



Ryc. 7. Struktura ATP (z trzema grupami fosforowymi) jak też ADP, i AMP (z jedną grupą). ATP (w porównaniu z ADP) magazynuje energię i oddaje ją (przechodząc w ADP) w różnorodnych procesach metabolicznych, zob. ryc. 9 [8].

I rzeczywiście, w cząsteczce ADP (i ATP) rodnik fosforanowy (PO_3^-) jest on nieco na „przyczepkę” do dwu-pierścienia z atomem N (adeniny, jednego z „kodyfikatorów” w drabinie DNA) i prostego cukru, rybozy (podobnego do glukozy), zob. ryc. 7.

I znów fizyk/chemik rozpoznaje w tego rodzaju strukturze podobieństwo do mydła, czyli środków przyczepiających się jednym końcem do wody a drugim do tłuszczu. „Uniwersalna”, bo składająca się z cukru i zasady azotowej struktura części organicznej ATP/ADP czyni z tych drobin „wytrych” do najróżniejszych reakcji metabolicznych.

Łańcuch ATP działa podobnie do przedstawionej w ramce „procy magnetycznej”: odłączenie grupy fosforanowej (jonu PO_3^-), w reakcji z udziałem cząsteczki wody, czyli hydrolizy, uwalnia aż 0,32 eV ($\approx 7,3$ kcal/mol). Oczywiście, nie jest to energia kinetyczna wystrzelonej kulki, ale maksymalna energia z jakiej może skorzystać elektron/elektrony w określonej reakcji metabolicznej. A jak długa jest drabinka spalania metabolicznego glukozy (i jak wiele różnych wzorów i nazw musiałby pamiętać student biologii, gdyby nie było Internetu) pokazuje ryc. 9. Pierwsze reakcje w tym łańcuchu (nr 1 i nr 3) to jedynie „ładowanie” energii do cząsteczki glukozy, poprzez przyłączenie po jednej grupie fosforanowej z ATP, która to przechodzi w ADP. Z kolei reakcje nr 7 i nr 10, oddają energię i odbudowują dwie cząsteczki ATP.

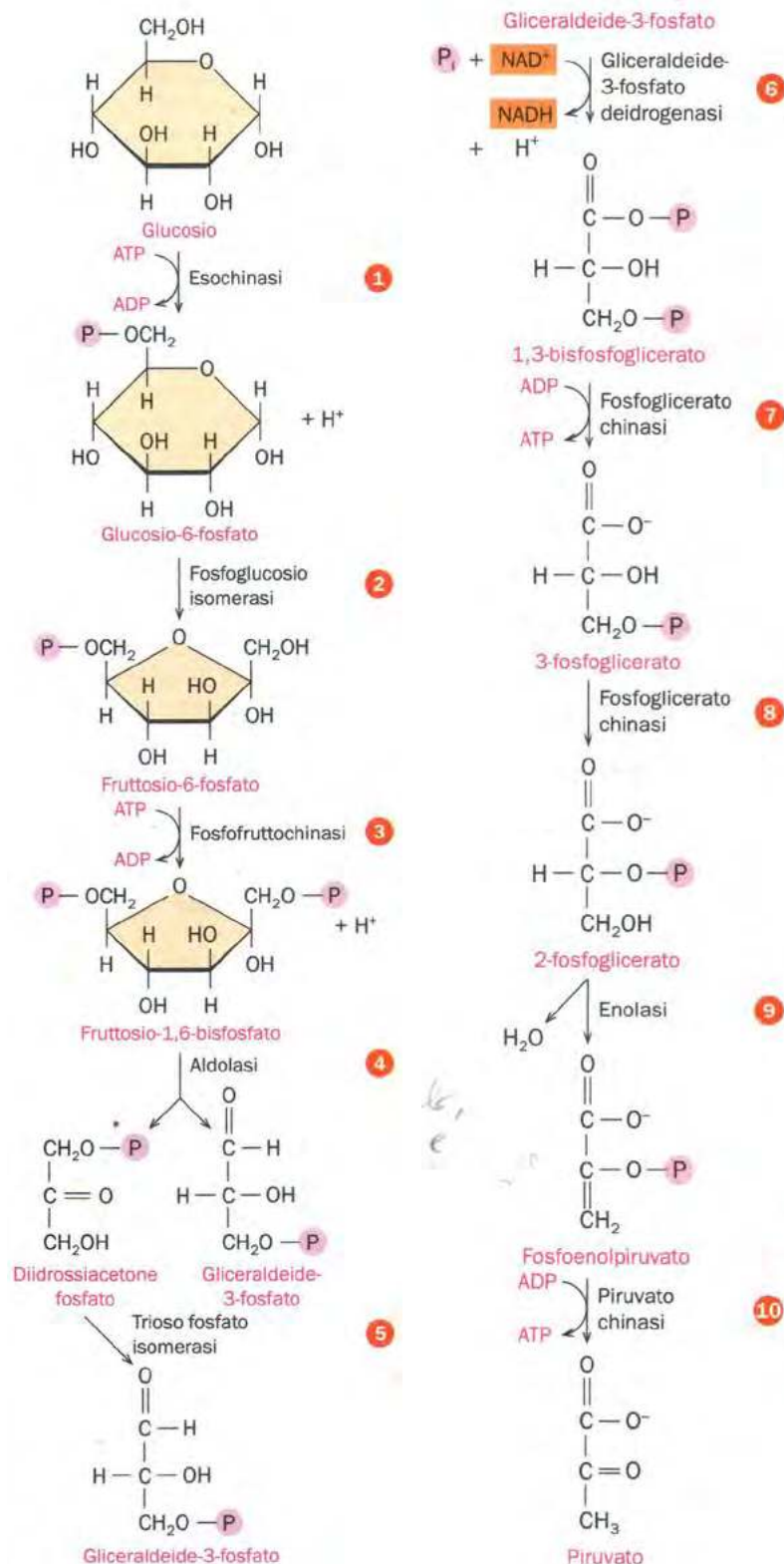
Reakcje 1-10 to jedynie początek spalania glukozy. Pirogroń (10) (piruwat, wł.) produkowany w reakcji (10) jest początkiem kolejnych łańcuchów reakcji, które prowa-

Struktura ATP (a raczej jej działanie w procesach metabolicznych) przypomina jedno z doświadczeń interaktywnych z naszych pokazów o energii: procę magnetyczną. W doświadczeniu na plastikowej szynie umocowanych jest kilka silnych magnesów neodymowych w odległościach mniej więcej 10 cm. Magnesy te przyciągają stalowe kulki. Stabilna konfiguracja (tzn. o najniższej energii) to taka, w której po obu stronach magnesów znajdują się te same ilości kulek (np. po dwie). Konfiguracja asymetryczna, z jedną kulką z lewej (na przykład) strony i trzema z prawej jest mniej stabilna.

„Naciąg” tej procy polega na stworzenie takiej mniej stabilnej konfiguracji. Poczynając od magnesu najbardziej na prawo (numer n, nazwijmy go), przeciągamy dalszą kulkę z lewej strony na prawą stronę magnesu n-1. I tak dalej, uważnie, aż do magnesu nr 1. Puszczanie teraz (drugiej) kulki na lewą stronę magnesu 1 powoduje reakcję „łańcuchową”: trzecia kulka z prawej strony magnesu i-1 trafia na lewą stronę magnesu i, aż do końca naszego łańcucha. Trudniej wyjaśnić niż zbudować.



Ryc. 8. Proca magnetyczna: 10 magnesów neodymowych umocowanych na plastikowej szynie. Asymetryczna konfiguracja kulek (więcej po prawych stronach magnesów) jest niesymetryczna (wymaga precyzyjnego „naciągu”). Kulka spuszczone z lewej strony równi powoduje zaburzenie równowagi i w serii i- magnesów jedna kulka z prawej strony zostaje wystrzelona, jak w reakcji łańcuchowej, do magnesu na prawo. Kulka z ostatniego magnesu wznosi się po prawej stronie równi znacznie wyżej niż kulka, którą spuściliśmy z lewej strony. Ekspozycja ten to daleka analogia konstrukcji ADP/ATP: przyłączenie kolejnych grup fosforanowych to jak naciąganie kulek z prawych stron magnesów: tę energię można odzyskać w efekcie „procy”. Fragment wystawy „Z górki na pazurki, czyli wszystko o równi pochyłej Galileusza”, GK i współpracownicy, UMK, kwiecień 2007 [9].



Ryc. 10. Metaforyczne przedstawienie przekazywania energii w procesach metabolicznych. Energia (konfetti) ma swój nośnik (np. cząsteczkę ATP), przekazywana jest ona do innej cząsteczki (np. glukozy w trakcie „ładowania” reakcji przygotowujących glikolizę).

dą do produkcji mleczanu (w warunkach beztlenowych, np. w mięśniach) lub kwasu cytrynowego (w obecności tlenu, np. w mitochondriach komórkowych). Droga do końca reakcji, tj. wytworzenia CO_2 i H_2O jest jeszcze długa. Całkowity „uzysk” energetyczny z metabolicznego spalania jednej cząsteczki glukozy to aż 29,3 eV. Proces spalania (odwroćcie reakcji fotosyntezy) prowadzi do powstania sześciu cząsteczek H_2O i sześciu cząsteczek CO_2 – są to jedne z najsilniej związanych cząsteczek. Sumaryczne energie wiązania produktów „spalania” glukozy to 129 eV.

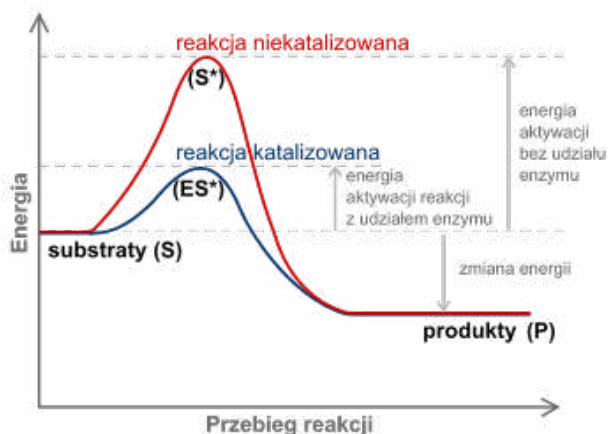
To pośredniczenie ATP/ADP (i różnych enzymów) w przekazie energii można metaforycznie przedstawić w postaci „confetti”, które przekazują sobie uczniowie (z liceum w Bolzano) z ręki do ręki, ryc. 10. Czasem któreś z confetti spadnie na ziemię; no cóż! w przekazach z udziałem ATP też 60% energii „traci się” na ciepło. Jest to i tak dużo mniej niż w samochodowym silniku spalinyowym.

Enzymy

I jeszcze słowo, co to są enzymy. Wikipedia definiuje się jako katalizatory [6], czyli substancje przyspieszające określone reakcje chemiczne poprzez obniżenie ich energii aktywacji (przytacza się przy tym rysunek jak ryc. 11)

Ale w odróżnieniu od katalizatorów reakcji w chemii nieorganicznej (np. platyny nanostrukturalnej), katalizatory reakcji metabolicznych mają bardzo skomplikowaną, białkową budowę, zob. ryc. 12. Ich rola nie polega więc jedynie na obniżeniu energii aktywacji, ale na *ukierunkowaniu* reakcji – to specyficzny enzym określa jaki produkt powstanie z danej substancji wyjściowej.

„Na razie” enzymy zostały nazwane poprzez substancje, na które działają. I tak, za rozkład cukru maltozy odpowiada maltaza, laktozy – laktaza, a sacharyny – sacharoza.



Ryc. 11. Schemat działania enzymu poprzez obniżenie energii aktywacji [7]



Ryc. 12. Wykrzywanie katalazy, enzymu odpowiedzialnego za rozkład nadtlenu wodoru do wody i tlenu: działanie wodą utlenioną na materiał roślinny (ogórek, ziemniak, marchew). Można porównać ilość wydzielonego gazu poprzez dodanie detergentu, co spowoduje ustabilizowanie piany. Domowe laboratorium Natalii Wyborskiej (lat 12). Foto – Natalia Wyborska

Ale dokładne zrozumienie, jakimi ścieżkami wędrują elektrony między katalizatorem a katalizowanym, zajmie jeszcze fizykom/chemikom/ biologom kilka dziesięcioleci. Nie potrafimy nawet wyliczyć, dlaczego bateria Volty składająca się z Zn i Cu w kwasie siarkowym daje akurat 1.2 V, co dopiero mówić o odłączaniu grup fosforanowych od ATP w rzeczywistych elektrolitach komórkowych. Innymi słowy: czekamy na nowych adeptów nauki.

Nauka jest interdyscyplinarna

„Za każdym razem, kiedy mięsień się kurczy albo kiedy substancje odżywcze przechodzą przez błonę komórkową, lub gdy zostaje przesłany sygnał nerwowy albo syntetyzowany jest jakiś enzym, nasz organizm korzysta z energii, która pochodzi z hydrolizy ATP. W każdej pracującej komórce (w reakcjach z udziałem tlenu) od jednego do dwóch milionów drobin ATP ulega hydrolizie w każdej sekundzie. Sumaryczna ilość hydrolizowanego w ciągu dnia ATP może dorównać masie naszego ciała, mimo że w całym ciele jest tylko jeden gram ATP.” – piszą autorzy amerykańskiej książki będącej podręcznikiem w piątej klasie włoskiego liceum [8]. Szkoda, że nie uczymy tego na lekcjach fizyki. Podobnie jak biologów nie uczymy o sile wiązań w drobinie glukozy.

Albo odwrotnie: czyż nie jest fizykowi przyjemnie dowiedzieć się, czego nie rozumieją koledzy chemicy i biologowie? A biologowie nie sprawia satysfakcji, że fizyk (kwantowy) nie umie czegoś policzyć? Nauka dopiero w swej całości odkrywa rozmaite blaski i cienie.

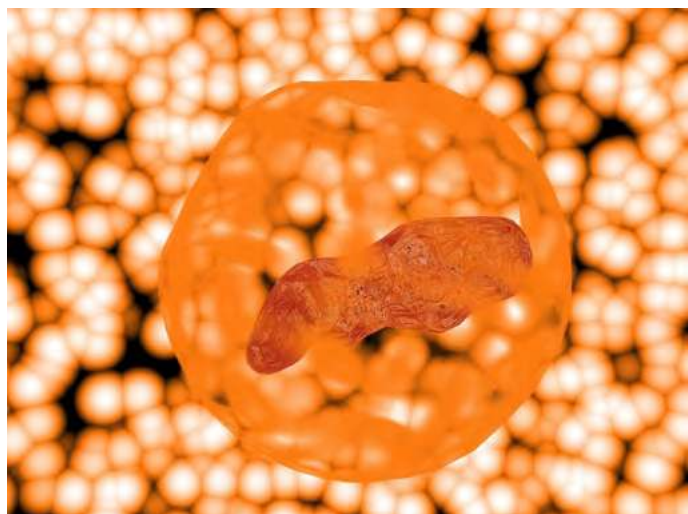
Rok temu dopiero, metodą rentgenogramu (zob. nasz poprzedni artykuł [10]) „uchwycono” strukturę heksokinazy w trakcie „ładowania energii”, tj. przyłączania grupy fosforanowej, ryc. 13.

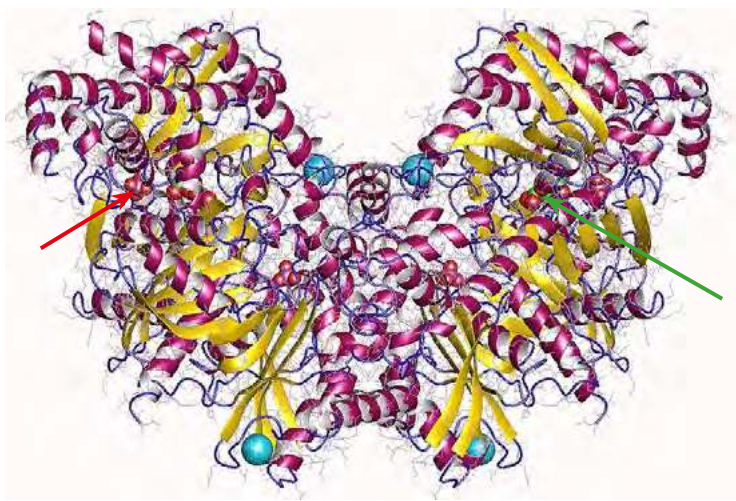
Ale najlepiej piękno nauki potrafią oddać dzieci, jak to pokazujemy na ryc. 14.

PS. Uważny Czytelnik zauważy w naszym tekście pewien bałagan w opisie wartości energii: raz używamy elektronowoltów, raz kilo-dżuli/g, a później raz kcal/mol. Niestety, tak jest w literaturze. Jako fizycy atomowi przy-



Kiedy substancje odżywcze przechodzą przez błonę komórkową, nasz organizm korzysta z energii, która pochodzi z hydrolizy ATP. Foto - Dreamstime



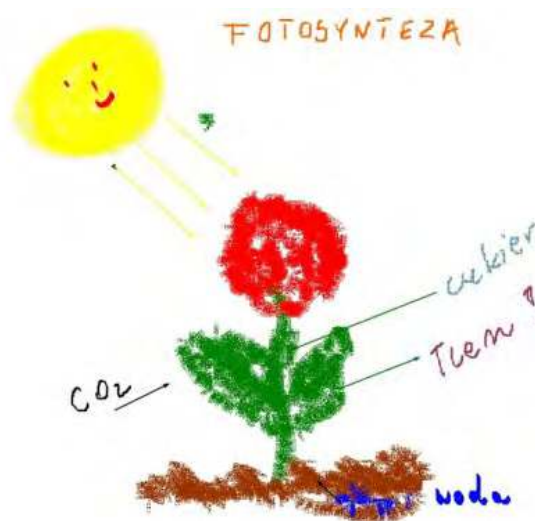


Ryc. 13. Heksokinaza ludzka (jej dimer), tj. enzym pierwszego etapu „spalania” glukozy – przyłączania grupy fosforanowej. W spiralach heksokinazy ukiye są dwie cząsteczki glukozy (zielono-czerwone, strzałka zielona), cztery atomy potasu (niebieskie), cztery grupy fosforanowe PO_3 – czerwone (strzałka czerwona). Źródło: wikipedia [11]

zwyczajani jesteśmy do odnoszenia energii do pojedynczych drobin: energia jonizacji atomowego wodoru to 13,6 eV, zakres energii kwantów światła widzialnego to 1,8-3,6 eV. Chemicy mierzą ilość ciepła powstającego w spalaniu jednego mola węgla w atmosferze tlenu (O_2), pod stałym ciśnieniem i podają w kJ/mol (np. dla powstawania CO_2 to 393 kJ/mol w 298 K). Biologowie określają „wartość odżywczą” jako sumę pracy i ciepła, którą może uzyskać organizm w procesie metabolicznego „spalania”, zazwyczaj w kJ/g (16 kJ/g dla glukozy).

Te różne wartości niekoniecznie muszą być takie same. Energia dysocjacji wiązania (bond dissociation energy) jest to wielkość atomowa, dość trudna do zmierzenia, poza tym, w CO_2 dotyczy pojedynczego wiązania; odłączenie drugiego atomu tlenu (czyli zerwanie wiązania w CO) wymaga innej ilości energii [12]. Entalpia tworzenia to wielkość makroskopowa; z kolei określenie wartości odżywczej glukozy wymaga, aby na początku i na końcu „wszystko było tak samo” – ilość ATP, skład enzymów i stan całej komórki.

Bez wątpliwości, złożoność procesów metabolicznych jest istnym cudem natury. Glukoza, cząsteczka wieloatomowa jest dość luźnym złożeniem atomów: „luźny” oznacza tu, że energie wiązań są niewielkie. W procesie metabolicznym powstają cząsteczki CO_2 i H_2O , czyli jedne z najsilniej związanych. „Związane” oznacza, że ich wzajemna energia potencjalna jest ujemna, a „najsilniej”, że wartości bezwzględne tej energii są duże. Innymi słowy, w trakcie tworzenia się CO_2 i H_2O wydzielą się sporo energii: jako ciepło spalania w komorze silnika i wykonana przez silnik praca, albo jako „napęd” dla wszystkich skomplikowanych procesów biologicznych, chemicznych, neuralnych, fizycznych, jakie wykonuje żywy organizm.



Ryc. 14. Fotosynteza, rysunek wykonany przez ucznia szkoły podstawowej w Dąbrowie Biskupiej.

Reasumując: również dla zdefiniowania „energii” potrzebny jest dialog interdyscyplinarny: w pierwszej kolejności naukowców, ale nauczycieli również.

Artykuł powstał w celu ilustracji ścieżki dydaktycznej przygotowywanej dla Projektu Erasmus+ Unii Europejskiej, KA220-HED – Cooperation in higher education „Higher Educational tools for Embodied & Creative Education on Energy – e⁴”, koordynowanego przez Freie Universität Bozen (Włochy).

Grzegorz Karwasz, Katarzyna Wyborska
Katedra Dydaktyki Fizyki,
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

ŹRÓDŁA:

- [1] G. Karwasz, *Dropper-popper*, Fizyka i zabawki, Wystawa wirtualna, PAP Słupsk, 2003, <https://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1/files/mech/dropper-pl.html>
- [2] https://bio.libretexts.org/Courses/Chemeketa_Community_College/Cell_Biology_for_Allied_Health/11%3A_Energy_and_Metabolism/11.02%3A_Energy_and_Metabolism
- [3] https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Metabolism_diagram.svg
- [4] M. Gagoś, G. Karwasz, *Barwa a struktura związku chemicznego*, „Chemia w szkole” Nr 3, 2012, str. 14-25
- [5] Ann Bot. 2013 styczeń; 111(1): VIII–IX. doi: 10.1093/aob/mcs278, “The maximum quantum yield controversy. Otto Warburg and the ‘Midwest-Gang’”
- [6] <https://naukawpolsce.pl/aktualnosci/news%62C388759%62Csuperszybkie-leki-dzialajaja-na-zmiennokształtne-enzymy.html>
- [7] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Enzymy>. Autor: Karol Głąb
- [8] Karen C. Timberlake and William Timberlake, *Basic Chemistry*, Pearson Education, 2008, ed. wł. Pearson, Milano, 2012, str. 476,
- [9] G. Karwasz i in., *Z górki na pazurki, czyli wszystko o równi pochyłej Galileusza, innymi słowy – jak energia potencjalna zamienia się w energię kinetyczną i jak się można przy tym dobrze bawić*, Wystawa interaktywna, 2007, <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/pazurki/galileo.html>
- [10] K. Wyborska, G. Karwasz, *Alternatywa: fizyka interdyscyplinarna*, Fizyka w Szkole, 5/2022, str. 4-9.
- [11] <https://en.wikipedia.org/wiki/Hexokinase>. Deposition authors: Aleshin, A.E., Honzatko, R.B.; visualization author: User: Astrojan – <https://www.rcsb.org/structure/1hkc>
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/Bond-dissociation_energy



CREDO-Maze: promieniowanie kosmiczne, czyli właściwie co?

Artykuł ten jest trzecim z serii poświęconej projektowi „Kosmos widziany z Łodzi” będącym realizacją pierwszego etapu szerokiej akcji udostępniania młodzieży nowoczesnej aparatury naukowej mającej w końcowym efekcie pokazać, a może i nauczyć młodych, ciekawych świata ludzi metod, jakimi posługuje się współczesna nauka w poszukiwaniu praw rządzących Wszechświatem. Aparatura ta stanie się istotnym rozwinięciem projektu CREDO (*Cosmic Ray Extremely Distributed Observatory*) i wszyscy, którzy przyłączą się do nas, staną się uczestnikami niezwyklej podróży w nieznane zakamarki Kosmosu ¹

Tadeusz Wibig

W poprzedniej opowieści o fizyce promieniowania kosmicznego wyjaśniliśmy, co tak naprawdę dociera do powierzchni ziemi, z czego składa się wtórne promieniowanie kosmiczne. Przekonał się w ramach projektu „Kosmos widziany z Łodzi” doświadczalnie, że cząstkami bombardującymi nas nieustannie są wysokoenergetyczne przede wszystkim fotony, elektrony i pozytony, i miony zarówno dodatnie, jak i ujemne. Inni wyposażeni w wyrafinowane aparaturę już ponad pół wieku temu zobaczyli w nim także inne cząstki elementarne: piony, kaony i przekonaliśmy się tak naprawdę, że w promieniowaniu kosmicznym właściwie możemy się spodziewać dowolnego rodzaju cząstki elementarnej znanej, a nawet i nieznannej jeszcze ludzkości. Szansa na jej zobaczenie jest oczywiście kosmicznie mała, ale jakaś zawsze jest.

Po pierwsze – poznać

Poznanie fizyki mikroświata, fizyki oddziaływań wysokich energii to jednak tylko jeden aspekt badań promieniowania kosmicznego. Nie mniej ważnym jest aspekt makro-

-kosmiczny, astrofizyczny. Chcielibyśmy powiedzieć coś więcej o źródłach, z jakich przychodzą do nas kosmiczne cząstki, zidentyfikować je i poznać mechanizmy rozpędzające cząstki do gigantycznych energii. Pierwszym krokiem w tym kierunku jest rozpoznanie tego, co dociera do granic ziemskiej atmosfery zanim będzie oddziaływało z jądrami atomów i nie przekształci się we wtórne promieniowanie kosmiczne, o którym coś już wiemy.

Od lat 30 wiadomo było, że pierwotne promieniowanie kosmiczne składa się z cząstek naładowanych dodatnim ładunkiem elektrycznym. Bruno Rossi jako pierwszy zauważył, że gdyby cząstki promieniowania kosmicznego były elektrycznie naładowane, to odchyłać się one powinny w ziemskim polu magnetycznym, co dawałoby obserwowalny efekt polegający na różnicy liczby cząstek przychodzących ze wschodu i z zachodu. [1]. Potwierdziły to zaraz potem niezależne eksperymenty [2]. Natężenie promieniowania okazało się rzeczywiście większe z zachodu, co dowodziło, że większość cząstek pierwotnych jest dodatnia. Ze znanych wtedy cząstek elementarnych dodatni był jedynie proton i to on został naturalnym, oczywistym kandydatem odpowiedzialnym za promieniowanie przychodzące do nas z kosmosu. Można było uznać, że

¹ Prosimy i zachęcamy zaciekawione, a może nawet i zainteresowane osoby, nauczycieli o kontakt z nami. Im więcej nas będzie, tym łatwiej będzie zrobić następny krok i podjąć kolejne wyzwania

problem natury pierwotnego promieniowania kosmicznego został rozwiązany, ale pomiary efektu wschód-zachód dały nam jedynie pośrednią informację o tym, co do nas z przestrzeni kosmicznych przychodzi.

Bezpośrednia obserwacja cząstek kosmicznych, tych pierwotnych, jest niemożliwa, dopóki stoimy na ziemi. Oddziela nas bowiem od nich całkiem grubą warstwą ziemskiej atmosfery. Jak jest ona gruba? Ile powietrza jest nad nami? Aby odpowiedzieć na to pytanie nie musimy wcale wykonywać skomplikowanych rachunków. Wystarczy wyobrazić sobie, że skropliliśmy całe ziemskie powietrze. Pokryłoby ono Ziemię warstwą o grubości około 10 metrów. Wcale nie trzeba wiele liczyć, aby dojść do tego wyniku. Skroplone powietrze ma gęstość porównywalną z gęstością wody, a od czasów Pascala wiemy, że ciśnienie atmosferyczne, czyli to wywierane przez słup powietrza znajdującego się nad nami jest takie samo, jak ciśnienie wywierane przez słup wody o wysokości 10 metrów. Przebicie się przez warstwę wody o grubości dziesięciu metrów dla cząstek promieniowania kosmicznego, protonów, to zadanie w rodzaju „*mission impossible*”. Szansa, aby doszły do nas bez oddziaływania jest mniejsza niż trafienie piątki w Lotto.

Aby zwiększyć szanse zobaczenia cząstek pierwotnych trzeba wznieść się wysoko. Można wejść na górę. Niestety polskie Tatry są w sumie nieduże. Średnie ciśnienie na szczycie Rysów wynosi około 750 hPa (hektopaskali), co odpowiada mniej więcej 7,5 metra słupa wody. Gdyby tak

wejść na Mount Everest, to może byłoby coś. Tam ciśnienie to nieco ponad 3 metry słupa wody, ale to jeszcze zbyt dużo, aby zobaczyć w miarę niezaburzony obraz pierwotnego promieniowania kosmicznego. Komu zresztą chciałby się wnosić tak wysoko skomplikowaną, a więc i ciężką aparaturę pomiarową.

Już od 250 lat w Europie, bo w Chinach od prawie 2000 lat wiemy, jak można unieść coś w górę używając do tego prawa Archimidesa i sprytniej konstrukcji lekkiego pojemnika na rozgrzane powietrze. Wszyscy znają historie braci Montgolfier, którzy w końcu XVIII wieku wzniesli się balonem na rozgrzane powietrze ponad dachy Paryża, ale nie wszyscy wiedzą, że już dziesięć dni potem znany z prawa o związku temperatury i ciśnienia gazu zamkniętego w stałej objętości Jacques Alexander Charles uniósł się także w Paryżu w balonie napełnionym gazem lżejszym od powietrza, wodorem, gazem odkrytym zaledwie siedem lat wcześniej przez Henry’ego Cavendisha. Wodór ma jednak tę nieprzyjemną cechę, że jest gazem palnym. Najsłynniejszy pożar statku powietrznego napełnianego wodorem to oczywiście katastrofa sterowca Hindenburg ukazana między innymi na okładce pierwszego albumu grupy Led Zeppelin. Jeśli wspominamy słynne katastrofy opowiadając o fizyce, a w szczególności o fizyce promieniowania kosmicznego nie można nie wspomnieć o pożarze balonu stratosferycznego „Gwiazda Polski” w roku 1938. Balon ten miał osiągnąć rekordową wtedy wysokość 30 km i mierząc promieniowanie kosmiczne wnieść polską naukę na absolutne światowe wyżyny. Niestety aerostat spłonął podczas napełniania i z zaplanowanych eksperymentów pozostały tylko zgłiszczka. Ponowny start zmodyfikowanej wersji miał nastąpić we wrześniu 1939 roku. Nie nastąpił.

Słynny Jean Piccard, który konstruował balony jeszcze przed wojną, wraz z kolegami zainteresowali się wykorzystaniem tworzyw sztucznych, takich jak celofan, do budowy lekkich balonów do lotów na duże wysokości. W końcu lat 40 opanowano technologię balonów polietylenowych, wodór zastąpiono niepalnym helem i zaczęto wytwarzać olbrzymie, a jednocześnie bardzo cienkie, a co za tym idzie i lekkie powłoki umożliwiające unoszenie ładunków o wadze 30 kg na wysokość 30 km.

Po drugie – zmierzyć

W kwietniu 1948 roku wyniesiono do granic ziemskiej atmosfery niewielką komorę Wilsona i dodatkowo przekładaniec z 14 warstw płyt z emulsją jądrową. Przez cztery godziny eksperyment rejestrował ślady cząstek promieniowania kosmicznego na wysokości prawie 30 km, a potem jeszcze przez sześć na wysokości 20 km (co miało swoje głębokie uzasadnienie). Wyniki opublikowano błyskawicznie, bo już w lipcu [3]. Poza śladami protonów, których się wszyscy spodziewali zauważono 50 śladów cząstek o ładunku elektrycznym większym niż 1. Mniej więcej co dziesięciotysięczna cząstka została zidentyfikowana jako ciężka. Zauważono nawet ślad cząstki o ładunku +40! Statystyka 50 przypadków pozwoliła sprawdzić, czy wraz ze wzrostem kąta wejścia cząstki w atmosferę liczba rejestracji malała. I rzeczywiście. To bardzo ważny wynik, bo



Fot. 1. Naukowy lot balonem z 1894 r. – foto wikimediacommons

oznacza on, że ciężkie cząstki nie są wynikiem zderzeń cząstek pierwotnych promieniowania kosmicznego z jądrami atmosfery. Pod dużymi kątami szansa na takie zderzenie jest większa, a tu ciężkich cząstek widzimy mniej.

W kolejnej pracy, która ukazała się w grudniu tegoż roku ta sama grupa z Minesoty (lecz już bez Bradta i Petersa, którzy byli z Rochester) [4] podsumowała już bardziej szczegółowo wyniki z czterech stratosferycznych lotów swojej aparatury. Po pierwsze na 74 zdjęciach z komory Wilsona znaleziono 19 śladów protonów i 5 cząstek o ładunku większym. A zatem stosunek ilości wodoru do helu wyszedł równy 4, co zgadzało się z szacowaną wtedy zawartością tych pierwiastków w Słońcu i było z grubsza równe połowie tego stosunku dla mgławic planetarnych.

Na następnych stronach tego samego tomu *Physical Review* Bradt i Peters pogłęбили swoją analizę wprowadzając nowe metody określania ładunku i energii cząstek i potwierdzili rezultaty poprzednich prac [5]. Bradt i Peters zwrócili uwagę na znaczenie teoretyczne otrzymanych wyników. Po pierwsze samo istnienie w pierwotnym promieniowaniu kosmicznym ciężkich jąder świadczy o tym, że przyspieszono je w sposób ciągły i w sumie powolny, adiabatyczny, a nie w jakiś katastrofalnych eksplozjach, wybuchach kosmicznych.

Ciężkie jądra to złożone układy nukleonów i wiążą je siły jądrowe, których energia (wiązania) w sumie nie jest bardzo duża w porównaniu z energią kinetyczną przyspieszonych jąder dochodzących do Ziemi. Porównali oni też względną ilość pierwiastków pogrupowanych w rozsądne klasy: wodór (H), hel (He), jądra węgla, azotu i tlenu (CNO) razem wzięte i wszystko co cięższe od tlenu ($Z > 8$) z szacunkami dla różnych obiektów astrofizycznych. Nie stwierdzono znaczących różnic. Zauważyli też pozornie błahy fakt, że w danych brak jest jąder litu (Li), berylu (Be) i boru (B). Niby nic takiego, ale jak się później okazało te właśnie pierwiastki mają kluczowe znaczenie w badaniach propagacji promieniowania kosmicznego w Galaktyce.

Po trzecie – zweryfikować

Zabrali też głos w sprawie weryfikacji hipotezy o słonecznym pochodzeniu promieniowania kosmicznego. Za-

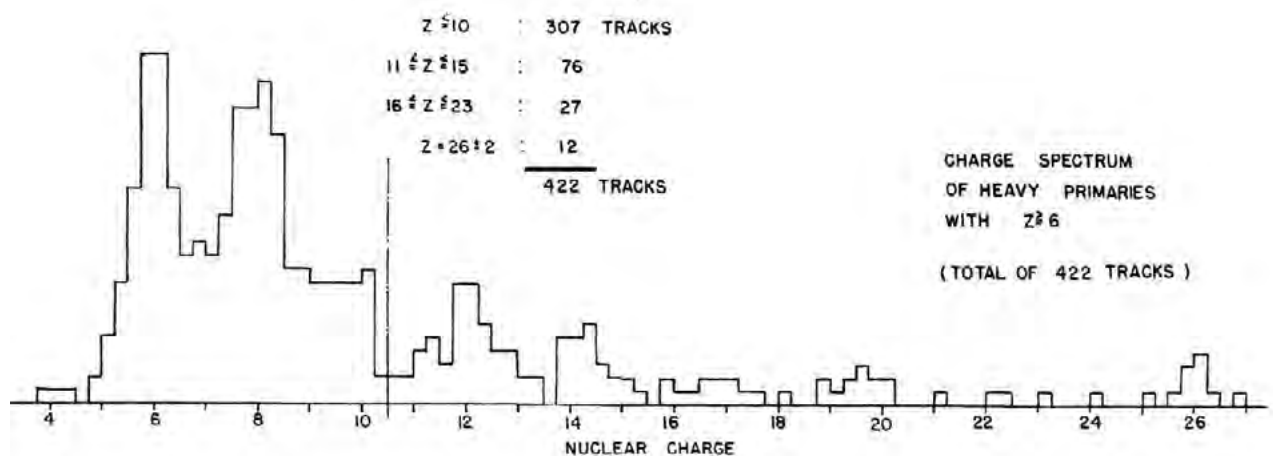
proponowali oni pomiar minimalnej energii z jaką docierają do granic ziemskiej atmosfery ciężkie jądra. Gdyby pochodziły z przestrzeni międzygwiazdnej, na pewno byłyby obdarte ze wszystkich elektronów i musiałyby przebiegać się z całym swoim ładunkiem (Z) przez pola magnetyczne Układu Słonecznego i przez ziemskie pole magnetyczne, a to zmniejszyłoby ich szanse na dotarcie do Ziemi. Gdyby jednak powstały na Słońcu, mogłyby dotrzeć do granicy atmosfery nie do końca pozbawione elektronów i mając efektywny ładunek mniejszy niż swoje (Z) byłyby im łatwiej dotrzeć do aparatury na stratosferycznym balonie. Ponieważ rozstrzygnięcie tego problemu było zagadnieniem najwyższej wagi Bradt i Peters zaplanowali odpowiedni eksperyment. Przetawiono go w pracy z roku 1950 [6].

Okazało się, że wśród analizowanych 16 przypadków jąder CNO, które szczęśliwie zatrzymały się w emulsji (co pozwoliło bardzo precyzyjnie, z dokładnością 10%, zmierzyć ich energię) żaden nie ma energii mniejszej niż 0.35 GeV/nukleon (zaś w przedział 0.37-0.45 GeV/nukleon trafia ich połowa). Wynik porównano z obliczeniami hamowania w polu magnetycznym i wyszło na to, że wniosek może być tylko jeden: do Ziemi docierają cząstki w całości pozbawione elektronów, co wskazuje na ich pochodzenie galaktyczne. Nie dla wszystkich był to jednak przekonujący dowód.

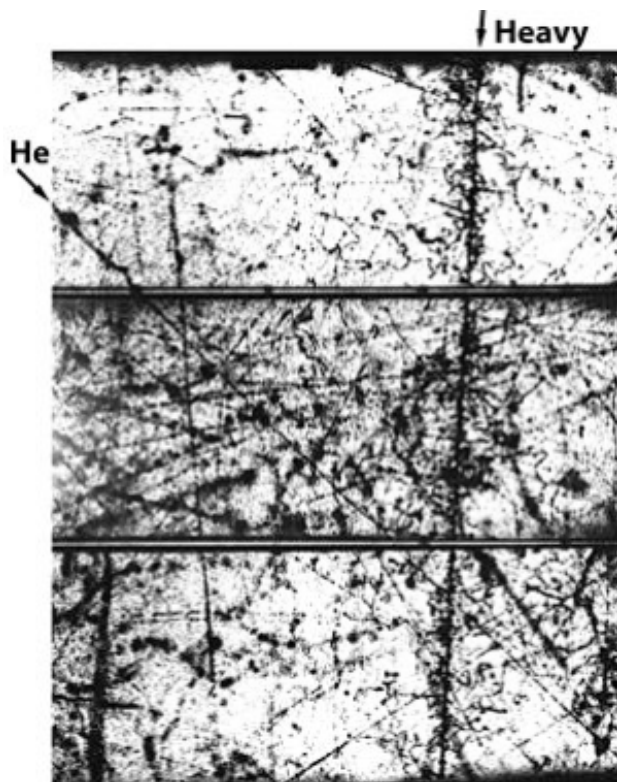
Poza próbą określenia stanu zjonizowania atomów docierających do granic ziemskiej atmosfery w pracy swojej Bradt i Peters po przeanalizowaniu wszystkich 422 śladów w emulsji, pokazali rozkład wyznaczonych ładunków.

Co do kluczowych jąder grupy LiBeB, analiza nie była jeszcze zakończona. Wstępnie zauważono kilka śladów jąder tej grupy. Istnienie znaczących ilości litu, berylu i boru w pierwotnym promieniowaniu kosmicznym byłoby kolejnym argumentem za jego galaktycznym pochodzeniem.

Przestrzeń międzygwiazdna, jak wiadomo, nie jest pusta, jest prawie pusta, a jak wiemy „prawie” czasem robi wielką różnicę. Wiadomo, że przestrzeń naszej Galaktyki wypełniona jest materią w ilości mniej więcej 1 atom wodoru (proton) na 1 cm^3 . Gdyby ciężkie jądra (o $Z > 5$) przemierzały ją, musiałyby co jakiś czas z tymi



Skład promieniowania kosmicznego obserwowany w roku 1950 przez Bradta i Petersa [5]. Wodoru i helu na zdjęciach z klisz nie można było dokładnie zidentyfikować więc na tym wykresie ich nie ma.



Zdjęcie śladu ciężkiego jądra i jądra helu z komory Wilsona zrobione podczas lotu balonowego w roku 1960.

protonami się zderzać i na skutek tych zderzeń fragmentować, czyli rozpadać się na mniejsze fragmenty. Obliczenia pokazują, że średni czas życia tych jąder w galaktyce to 3 do 30 mln lat. Końcowym efektem fragmentacji ciężkich jąder są neutrony (rozpadające się oczywiście na protony), same protony i cząstki alfa. Znając odpowiednie przekroje czynne, czyli szanse na fragmentację różnych jąder i zakładając odpowiednią ich proporcję w źródłach można wyznaczyć w jakim składzie promieniowanie kosmiczne dotrze do nas. Bradt i Peters zauważyli, że gdyby tak w źródłach produkowano jedynie ciężkie jądra to po dostatecznie długim czasie z proporcji $(\text{H:He:CNO:reszta})_{\text{źródło}} = 0:0:7:2$, uzyskalibyśmy $(\text{H:He:CNO:reszta})_{\text{równowaga}} = 1900:80:7:2$, co jest wielkością zbliżoną do obserwowanej $(\text{H:He:CNO:reszta})_{\text{eksperyment}} = 1200:180:7:2$. Oznacza to, że w źródłach promieniowania kosmicznego przyspieszane są praktycznie tylko ciężkie cząstki. Trudno to sobie wyobrazić.

Cząstki z początku Wszechświata?

Trudno, ale jest to niemożliwe. A gdyby tak ciężkie jądra powstawały z rozpadu ziaren pyłu, które przyspieszane byłyby podczas wybuchów gwiazd supernowych przez ciśnienie światła [7]? Inna, także zarzucona dziś, bardzo oryginalna teoria pochodzi od Lemaître'a znanego przede wszystkim ze swoich prac kosmologicznych. Proponował on, by promieniowanie kosmiczne uznać za istniejące od początku Wszechświata. Materia, czy jakkolwiek nazwać to, z czego uformowały się później gwiazdy, jest niczym innym jak „skondensowanym” promieniowaniem kosmicznym. Zdaniem Lemaître'a w modelu takim promieniowanie kosmiczne w swej pierwotnej formie może składać się nie tylko z fotonów i elektronów, ale też z protonów, cząstek alfa, a nawet ciężkich jąder [8].

Hannes Olof Gösta Alfvén jeszcze w roku 1937 [9] wysunął hipotezę, że promieniowanie kosmiczne jest przyspieszane w układach rotujących gwiazd podwójnych. Przez 10 mld lat mniej więcej 1% energii grawitacyjnej takiego układu jest przekazywane cząstkom promieniowania kosmicznego. Cząstki naładowane są na stałe uwięzione w naszej Galaktyce i dyfundują w międzygwiazdnych polach magnetycznych. Wszystko jest jasne i proste elektrodynamika rządzi wszystkim.

Po kilkunastu latach wspólnie z Richtmyerem i Tellerem w roku 1949 stwierdził jednak, że dla równomiernego wypełnienia Galaktyki promieniowaniem kosmicznym jedna dziesięciotysięczna część (10^{-4}) energii emitowanej przez wszystkie gwiazdy musiałaby być bez przerwy przekazywana cząstkom promieniowania kosmicznego. To bardzo, bardzo dużo i trudno sobie wyobrazić mechanizm tak efektywnego przyspieszania. Rozwiązaniem jest odrzucenie założenia o tym, że promieniowanie kosmiczne jest wszędzie w Galaktyce takie samo. Wystarczy przyjąć, że obserwowane cząstki o dużych energiach uwięzione są w polach magnetycznych nie Galaktyki w całości, a jedynie Układu Słonecznego i cały czas kręcą się w bardzo ograniczonej przestrzeni [10]. W tomie 75 „Physical Review” ukazały się jeden po drugim kolejny artykuł Richtmyera i Tellera [11] i jeszcze jeden autorstwa tylko Alfvéna [12] na ten sam temat. W modelu pochodzenia promieniowania kosmicznego ze Słońca wystarczyłoby, żeby zaledwie 10^{-17} energii emitowanej przez naszą najbliższą gwiazdę było użyte do przyspieszania cząstek, jakie obserwujemy na Ziemi.

Innym problemem jest izotropia promieniowania kosmicznego, czyli to, że niezależnie, w którą stronę patrzymy, jest go tyle samo. Uwięzienie w polach magnetycznych prowadzi automatycznie do wymieszania kierunków i izotropizacji. Ponieważ protony żyłyby w takim uwięzieniu przez czas od tysiąca do milionów lat (zależnie od przyjętych założeń) strumień promieniowania kosmicznego powinien być także stały w czasie. Ewentualne zmiany i wahania uśredniałyby się. Richtmyer i Teller poszli nawet tak daleko, że zakwestionowali samą nawę „promieniowanie kosmiczne”. Ich zdaniem, nazwa ta bardzo niekorzystnie wpływała na uczciwą dyskusję i sprawiedliwym ocenianiu hipotezy słonecznego pochodzenia promieniowania kosmicznego.

Źródła

Inną kwestią istotną dla rozstrzygnięcia problemu źródeł (słoneczne czy galaktyczne?) podnoszoną od początku przez Bradta i Petersa był strumień LiBeB. W roku 1950 ukazała się ich praca poświęcona w całości temu problemowi [13]. Teorie nukleosyntezy, jak i badania składu typowej materii Układu Słonecznego wskazują, że litu, berylu i boru nie powinniśmy się w zasadzie w źródłach promieniowania kosmicznego spodziewać. Z grubszą mniej więcej raz na milion zaobserwowanych jąder odrobinę cięższych, z grupy CNO, możemy znaleźć jakieś jądro grupy LiBeB. Każde, które przyszyboby do nas, najpewniej pochodzi z fragmentacji jąder z grupy CNO. Tak więc stosunek ilości jąder LiBeB do tych z grupy CNO

odzwierciedla długość drogi, jaką pokonać musi promieniowanie kosmiczne, na jakiej te pierwsze z tych drugich powstają. Podsumowując wyniki pomiarów Bradt i Peters stwierdzili, że podróżuje ono w przestrzeni kilka milionów lat i tak w ogóle to mała ilość jąder LiBeB sugeruje, że promieniowanie kosmiczne najpewniej pochodzi ze Słońca, a teorie Spitzera i Fermiego proponujące mechanizmy przyspieszające cząstki naładowane do wysokich energii napotykają poważne problemy.

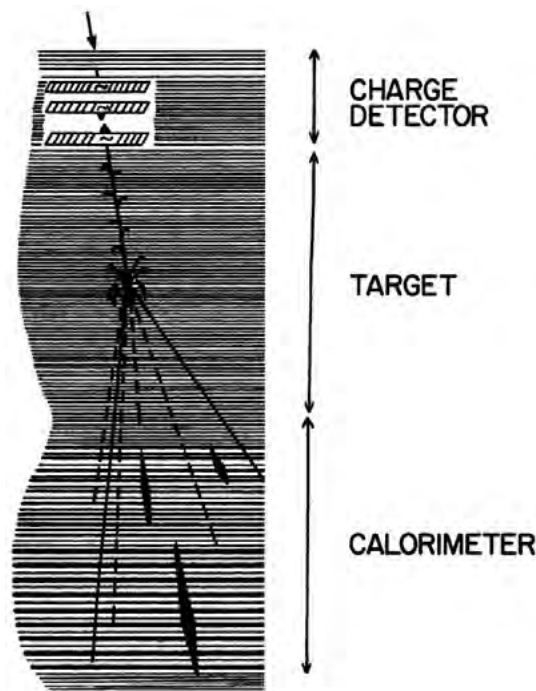
Spitzer proponował przyspieszanie ziaren pyłu, zaś wielki fizyk Enrico Fermi w 1949 roku zabrał głos teoretyczny postulując mechanizm przyspieszania promieniowania kosmicznego, który jest aktualny i dziś, do dziś jest doskonałony, uszczegóławiany i najprawdopodobniej funkcjonuje w tej czy innej postaci w przyrodzie [14]. Zaproponował on przyspieszanie w przestrzeni międzygwiazdnej przez zderzenia z poruszającymi się obłokami magnetycznymi. Wiadomo, że obłoki takie istnieją w Galaktyce. Poruszają się z prędkościami ~ 20 km/s i naładowane cząstki wpadając w nie, zmieniają kierunek ruchu, i w końcu je opuszczają, by za jakiś czas napotkać na jakiś obłok ponownie. Średnio rzecz biorąc w zderzeniach takich uzyskują za każdym razem odrobinę energii. Przypomina to sytuację, w której lekkie, elastyczne piłeczki zderzałyby się z poruszającymi się ciężkimi ścianami, jak gra w ping-ponga, gdyby nie było oporu powietrza. Nazwa „mechanizm Fermiego” obecna jest w fizyce promieniowania kosmicznego, a sama praca z 1949 roku jest ciągle cytowana mniej więcej 100 razy każdego roku.

Eksperymenty

Loty balonowe zapoczątkowane w połowie ubiegłego wieku były oczywiście kontynuowane i są kontynuowane do dziś. Balony latają coraz wyżej i mogą unosić coraz większe ciężary. Mimo innych możliwości, o których będzie można powiedzieć przy innej okazji, eksperymenty balonowe mają swoje znaczenie i przynoszą ciągle nowe istotne wyniki. Najlepszym przykładem jest eksperyment GAPS [*General AntiParticle Spectrometer*], eksperyment dedykowany poszukiwaniom w promieniowaniu kosmicznym antycząstek, który ma się wznieść do stratosfery w końcu tego roku.

Wypada w tym miejscu wspomnieć o jednym, bardzo ważnym eksperymencie balonowym JACEE [*Japanese-American Collaborative Emulsion Experiment*], zwłaszcza, że istotną w nim rolę odegrała grupa z Polski. Pierwsze loty miały miejsce jeszcze w roku 1979, a sumie lotów było 15 (w tym jeden nieudany). W JACEE współpracowali Japończycy specjalizujący się w przygotowywaniu i obróbce klisz emulsyjnych, Amerykanie, fachowcy od balonów i analizy danych, oraz Polacy z Instytutu Fizyki Jądrowej z Krakowa, świetni specjaliści od skanowania i pomiaru klisz emulsyjnych. Szkoda, że w nazwie eksperymentu zabrakło literki „P” – powinna być!

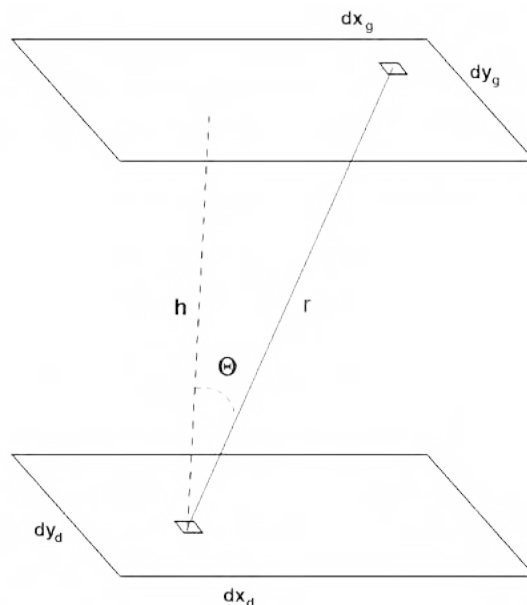
Konstrukcja eksperymentu ważyła ponad tonę (zmieniało się to od misji do misji). Rysunek pokazuje, jak wyglądała typowa aparatura. U góry była część składająca się głównie z grubych (200-400 μm) klisz emulsji jądrowej mającej określić ładunek cząstki przychodzącej, niżej



Ilustracja 2: Schemat aparatury eksperymentu JACEE.

była warstwa złożona z cieńszych klisz poprzekładanych warstwami plastiku (małe Z), w której cząstka oddziaływała, a na samym dole był kalorymetr z milimetrowymi warstwami ołowiu poprzedzielanymi warstwami emulsji i klisz rentgenowskich, w którym wszystkie produkty oddziaływania zostawiały całą swoją energię, którą mierzono tak dokładnie, jak się tylko dało. Loty trwały po kilka, kilkanaście dni w Stanach, Australii, a w końcu ostatnie pięć odbyło się wokół bieguna południowego na Antarktydzie.

Układ klisz w eksperymencie JACEE i wielu innych przypomina układy dwóch płaskich detektorów jeden na górze, drugi na dole ustawione w geometrii „teleskopu”. Możemy tak ustawić i detektory projektu „Kosmos widziany z Łodzi”. Oczywiście nie możemy wznieść się z nimi w powietrze (?), ale możemy zbadać taki układ od strony teoretycznej.



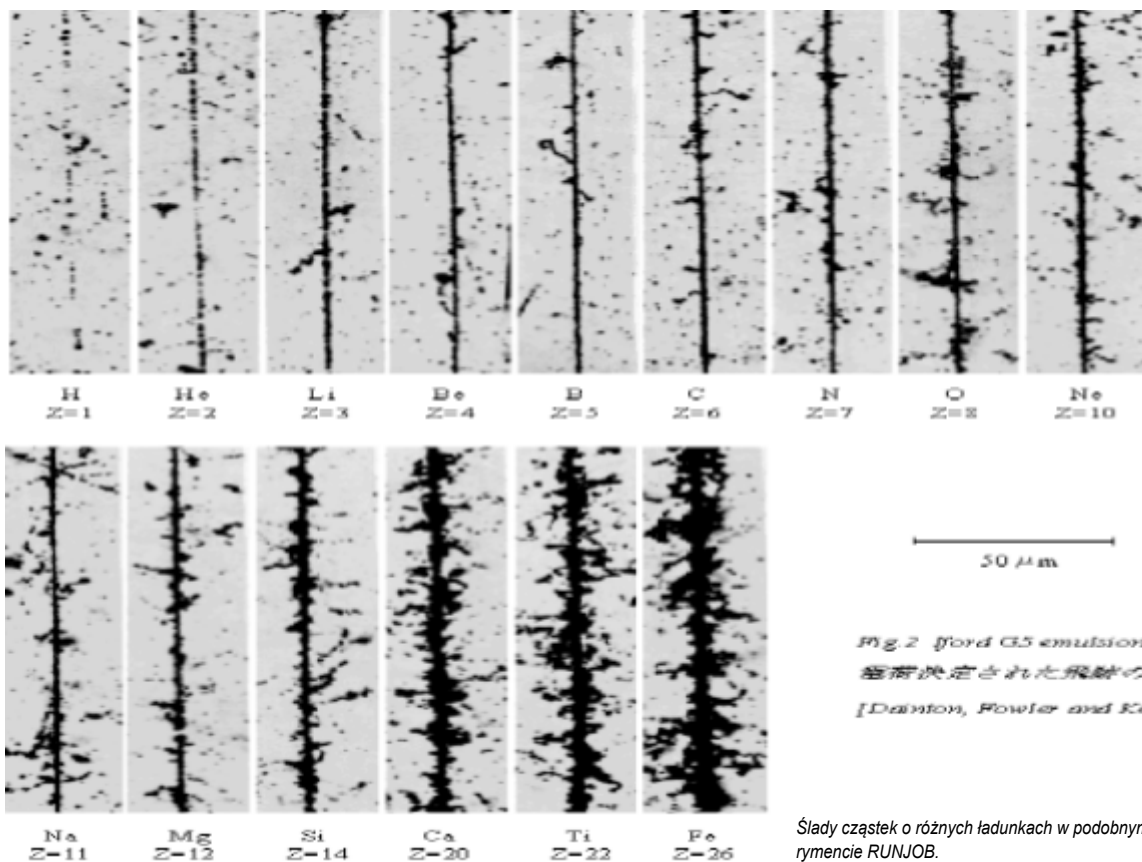


Fig. 2. JORD G5 emulsionで
電荷決定された飛跡のサンプル
[Dainton, Fowler and Kent (1952)]

Ślady cząstek o różnych ładunkach w podobnym do JACEE eksperymencie RUNJOB.

Problem polega na tym, że, jak wiemy, promieniowanie kosmiczne przychodzi z różnych kierunków i to jeszcze z różną intensywnością. Intensywność mierzymy jako ilości cząstek przychodzących z danego kierunku z jednostki kąta bryłowego. Nasze detektory są w sumie duże i gdyby ustawić je jeden nad drugim mierzyłyby jednocześnie cząstki przychodzące ze sporego zakresu kątów. Dokładne obliczenie tempa zliczeń takiego teleskopowego układu detektorów nie jest proste, musimy bowiem, z formalnego punktu widzenia, dokonać odpowiedniego wielokrotnego całkowania.

Wyniki

Od czasów Newtona i Leibniza wtajemniczeni wiedzą, że całkowanie można rozumieć jako sumowanie małych (w granicy nieskończenie małych) elementów, na jakie rozkładamy nasz problem (zmienną całkowania). W naszym przypadku musimy zsumować przyczynki, strumienie cząstek, od każdej kombinacji (nieskończenie) małego elementu górnego detektora i jednego (nieskończenie ma-



Fot. 2. Balona badawczy NASA z 2017 r. – foto wikimediacommons

łego) elementu z dolnego. Każdy taki mały teleskopik mierzyłby promieniowanie przychodzące właściwie już tylko z jednego określonego jego geometrią kierunku.

Chcąc to ująć precyzyjnie, musimy się odwołać do wyobraźni 3D i trygonometrii. Z każdego elementu dolnego detektora każdy element detektora górnego widoczny jest pod innym kątem Θ (kątem płaskim mierzonym od zenitu, od pionu). Przyglądając się rysunkowi widzimy, że

$$\cos(\Theta) = \frac{h}{r} = \frac{h}{\sqrt{(x_g - x_d)^2 + (y_g - y_d)^2 + h^2}}$$

Kąt bryłowy $d\Omega$, pod jakim widziany jest jakiś element górnego detektora z konkretnego punktu dolnego jest trudny do narysowania, ale z definicji wiemy, że jego wartość to powierzchnia pola widzenia zajmowanego przez element górnego detektora, gdy patrzymy nań z dołu, podzielona przez kwadrat odległości od elementu na dolnej płaszczyźnie do elementu na górnej

$$d\Omega = dx_g \times dy_g \times \cos(\Theta) / r^2$$

Wiemy z pomiarów, że strumień mionów kosmicznych (na jednostkę powierzchni $dx \times dy$ i jednostkę czasu) przychodzących z danego kierunku na niebie (mierzzonego kątem zenitalnym Θ) z jednostki kąta bryłowego to:

$$f(\varphi) \sim \cos^2(\Theta)$$

i to już wszystko, co musimy wiedzieć.

$$\int d\Omega dS \times f(\Theta) =$$

$$\int dx_d \int dy_d \int dx_g \int dy_g \left((x_g - x_d)^2 + (y_g - y_d)^2 + h^2 \right)^{-1} \times \cos(\Theta) \times f(\Theta) \quad (1)$$

Wygląda to trochę strasznie, ale nie lękajmy się. Pomyślmy, czy aby nie da się dokonać jakiś oszacowań, przybliżeń, które mogłyby uprościć nasze rachunki i jednak powiedzieć nam, czego z grubsza powinniśmy się spodziewać.

Po pierwsze uznajmy, że wszystkie kawałki podziału dolnego detektora są w zasadzie w tym samym miejscu,

- oglądają one wszystkie kawałki górnego detektora z tej samej mniej więcej odległości.
- pod mniej więcej takim samym kątem.
- każdy z nich zajmuje mniej więcej taki sam kąt bryłowy.

„Efektywny kąt” bryłowy (d), w jakim górny detektor jest widziany przez „średni element” detektora dolnego to z grubsza pole powierzchni górnego detektora S podzielone przez kwadrat „efektywnej odległości” między detektorami (b). „Efektywnie odległość” jest rzecz jasna większa niż h , ale jest też i mniejsza od $\sqrt{h^2 + (x^2 + y^2)}$ (długa przekątna prostokąta). Przyjmijmy, że jest bliska $\sqrt{h^2 + 1/2(x^2 + y^2)}$. Dokładność tego przybliżenia zależy od tego, jak blisko są detektory. Im bliżej, tym gorzej.

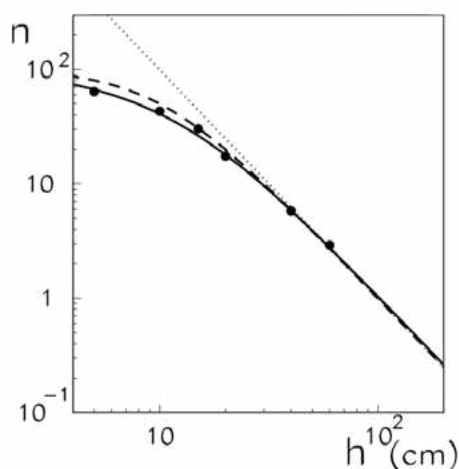
Dokładne oszacowanie wartości „efektywnego kąta zenitalnego” (c) nie ma większego znaczenia, jako że i tak większe wartości obcinane są przez czynnik $\cos^2(\Theta)$. Powoduje to, że najczęściej i tak widzimy cząstki prawie pionowe, a dla cząstek prawie pionowych, dla kątów bliskich 0° , funkcja cos zmienia się niewiele. Możemy spokojnie przyjąć, że kąt ten to 15° .

Założeniach (a) stwierdza, że wszystkie małe przyrosty do całości we wzorze (1) są takie same, nie zależą od konkretnych położenia każdego elementu górnego (x_g, y_g) i dolnego detektora (x_d, y_d), a w takim przypadku całkowania (sumowania) sprowadzają się do pomnożenia przez siebie pól powierzchni detektora górnego i dolnego, a że są one takie same mamy w wyniku kwadrat pola powierzchni detektorów $(x \times y)^2$.

No i podsumowując to wszystko otrzymujemy zamiast całej całki w (1) prosty wzór dający oszacowanie liczby koincydencji rejestrowanych teleskopem dwu prostokątnych liczników $10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ ustawionych jeden nad drugim:

$$n \sim (x \times y) \times (x \times y) / (h^2 + 1/2(x^2 + y^2)) \times \cos^2(15^\circ) \quad (2)$$

Porównanie wyników otrzymanych z przybliżonego wzoru (2) (linia przerywana) i dokładnego całkowa-



nia (1) (linia ciągła) pokazano na wykresie. Narysowano też zależność $1/h^2$ której spodziewalibyśmy się naiwnie przyglądając się definicji kąta bryłowego (linia kropkowana). Należy zaznaczyć, że wykres ten został sporządzony w skalach logarytmicznych. Obie osie pokazują nie wartości n i h , a ich logarytmy (dziesiętne). Zostało to zrobione po to, aby pozbyć się czynników stałych (jak na przykład $\cos^2(15^\circ)$) i czynników normalizujących. Jak wiemy $\log_{10}(A+B) = \log_{10} A + \log_{10} B$, z czego wynika, że wykresy można dowolnie przesuwając w pionie. Tu poprzysuwane zostały tak, aby dla dużych wartości h zgadzały się ze sobą (normalizacja: $n=1$ dla $h=100!$). Widać, po pierwsze, że nasz przybliżony wzór jest całkiem dokładny. Po drugie widać też, że prosta zależność $1/h^2$ pracuje w sumie nie najgorzej, jeśli tylko odległość między detektorami jest większa od ich rozmiarów i to im większa, tym lepiej.

Na wykresie tym nanieśliśmy też wartości zmierzone przy użyciu detektorów projektu „Kosmos widziany z Łodzi”. Jak widać eksperyment i teoria zgadzają się pięknie, co specjalnie nas nie dziwi.

Projekt „Kosmos widziany z Łodzi” jest dofinansowany ze środków budżetu Państwa (SONP/SN/516075/2021)

LITERATURA

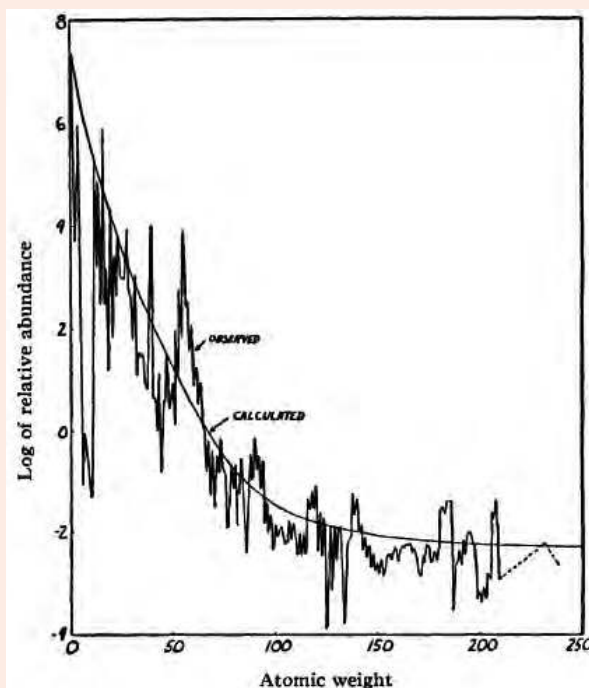
- [1] B. Rossi (August 1930). „On the Magnetic Deflection of Cosmic Rays”. *Phys. Rev.* **36** 606 (1930).
- [2] T. H. Johnson, „The Azimuthal Asymmetry of the Cosmic Radiation”. *Phys. Rev.* **43** 834 (1933); L. Alvarez, A. H. Compton, „A Positively Charged Component of Cosmic Rays”. *Phys. Rev.* **43** 835 (1933); B. Rossi, „Directional Measurements on the Cosmic Rays Near the Geomagnetic Equator”. *Phys. Rev.* **45** 212 (1933)
- [3] P. Freier, E. Lofgren, E. Ney, F. Oppenheimer, H. L. Bradt, B. Peters, B. Evidence for Heavy Nuclei in the Primary Cosmic Radiation *Phys. Rev.* **74**, 213 (1948).
- [4] Freier, E. Lofgren, E. Ney, F. Oppenheimer, *The Heavy Component of Primary Cosmic Rays* *Phys. Rev.* **74** 1818 (1948)
- [5] H. L. Bradt and B. Peters, „Investigation of the Primary Cosmic Radiation with Nuclear Photographic Emulsions”. *Phys. Rev.* **74** 1828 (1948)
- [6] H. L. Bradt and B. Peters the Heavy Nuclei of the Primary Cosmic Radiation *Phys. Rev.* **77**, 54 (1950)
- [7] L. Spitzer *On the Origin of Heavy Cosmic-Ray Particles* *Phys. Rev.* **76**, 583 (1949)
- [8] G. Lemaître *Cosmological Application of Relativity* *Rev. Mod. Phys.* **21**, 357 (1949)
- [9] H. Alfvén *Versuch zu einer Theorie über die Entstehung der kosmischen Strahlung. II* *Zeitschrift für Physik* **105**, 319 (1937).
- [10] H. Alfvén, R. D. Richter, E. Teller, *On the Origin of Cosmic Rays* *Phys. Rev.* **75**, 892 (1949)
- [11] R. D. Richtmyer and E. Teller *On the Origin of Cosmic Rays* *Phys. Rev.* **75** 1728 (1949)
- [12] H. Alfvén *On the Solar Origin of Cosmic Radiation* *Phys. Rev.* **75**, 1732 (1949)
- [13] H. L. Bradt and B. Peters, *Abundance of Lithium, Beryllium, Boron, and Other Light Nuclei in the Primary Cosmic Radiation and the Problem of Cosmic-Ray Origin* *Phys. Rev.* **80**, 943 (1950)
- [14] Enrico Fermi *On the Origin of the Cosmic Radiation*, *Phys. Rev.* **75** 1169 (1949)
- [15] F.W. Clarke, *The relative abundance of the chemical elements* *Bull. Phil. Soc. Washington* **11**, 131 (1889)
- [16] F.W. Clarke, *The data of Geochemistry*, U.S. Geological Survey Bulletin 616, (1915)
- [17] W. D. Harkins, *The Changes of Mass, and Weight Involved in The Formation of Complex Atoms*. *Amer. Chem. Soc.* **37**, 1367 (1915); *The Periodic System and The Properties of The Elements. (FIFTH Paper on Atomic Structure)* *Amer. Chem. Soc.* **38**, 169 (1916); *Energy relations involved in the formation of complex atoms* *Phil. Mag.* **30**, 723 (1915); *The Structure of Complex Atoms and the Changes of Mass and Weight Involved in Their Formation*. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **1**, 276 (1915); *The Abundance of the Elements in Relation to the Hydrogen-Helium Structure of the Atoms* *Proc. Nat. Acad. Sci.* **2**, 216 (1916); *The Evolution Of The Elements And The Stability Of Complex Atoms. I. A New Periodic System Which Shows a Relation Between the Abundance of The Elements and The Structure of The Nuclei of Atoms* *Amer. Chem. Soc.* **39**, 856 (1917)
- [18] H.N. Russell, *On the Composition of the Sun's Atmosphere* *Astroph. J.* **70**, 11 (1929).
- [19] H. Brown, *A Table of Relative Abundances of Nuclear Species* *Rev. Mod. Phys.*, **21**, 625 (1949)
- [20] R.A. Alpher, H. Bethe i G. Gamow, *The Origin of Chemical Elements* *Phys. Rev.* **73**, 803 (1948)
- [21] E. M. Burbidge; G. R. Burbidge; W. A. Fowler; F. Hoyle. *Synthesis of the Elements in Stars* *Rev. of Modern Physics.* **29** 547 (1957)

Kwestia składu chemicznego Słońca czy Układu Słonecznego (co na jedno prawie wychodzi), ogólniej: składu Wszechświata jest osobnym tematem zasługującym na oddzielną opowieść. W skrócie powiedzmy tylko, że na początku XX wieku wraz z burzliwym rozwojem całej fizyki zanotowano istotny postęp także w interesującej nas kwestii.

W 1889 roku Frank Wigglesworth Clarke wygłosił referat zatytułowany „O względnym rozpowszechnieniu pierwiastków chemicznych”. Była to pierwsza w pełni współczesna próba eksperymentalnego podejścia do problemu składu głównie skorupy ziemskiej wraz z całą wodą i atmosferą na dodatek [15]. Badania swoje kontynuował on w latach następnych i w roku 1915 ogłosił ostateczne rezultaty [16]. Jeśli przyjąć, że ilość tlenu to 100 (normalizacja!), to wodoru jest 2, krzemu 52, a żelaza 6.4.

Wyniki te próbował teoretycznie interpretować William Draper Harkins tworząc oryginalną teorię i systematykę jąder atomowych [17]. Warto pamiętać, że w jego czasach nie wiedzano jeszcze nic o neutronie, a możliwość istnienia atomów różniących się masą jądra, a posiadających takie same własności chemiczne, czyli, jakbyśmy dziś powiedzieli, po prostu różnych izotopów tego samego pierwiastka, zaczęła pojawiać się i to bardzo nieśmiało dopiero po roku 1913.

Prace Harkinsa spowodowały wzrost zainteresowania omawianą tematyką. W roku 1929 ukazała się praca Henry’ego Norrisa Russella [18], w której wyznaczył on w oparciu o spektroskopowe obserwacje astronomiczne skład chemiczny gwiazd. Podstawowym wnioskiem jaki z tego wyciągnął było to, że tak materia gwiazd (w tym i Słońca), jak i Ziemi czy meteorytów jest w gruncie rzeczy bardzo podobna. Przy ilości tlenu równej 100, węgla mamy 34, azotu 72, krzemu 1,4. Inni też prezentowali swoje analizy, nie wnosząc one jednak nic szczególnie nowego. Dopiero koniec lat 40 nastąpił istotny postęp, a to za sprawą prac Harrisona Browna [19]. Zanim jednak do tego doszło w roku 1948 opublikowana została jednostronnicowa praca, która przeszła do historii jako „ $\alpha\beta\gamma$ ”.



Autorami jej byli R.A. Alpher, H. Bethe i G. Gamow, a nosiła ona krótki i znaczący tytuł „*Pochodzenie pierwiastków*” [20]. Tak narodziła się współczesna nukleosynteza.

Ponad czwartą część tego artykułu stanowi rysunek przedstawiający krzywą rozpowszechnienia pierwiastków, zaczerpniętą z kompilacji Goldschmidta z roku 1937 porównaną z dopasowaną przez autorów krzywą teoretyczną (patrz rysunek). W roku 1957 ukazała się inna pomnikowa praca znana powszechnie jako B²FH [21]. Na ponad 100 stronach Margaret Burbidge, jej brat Geoffrey Burbidge, William A. Fowler i Fred Hoyle wyjaśnili, w jaki sposób powstały wszystkie znane nam pierwiastki. I choć praca ta ma już swoje lata, wszystko, co w niej zostało napisane jest ciągle słuszne i cytowana jest ona po dziś dzień, a przez te wszystkie lata dodawano do niej tylko niewielkie w sumie uzupełnienia.

Co w fizyce piszczy

Fotografia z narodzin gwiazd

Należący do NASA Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba uchwycił bujny, bardzo szczegółowy krajobraz – kultowe Filary Stworzenia – gdzie nowe gwiazdy formują się w gęstych obłokach gazu i pyłu. Trójwymiarowe filary wyglądają jak majestatyczne formacje skalne, ale są znacznie bardziej przepuszczalne. Kolumny te składają się z chłodnego międzygwiazdowego gazu i pyłu, które wydają się – czasami – półprzezroczyste w świetle bliskiej podczerwieni.

Nowe spojrzenie Webba na Filary Stworzenia, które po raz pierwszy

stały się sławne, gdy zostały sfotografowane przez Kosmiczny Teleskop Hubble’a w 1995 roku, pomoże naukowcom zmienić modele powstawania gwiazd, identyfikując znacznie dokładniejsze liczby nowo powstałych gwiazd, wraz z ilościami gazu i kurzu w regionie. Z biegiem czasu zaczną lepiej rozumieć, w jaki sposób gwiazdy powstają i wybuchają z tych pyłowych obłoków na przestrzeni milionów lat.

Foto – NASA



Niezwykły świat kwantów

Historia fizyki kwantowej zaczęła się 14 grudnia 1900 roku, kiedy to Max Planck¹ na posiedzeniu Niemieckiego Towarzystwa Fizycznego wygłosił referat zatytułowany „O teorii prawa rozkładu energii w widmie ciała czarnego”.² Ową teorię oparł na założeniu, że proces emisji i absorpcji energii odbywa się porcjami wyrażonymi wzorem: $E = h\nu$, gdzie h to stała nazwana potem *stałą Plancka* lub *kwantem działania*.³ Jej wartość to $6,626176(36) \cdot 10^{-34}$ Js.

Waldemar Reńda

Bodźcem do stworzenia tej teorii, była informacja uzyskana od jednego z uczonych, że wzór Wiena nie daje zgodności z otrzymanym doświadczalnie wykresem rozkładu energii w widmie promieniowania ciała doskonale czarnego.⁴ Było to 7 października 1900 r. Planck natychmiast zaczął pracę nad uzyskaniem poprawnego wzoru, który podał już 19 października tegoż roku na konferencji wyżej wymienionego Towarzystwa.

Czysta teoria

Teoria kwantowania energii promieniowania była początkowo traktowana jako czysto teoretyczna (matematyczna) hipoteza wyjaśniająca jedynie ów wykres rozkładu energii. Uważano bowiem, że zgodnie z teorią Maxwella, promieniowanie elektromagnetyczne ma charakter ciągły

i że światło, jako fala elektromagnetyczna, emitowane jest tak samo, a źródłem tej emisji są drgające ładunki w atomach lub cząsteczkach.

Pojawiła się zatem sprzeczność, którą zajął się A. Einstein. W 1905 r. stwierdził on, że światło, w odróżnieniu od fali radiowej, emitowane jest porcjami, które nazwał *fotonami*,⁵ będącymi owymi kwantami energii. Przypisał im nie tylko energię wg wzoru Plancka, ale i pęd: $p = h/\lambda$. Przy okazji wyjaśnił zjawisko fotoelektryczne, podał wzór na energię kinetyczną fotoelektronu: $E_k = h\nu - W_{\text{wyjścia}}$ oraz sformułował prawa rządzące tym zjawiskiem. Za prace nad teorią fotonową światła i wyjaśnienie praw rządzących zjawiskiem fotoelektrycznym w roku 1921 Einstein otrzymał Nagrodę Nobla.⁶

Teorie te nie wyjaśniały jednak, jak powstają owe fotony. Nie mogły one bowiem być emitowane przez nieustannie drgające ładunki w atomach czy cząsteczkach, gdyż powodowałoby to szybki zanik owych drgań.⁷

¹ Max Planck (1858-1947), Niemiecki uczyony, profesor uniwersytetu w Berlinie. Wykładał fizykę teoretyczną. Nagroda Nobla 1919 r. Dodam, że jeden z jego synów zginął pod Verdun w 1916 r, a drugi w 1944 r. został stracony za udział w spisku na Hitlera. Zob. też: A. K. Wróblewski, 200 uczonych w anegdocie, Księga I i II, Świat Książki, Warszawa 2010.

² Zob. A. K. Wróblewski, *Historia fizyki*, WN PWN, Warszawa 2006, s. 428 i następne.

³ Z jęz. łac. *quantum* = pewna wielkość, ilość, porcja.

⁴ Ciało, które pochłania i emituje całe widmo promieniowania elektromagnetycznego. Ciałem o zbliżonych właściwości jest dobrze znana nam sadza.

⁵ Z jęz. łac. *photos* = świetlisty.

⁶ Zjawisko to od strony doświadczalnej badał Amerykanin R. A. Millikan (1868-1953) za co w 1923 r. otrzymał nagrodę Nobla. On też w 1910 r. jako pierwszy wyznaczył wartość ładunku elektronu oraz wartość stałej Plancka.

⁷ Krążący wokół dodatniego jądra elektron jest elektrycznym oscylatorem harmonicznym. A jako taki, zgodnie z prawami Maxwella, powinien emitować falę elektromagnetyczną.

A więc jak? Na to pytanie starał się znaleźć odpowiedź Niels Bohr.⁸ W rozwiązaniu tego problemu pomógł mu dobrze nam znany, a otrzymany przez Balmera, wzór,⁹ a także hipoteza Rutherforda dotycząca budowy atomów oraz teoria Plancka o kwantowej emisji energii. Bohr przypuszczał, że teoria Plancka powinna dotyczyć emisji światła przez atomy wodoru.¹⁰

Jak ów atom funkcjonuje?

Jeżeli atom wodoru składa się z dodatniego jądra (protonu) i elektronu, który znajduje się poza jądrem, to – aby nie spadł na nie, a jest przyciągany przez jądro siłami elektrycznymi – musi się poruszać tak, jak to się dzieje w przypadku planet krążących dookoła Słońca. Ponadto atom jest stabilny, zatem nie może obowiązywać teoria Maxwella. Wzór Balmera podsunął mu pomysł, że elektron może poruszać się po kilku ściśle określonych orbitach i że emisja światła zachodzi przy zmianie owych orbit. Ale jakie to mogą być orbity? Nie znalazłem opisu rozumowania Bohra, ale domyślam się, że wg niego powinny to być orbity, na których ów elektron ma całkowity moment pędu: $p = mvr$ oraz, że ów pęd powinien być wielokrotnością jakiejś stałej, w której wystąpi stała Plancka h . Zaproponował następujący warunek kwantyzacji orbit: $mvr = n \cdot h/2\pi$. Był to pierwszy sygnał, że w mikroświecie rządzi nieco inne prawa niż w świecie makro.

Kilka zdań uzupełnienia

Zgodnie z postulatem Bohra orbity elektronu są kwantowane, a liczbę n nazywamy główną liczbą kwantową. W przypadku wodoru podaje ona numer orbity elektronu, a w atomach wieloelektrodowych – numer powłoki, a w chemii – okresu układu okresowego pierwiastków. Potem pojawiły się kolejne liczby kwantowe jak orbitalna l związana z kształtem orbity (orbitalu), magnetyczna m z ustawieniem orbity elektronu względem zewnętrznego pola magnetycznego oraz spinowa s związana z ustawieniem własnego momentu pędu względem momentu orbitalnego. Decydują one o liczbie elektronów w danej powłoce: $N = 2n^2$. Powłoki owe oznacza się literami: K, L, N, O, P, Q, R, S, przy czym maksymalne ilości elektronów w danej powłoce wynoszą kolejno: 2, 8, 32, 32, 18, 8. Ostatnie elektrony, zwane elektronami walencyjnymi, decydują o własnościach chemicznych i fizycznych danego pierwiastka.

Wprawdzie model atomu wg N. Bohra nazywamy modelem planetarnym, ale porównanie nie jest dobre, gdyż elektrony nie krążą w tej samej płaszczyźnie jak planety, ale krążą w różnych płaszczyznach. Przypomina to raczej zwoje włóczki nawinięte na kulisty motek, z tym, że ich

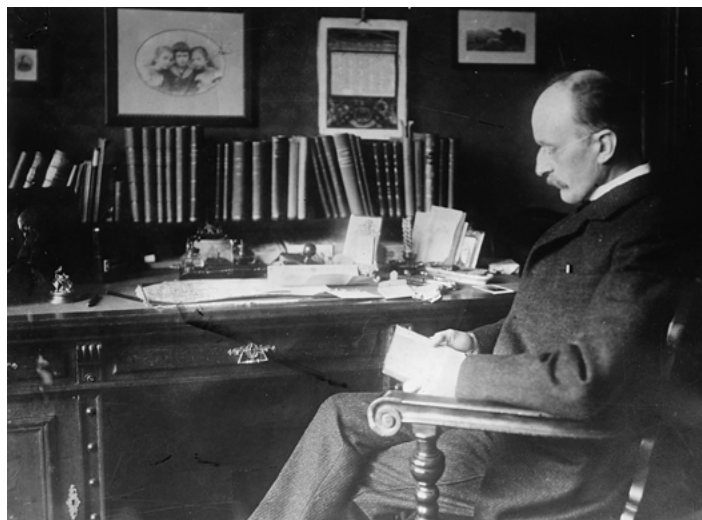
przestrzenne ustawienie jest też kwantowane. A jak, to informuje nas o tym właśnie magnetyczna liczba kwantowa. Dodatkowo obsadzeniem elektronów w poszczególnych powłokach rządzi zasada Pauliego, orzekająca, że w danym atomie nie może być dwóch elektronów o tych samych liczbach kwantowych.¹¹

Aby opisać ruch elektronu w atomie wodoru, należy znać promień jego orbity. Aby zaś obliczyć ów promień, należy skorzystać z równań: klasycznego: $mv^2/r = ke^2/r^2$ oraz kwantowego N. Bohra: $mvr = n \cdot h/2\pi$, gdzie k to stała pola elektrycznego równa $1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

Znając masę elektronu i jego ładunek, można obliczyć zarówno promienie kolejnych orbit, jak i pozostałe wartości wielkości fizycznych dotyczące położenia i ruchu elektronu na danej orbicie. Po obliczeniu energii całkowitej tego elektronu na kolejnych orbitach, można pokazać, że różnice tej energii pomiędzy trzecią a drugą, czwartą a drugą, piątą a drugą oraz szóstą a drugą orbitą dają wartości energii fotonów serii Balmera, co potwierdza słuszność teorii Bohra.¹²

Dlaczego liczby całkowite?

Niestety, nadal nie było wiadomo, dlaczego tak „zachowuje się” elektron, jak to opisuje równanie Bohra. Nad tym problemem zaczął się zastanawiać francuski fizyk-teoretyk Louis de Broglie.¹³ Po pierwsze wydawało mu się dziwne, że położeniom orbit wodoru odpowiadają liczby całkowite. A ponieważ jedynym zjawiskiem fizycznym, w którym występuje ta cecha jest zjawisko drgań własnych struny, w wyniku których powstaje fala stojąca



Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), foto – wikimediacommons

⁸ Niels Bohr (1885-1962), duński uczony. Nagroda Nobla w 1922 r. Dodam, że jego syn Age Bohr otrzymał Nagrodę Nobla (1975 r.) za opracowanie powłokowego modelu jądra atomowego, który wyjaśniał szczególną trwałość niektórych jąder.

⁹ Johan Balmer (1825-1898), szwajcarski uczony, matematyk. Jego pasją była numerologia. Jeden ze znajomych fizyków, znając jego pasję, podsunął mu pomysł, by znaleźć zależność pomiędzy długościami fali światła w widmie wodoru. Balmer znalazł ją jako iloczyn pewnej stałej i różnicy odwrotności kwadratów kilku liczb całkowitych. Ogłosił to w 1884 na posiedzeniu Szwajcarskiego Towarzystwa Przyrodniczego.

¹⁰ Dotyczy to również emisji światła przez swobodne atomy innych pierwiastków a także ich cząsteczki. Piszę o tym w dalszej części tej pracy.

¹¹ Wolfgang Pauli (1900-1958) – profesor fizyki teoretycznej w ETH w Zurychu znany był z nadmiernego krytycyzmu i wywyższania się. Dlatego nie był lubiany w gronie fizyków.

¹² Zobacz zadania na końcu tej pracy.

¹³ Fizyk L. V. P. R. de Broglie (1892-1960) pochodził z francuskiego rodu książęcego.



Budowa atomu, graficzna wizja, foto – Adobe Stock Foto



Fale kwantowe, graficzna wizja, foto – Dreamstime

z ilością węzłów wyrażonych liczbą całkowitą, wysunął hipotezę, że poruszający się elektron zachowuje się jak fala, a orbita stacjonarna występuje wówczas, gdy owa fala jest falą stojącą, bo każda inna uległaby wygaszeniu. Rozumując dalej, doszedł do wniosku, że i na odwrót: owym einsteinowskim fotonom należy przypisać cechę korpuskularności. Zaproponował też zależność pomiędzy pędem cząstki a długością fali towarzyszącej tej cząstce: $p = h/\lambda$ i równocześnie pomiędzy długością fali fotonu i jego pędem: $\lambda = h/p$.

Hipoteza ta wyjaśniała zarówno zjawisko fotoelektryczne i comptonowskie rozpraszanie fotonów gamma na elektronach. A zatem nie mamy już osobno cząstki masowej (korpuskuły) i fotonowej fali, ale jeden obiekt, będący falocząstką. Mało tego, przy okazji de Broglie przewidział, że elektrony otrzymywane np. w promieniach katodowych, przy przejściu przez cienką warstwę monokryształu, powinny ulegać interferencji podobnej do tej, którą obserwujemy przy przejściu światła przez siatkę dyfrakcyjną.¹⁴ Zaproponował, by zbadano to zjawisko, bo sam nie był doświadczalnikiem. Jednym z uczonych, którzy postanowili sprawdzić słuszność tej hipotezy i uzyskać interferencję elektronów był G. P. Thomson – syn J. J. Thomsona odkrywcy elektronu jako swobodnej cząstki. G. P. Thomson swoje oświadczenie przeprowadził w 1927 roku, a w 1937 r. otrzymał za to Nagrodę Nobla.¹⁵

Ale wróćmy do atomu wodoru. Jeżeli założymy, że każdej dozwolonej orbicie elektronu odpowiada stojąca fala de Broglie'a, to równanie Bohra powinno spełniać ten warunek. Pomnóżmy więc je obustronnie przez 2π oraz podzielmy przez mv . Otrzymamy wówczas: $2\pi r = n \cdot h/mv = n \cdot h/p$. Po lewej stronie mamy wzór na obwód koła, a po prawej wielokrotność długości fali de Broglie'a. Znaleźliśmy zatem rozwiązanie zagadki i potwierdzenie słuszności hipotezy Bohra.

Niespodzianki

W fizyce bywa tak, że zdawałoby się proste rozwiązania kryją jakieś niespodzianki. Tak było i tym razem. Najpierw okazało się, że daną linię widmową tworzą fotony o nieco zróżnicowanej energii. Problemem tym zajął się Schrödinger.¹⁶ Swoje rozumowanie oparł na falowych właściwościach elektronu. W jego równaniu znalazła się funkcja falowa, której kwadrat amplitudy informował o prawdopodobieństwie wystąpienia cząstki w danym punkcie przestrzeni. Tak więc nie ma orbit o ściśle określonym promieniu, ale rodzaj chmury ładunku otaczającej jądro atomu. Okazało się nawet, że istnieje niezerowe prawdopodobieństwo pojawienia się elektronu tak blisko jądra, że może on być pochłonięty przez to jądro. Zjawisko to nazywamy wychwytem K, jako że elektron ten pochodził z pierwszej orbity. Zjawisko to pojawia się jedynie w atomach o bardzo dużej liczbie elektronów. Zachodzi wówczas reakcja jądrowa postaci: $p + e = n + \nu$.

Równanie Schrödingera nastrocza jednak pewne trudności interpretacyjne. Pokażę to na przykładzie zjawiska interferencji światła jednobarwnego pochodzącego z punkтового źródła. Jeżeli przyjmiemy, że światło jest falą ciągłą, taką jak np. fala na powierzchni wody, to powiemy, że w wyniku interferencji pojawiły się ciągi wzmoceń i zaniku tej tali, co objawia się takim a nie innym obrazem uzyskanym na ekranie. Ale światło składa się z fotonów. Czy to oznacza, że fotony interferują wzajemnie? A co by było, gdybyśmy wysyłali kolejno pojedyncze fotony? Czy one też utworzą obraz interferencyjny? Jeżeli tak, to czy interferowały one same ze sobą, przechodząc równocześnie przez obie szczeliny? Nie wiemy też, dlaczego owa funkcja falowa dokonuje kolapsu w danym punkcie ekranu lub w punkcie kliszy fotograficznej, na którą padł foton?¹⁷ Jeżeli przechodzi równocześnie przez oba otwory, to umieszczone tam detektory

¹⁴ Zjawisko to występuje również przy rozpraszaniu elektronów na powierzchni monokryształu, która działa wówczas jak odbiciowa siatka dyfrakcyjna.

¹⁵ Podobne doświadczenia wykonali Amerykanie E. G. Dymond oraz C. J. Davisson wraz z L. Germerem.

¹⁶ Erwin Schrödinger (1887-1961), prof. fizyki w Zurychu a potem w Berlinie. Po dojściu Hitlera do władzy wyjechał do Dublina.

¹⁷ Foton zostaje pochłonięty przez cząsteczkę bromku srebra i wywołuje jej rozpad.

powinny to zarejestrować, ale foton powstaje punktowo i punktowo jest pochłaniany. Zatem foton przechodzi tylko przez jedną ze szczelin, choć nie wiemy przez którą. Podobnie jest z owym nieszczęsnym kotem Schrödingera, który nie jest równocześnie żywy i martwy, lecz albo żywy, albo martwy. Ale o tym można się przekonać dopiero wtedy, gdy to sprawdzimy.¹⁸

Splątanie kwantowe

Warto w tym momencie wspomnieć o tak zwanym *splątaniu kwantowym*. Powstaje ono wtedy, gdy uzyskamy równocześnie dwie cząstki różniące się kwantowo. Mogą to być np. dwa fotony spolaryzowane w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach,¹⁹ czy też dwa bliźniacze elektrony o przeciwnych spinach powstałych np. w wyniku kreacji z fotonu gamma. Jeżeli takie dwie cząstki wyślemy do dwóch nawet bardzo odległych obserwatorów, to gdy będą oni od nas w tej samej odległości, to otrzymają oni pewną informację. Po sprawdzeniu, jaki jest stan kwantowy cząstki, która do nich dotarła, mogą

bowiem dowiedzieć się, jaki jest stan kwantowy cząstki u tego drugiego obserwatora. Nie oznacza to jednak, że możemy w sposób natychmiastowy przesyłać informacje pomiędzy tymi obserwatorami, bo ewentualna informacja biegnie od nadawcy, a nie pomiędzy obserwatorami.

Czy można ominąć problemy interpretacyjne związane z teorią Schrödingera? Przyjrzyjmy się zatem teorii Heisenberga²⁰ i nierównościom wynikającym z jego zasady nieoznaczoności. Oto one: $\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$ oraz: $\Delta E \cdot \Delta t \geq h/4\pi$. Z pierwszej nierówności wynika, że nie można równocześnie i dowolnie dokładnie wyznaczyć położenia cząstki oraz jej pędu. Wynika stąd, że jeżeli będziemy zmniejszać szerokość szczeliny, to równocześnie rośnie niepewność pędu tej cząstki. Czyli coraz mniej wiemy o tym, w którą stronę będzie się ona poruszała. Jest to znane nam zjawisko dyfrakcji.²¹ I dotyczy ono zarówno fotonów jak i skolimowanej wiązki elektronów. Oznacza to również, że każdy pomiar musi być obciążony różną od zera niepewnością.

Druga nierówność stwierdza, że nie można równocześnie dowolnie dokładnie wyznaczyć energii cząstki i czasu,

¹⁸ Takie przykłady mają uatrakcyjnić przekaz, ale mogą działać odwrotnie. Mogą bowiem zniechęcić czytelnika do zapoznania się z daną dziedziną nauki, uważając ją za irracjonalną.

¹⁹ Powstają np. przy rozłożeniu światła spolaryzowanego kołowo.

²⁰ W. C. Heisenberg (1901-1976), profesor fizyki teoretycznej w Lipsku i Berlinie. W 1927 r. sformułował *zasadę nieoznaczoności*. W 1932 r. otrzymał nagrodę Nobla.

²¹ Korzystając z pierwszej nierówności, można otrzymać znany wzór opisujący zjawisko interferencji: $\sin \alpha_n = n\lambda/d$. Oznacza to, że obie teorie są w zasadzie równoważne.



Splątanie kwantowe, graficzna wizja, foto – Adobe Stock Foto

W następnych wydaniach polecamy m.in.

• Małe reaktory modułowe przyszłością energetyczną Polski

Polityka międzynarodowa dryfująca w kierunku odejścia od energii pozyskiwanej ze źródeł węglowych w celu zmniejszenia globalnej emisji dwutlenku węgla powoduje, że coraz intensywniej poszukiwane są inne źródła energii niskoemisyjne i mało odpadowe. Jednym z takich wyborów ma być energetyka jądrowa, co do której istnieje po dziś dzień wiele kontrowersji.

• Niezwykła pionierska, wynalazczyni i badaczka Hertha Ayrton

Na przełomie XIX i XX wieku tworzyli i działali tacy innowacyjni ludzie jak Nikola Tesla, Thomas Edison i Alexander Bell. Ale często pomijany nazwiskiem jest Hertha Ayrton.

w którym ta cząstka ma daną energię. Fakt ten pozwala obliczyć np. czas wzbudzenia atomu, przed emisją fotonu. Jak wiemy, foton fioletu ma większą energię niż foton czerwieni. Zgodnie więc z powyższą nierównością, czas „pobytu” elektronu na szóstej orbicie atomu wodoru jest krótszy niż na trzeciej.

A co powoduje, że ów elektron znalazł się na wyższej orbicie? Przyczyną jest uzyskana energia z zewnątrz. Może to nastąpić np. w wyniku zderzeń atomów wodoru wywołanych ich ruchem cieplnym lub pochłonięciem fotonu o energii odpowiadającej różnicy energii pomiędzy dozwolonymi orbitami atomu.²²

Dlaczego szkło jest przezroczyste?

I tu pojawia się odpowiedź na pytanie: dlaczego szkło jest przezroczyste, a metale – nie? Otóż dlatego, że absorpcja fotonów – podobnie jak ich emisja – ma charakter kwantowy, a w świecie kwantów obowiązuje zasada: „wszystko, albo nic”. To znaczy, że jeżeli energia fotonu nie odpowiada żadnej z energii wykorzystywanej przez atom lub cząsteczkę do emisji fotonów, to ten atom lub cząsteczka nie pochłonie tego fotonu, a substancja składająca się z tych atomów lub cząsteczek jest przezroczysta dla tych fotonów. W przypadku szkła mamy do czynienia z cząsteczkami, w których występują silne wiązania atomowe i by owe cząsteczki wzbudzić do wyższego stanu energetycznego, należy użyć fotonów o odpowiednio dużej energii. I tak np. szkło okienne jest przezroczyste dla światła widzialnego, ale pochłania ultrafiolet.²³

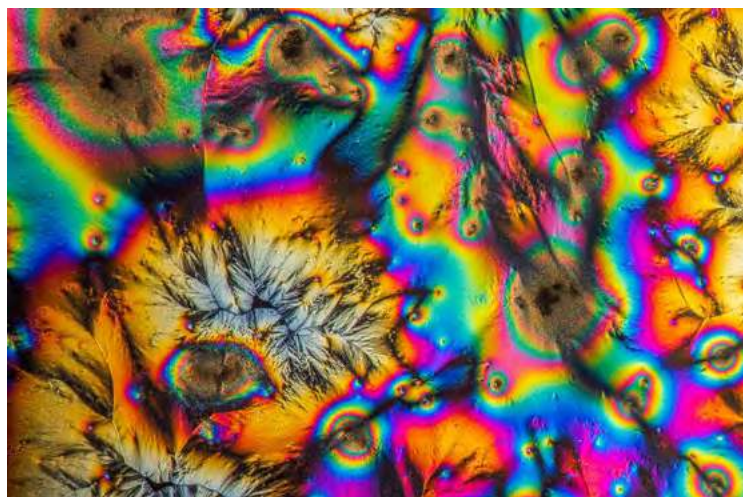
A dlaczego metale są nieprzezroczyste?²⁴

Jak wiemy, w metalach istnieją swobodne elektrony, które mogą mieć dowolne energie. Mogą zatem pochłaniać (absorbować) fotony o dowolnej energii, choć promienie gamma mogą przez nie przenikać a ochroną przed nimi jest dopiero odpowiednio gruba warstwa ołowiu.

Wiemy, że dana substancja pochłania takie fotony, jakie sama może emitować. Świadczy o tym fakt występowania widm absorpcyjnych analogicznych do ich widm emisyjnych.

Kilka słów widmach

Mało się mówi w programach szkolnych o widmach pasmowych. Widma te uzyskujemy, rozkładając światło emitowane przez pobudzone do świecenia związki chemiczne. W przypadku cząsteczek mamy jednak do czynienia z nieco innym mechanizmem. Otóż cząsteczki danego związ-



Polaryzacja światła na kryształach witaminy C, foto – Adobe Stock Foto

ku mogą wykonywać kilka rodzajów ruchu. Mówimy, że mają pewną ilość stopni swobody. I tak np. cząsteczka dwuatomowa ma ich pięć. Zgodnie z zasadą ekwipartycji energii na każdy stopień swobody przypada ta sama porcja energii. Trzy stopnie dotyczą ruchu postępowego, a dwa pozostałe ruchu obrotowego względem dwóch wzajemnie prostopadłych osi przechodzących przez środek masy cząsteczki i prostopadłych do osi tej cząsteczki.²⁵ Zmiany częstotliwości rotacji cząsteczki nie zachodzą liniowo, ale również kwantowo i stąd owe widma pasmowe.²⁶ Fotony emitowane przez owe cząsteczki mają niewielkie energie i widmo leży w dalekiej podczerwieni.

Atomy w cząsteczce mogą również drgać wzdłuż jej osi. Energia tych drgań jest również skwantowana. W tym przypadku otrzymane widma nazywamy widmami oscylacyjnymi i są także widmami pasmowymi. A ponieważ energie oscylacji są zwykle większe od energii rotacji, zatem widma te leżą w płytszej podczerwieni. Badanie widm liniowych pozwala na określanie składu chemicznego ciał, a nawet odległych gwiazd.²⁷

Charakterystycznym dla zjawisk falowych zjawiskiem jest polaryzacja. W przypadku światła zachodzi ona np. na powierzchni ciała przezroczystego i tak, że wiązka padająca i załamana są spolaryzowane w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych. Przy czym maksymalna polaryzacja jest wówczas, gdy między tymi wiązkami występuje kąt 90°. Polaryzację światła można również otrzymać, przepuszczając światło przez odpowiedni polaryzator.²⁸

²² Zob. też: „pompowanie optyczne” wykorzystywane w laserach.

²³ Łatwo się o tym może przekonać ten, kto nosi okulary fotochromatyczne. Nie możemy się więc opalać za okienną szybą. Dodam, że ultrafiolet przepuszcza szkło kwarcowe i dlatego stosowane jest ono w tzw. kwarcówkach.

²⁴ Bardzo cienkie folie ze złota są częściowo przezroczyste. Odbijają długofalową część widma i stąd ich barwa, a pochłaniają i częściowo przepuszczają część krótkofalową. Dlatego w prześwicie otrzymujemy barwę zieloną.

²⁵ Nie uwzględnia się obrotu cząsteczki wokół jej własnej osi, bo nie istnieje mechanizm nadania cząsteczce tego typu ruchu. A gdyby nawet zaistniała taka możliwość, to ze względu na nikły moment pędu cząsteczki względem tej osi, cząsteczka – chcąc mieć energię wynikającą z zasady ekwipartycji – musiałaby wykonywać obroty z ogromną – w tym przypadku niemożliwą do uzyskania częstotliwością.

²⁶ Nazwa pochodzi stąd, że linie widmowe są dość blisko siebie i tworzą pasma.

²⁷ Analiza widmowa.

²⁸ Może to być warstwa emulsji z odpowiednio uporządkowaną (polem elektrycznym) strukturą cząsteczek chininy. Dodam, że rozproszone w atmosferze fotony fioletu są również spolaryzowane. Najlepiej zjawisko to obserwować w odległości ok. 90° od słońca. Można tu użyć filtru polaryzującego, jaki zakłada się na obiektyw aparatu fotograficznego. Dodam, że owo rozproszenie odbywa się na mikrofluktuacjach gęstości powietrza i potwierdza fotonową strukturę światła.

Dodam, że swoistą polaryzację elektronów (uporządkowanie spinów) można otrzymać, przepuszczając ich wiązkę przez dostatecznie silne i odpowiednio uformowane pole magnetyczne.

I jeszcze słów kilka o korpuskularnych właściwościach fotonów. Objawiają się one w zjawisku Compton²⁹ oraz w fakcie, że fotony wytwarzają nacisk na powierzchnię, na którą padają.

Poprzednio napisałem, że wiązka elektronów też może ulegać interferencji. Jak zatem owa interferencja przebiega w tym przypadku? Elektron w promieniach katodowych porusza się z prędkością bliską prędkości światła, zatem ma nieporównywalnie większy pęd niż foton światła widzialnego. Ze wzoru de Broglie'a wynika, że fala towarzysząca mu jest znacznie krótsza niż mają fotony światła widzialnego. Wynika stąd, że stała sieci dyfrakcyjnej musi być znacznie mniejsza niż stała siatek dyfrakcyjnych używanych do uzyskiwania interferencji światła widzialnego. Taką siatką jest np. sieć krystaliczna monokryształu.

Kilka ciekawych obliczeń

Zacznijmy od ciśnienia wywołanego fotonami.

W przypadku, gdy promieniowanie słoneczne pada prostopadłe na powierzchnię całkowicie pochłaniającą promieniowanie, to wartość tego ciśnienia można obliczyć ze wzoru: $p = C_s/c$, gdzie C_s to tzw. stała słoneczna. W przypadku Ziemi (poza atmosferą) ma ona wartość $1368 \text{ J/m}^2\text{s}$. Natomiast c to prędkość światła równa $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Wstawiając te dane do powyższego wzoru, otrzymamy wartość $456 \cdot 10^{-8} \text{ Pa}$. Zatem na powierzchnię 1000 m^2 promieniowanie to wywiera nacisk równy $4,56 \text{ N}$. W przypadku całkowitego odbicia będzie to $9,12 \text{ N}$. Jest to niewiele, ale wystarczy, by np. skierować warkocz komety w przeciwną stronę od Słońca.

Parę danych dotyczących atomu wodoru:

Z równań: $mv^2/r = ke^2/r^2$ oraz $mvr = n \cdot h/2\pi$ można obliczyć wszystkie parametry ruchu elektronu na poszczególnych orbitach dozwolonych.

Oto niektóre dane dla pierwszej orbity (stan podstawowy):

1) $r = 0,53 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ i jego wartość rośnie z kwadratem n

Porównajmy tę wartość z promieniem protonu $1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$.

Jeżeli powiększylibyśmy proton do wielkości orzecha włoskiego ($r = 1,2 \text{ cm}$) i umieścili na środku płyty stadionu piłkarskiego, to elektron krążyłby w odległości 500 m , czyli daleko poza koronę stadionu.

2) $\omega = 4,1 \cdot 10^{16} \text{ rad/s}$, $v = 2,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$

Obie te wartości wskazują na to, że trudno mówić o konkretnym położeniu elektronu na orbicie i że tworzy on raczej chmurkę ładunku otaczającą jądro atomu, a nie coś podobnego do naszego układu planetarnego, choć

można się doszukać pewnych analogii, jeżeli chodzi o odległości. Wynika stąd wniosek, że atom jest prawie pusty. Nic więc dziwnego, że różnego rodzaju promieniowanie przenika przez materię dość swobodnie.

A teraz energie. Elektron na pierwszej orbicie ma energię całkowitą równą $-21,76 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ i jej bezwzględna wartość maleje z kwadratu liczby n , osiągając w końcu wartość równą zero. Jeżeli zatem elektron, będąc w stanie podstawowym, otrzyma porcję energii równą lub większą od tej wartości, to atom ulega jonizacji.

Obliczając energie całkowite elektronu na kolejnych sześciu poziomach i ich różnice w stosunku do poziomu drugiego, można stwierdzić, że odpowiadają one energiom fotonów tworzących widmo liniowe wodoru (seria Balmera). Inne serie leżą bądź w nadfiolecie (seria Lymana) lub w podczerwieni (serie Paschena, Bracketta i następne). Granicą każdej serii jest energia jonizacji atomu wodoru z danego poziomu.

A z kolei coś o czasie trwania wzbudzenia atomu.

Posłużę się tu drugą nierównością Heisenberga i obliczę czas trwania wzbudzenia atomu wodoru emitującego foton czerwony ($\lambda = 6563 \cdot 10^{-10} \text{ m}$). Energia tego fotonu:

$$E = hc/\lambda = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} : 6563 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Wstawiając tę wartość do nierówności: $\Delta E \cdot \Delta t \geq h/4\pi$, otrzymamy:

$$\Delta t \geq h/4\pi \Delta E = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} : 4\pi \cdot 3 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 0,176 \cdot 10^{-15} \text{ s}$$

I jeszcze kilka pytań, które mogą posłużyć do ciekawej dyskusji na lekcji fizyki.

Oto one:

1. Co się dzieje z elektronem po przejściu z jednego stanu wzbudzenia na drugi? Gdzie po pewnym czasie powinien się znaleźć elektron?

2. Dlaczego mimo tak krótkiego czasu wzbudzenia, ciała mogą świecić w sposób ciągły?

3. Dlaczego przy ogrzewaniu żelaznego pręta najpierw świeci on barwą czerwoną, a w miarę wzrostu jego temperatury owa barwa staje się coraz bardziej biała?

4. Dlaczego światło uzyskane z rozżarzonej spiralki żarówki tworzy widmo ciągłe?

5. Oblicz λ fali de Broglie'a towarzyszącej pociskowi o masie 8 g , który porusza się z prędkością 700 m/s i odpowiedz na pytanie, czy jest sens stosować prawa kwantowe do obiektów makroskopowych?

Waldemar Reńda,
Olkus, listopad 2022 r.

²⁹ A. H. Compton (1892-1962), amerykański uczonec, profesor fizyki na uniwersytecie w St. Louis, badał rozpraszanie promieni X na niektórych kryształach i zauważył, że oprócz fotonów o tej samej długości co fotony padające, pojawiają się fotony o dłuższej fali, a więc o mniejszej energii. Wywnioskował, że nastąpiło nieelastyczne zderzenie fotonu z elektronem. Wyniki swych prac opublikował w 1923 r., a już w roku 1927 otrzymał za tę pracę nagrodę Nobla. Jego prace ostatecznie przesądziły o słuszności korpuskularno-falowej teorii budowy materii.

Żywoty fizyków

Joseph Henry, Jr.
(1797-1878)

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

Tadeusz Wibig

Miał ciężkie dzieciństwo. Był synem ubogich szkockich emigrantów osiadłych w Albany, w stanie Nowy Jork. Ojciec Henry'ego był niestety alkoholikiem i z tego względu 8 lub 9 letni Joseph odesłany został do babci do Galway, gdzie pobierał pierwsze nauki w szkole, która dziś nosi jego imię. Po śmierci ojca w 1811 r. wrócił do Albany i został czeladnikiem u pana Dotiego zegarmistrza i złotnika.

Zapewne dlatego, że lubił czytać, postanowił wtedy zostać aktorem i otrzymał nawet w tym względzie pewne propozycje, ale ta sama miłość do literatury pchnęła go ku naukom ścisłym. Przeczytał bowiem książkę Georga Gregory'ego *Lectures on Experimental Philosophy, Astronomy, and Chemistry; Intended Chiefly for the use of Students and Young Persons*. Za namową przyjaciół w 1819 wstąpił do Albany Academy, gdzie załatwił sobie zwolnienie z czesnego. Oczywiście na utrzymanie się musiał pracować. Najczęściej jako prywatny nauczyciel. Dziś powiedzielibyśmy, że żył z korepetycji.

W Akademii studiował przez trzy lata i zakończył te studia z wyróżnieniem. Dla zdobycia funduszy na dalszą naukę wystarał się o posadę w wiejskiej szkole. Za wstawiennictwem dyrektora Akademii Theodrica Romeyna Becka Henry w 1823 r. został w Akademii zatrudniony jako asystent. Przez jakiś czas, ponieważ jego mentor był ustosunkowanym i znanym lekarzem, zastanawiał się, czy nie zacząć specjalizować się w medycynie. Na szczęście w 1826 r. Beck wysunął kandydaturę Henry'ego na profesora matematyki i filozofii przyrody w Akademii i na tym stanowisku Henry rozpoczął badania w stosunkowo nowej wtedy dziedzinie, jaką było badanie związku prądu elektrycznego z magnetyzmem.

Jego pierwszym znaczącym osiągnięciem naukowym było udoskonalenie elektromagnesu Williama Sturgeona, co osiągnął zarówno poprzez izolację poszczególnych zwojów, jak i opracowanie technologii tworzenia uzwojeń wielowarstwowych. Zbudował najpotężniejszy elektromagnes tamtych czasów dla uniwersytetu w Yale (stąd nazwa *The Yale Magnet*). Mógł on unieść ponad 300 kg!

Latem 1831 roku Henry zaprojektował i zbudował potężny magnes dla firmy *Penfield & Taft Ironworks* w Crownpoint (później Ironville) mający służyć do wzbo-



gacania rudy żelaza. Było to pierwsze przemysłowe zastosowanie elektryczności w ogóle.

W tymże samym 1831 roku Henry zaprezentował światu pierwszy skonstruowany przez siebie telegraf, czyli urządzenie do przesyłania sygnałów na duże odległości. W tym wypadku była to odległość 2.4 km. Jako naukowiec nie pomyślał o opatentowaniu tego pomysłu. Rok później zainteresował się ideą Henry'ego niejaki Samuel Finley Breese Morse, profesor malarstwa i rzeźby na Uni-



Oryginalny elektromagnes Henry'ego

wersytecie Miasta Nowy York i w 1835 wymyślił alfabet Morsa, a dwa lata później uzyskał patent na telegraf elektromagnetyczny.

Początek lat 30 XIX wieku był dla Jamesa Henry'ego z naukowego punktu widzenia niezwykle płodny. Korzystając z wiedzy, jaką zdobył w budowaniu i używaniu elektromagnesów zbudował silnik elektryczny [*On a Reciprocating Motion Produced by Magnetic Attraction and Repulsion*. Silliman's American Journal of Science and Arts, **20**, 1831, 340] Był on mało praktyczny, jedynie wahał się, ale to zawsze coś.

W lipcu 1832 roku Henry opublikował wyniki swoich najważniejszych prac, eksperymentów nad „samoindukcją”. Publikacja ma zaledwie 7 stron [*On the production of currents and sparks of electricity from magnetism*, Silliman's American Journal of Science and Arts **22**, 1832, 403] i zapewniła mu stałe miejsce w układzie jednostek SI. Jednostkę indukcyjności **henr** oficjalnie zaakceptowała XI Generalna Konferencja Miar w Paryżu w roku 1960.

Henr jest to indukcyjność takiego obwodu, w którym prąd o natężeniu 1 ampera wytwarza strumień magnetyczny o wartości 1 webera.

lub inaczej mówiąc:

henr, H, jednostka indukcyjności w układzie SI; jest to indukcyjność obwodu, w którym indukuje się siła elektromotoryczna 1 V, gdy prąd elektryczny w tym obwodzie zmienia się jednostajnie o 1 A w czasie 1 s;

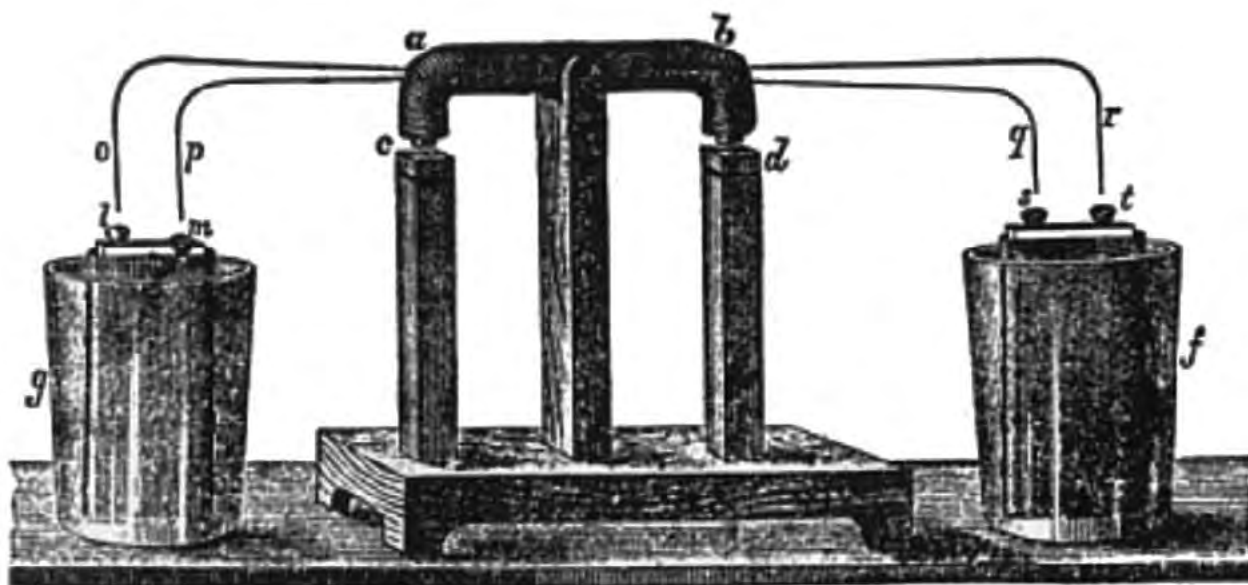
W roku 1832 Henry został profesorem filozofii naturalnej w Collage of New Jersey dziś znanym jako *Princeton University*. W Princeton eksperymentował dalej z prze-

syłaniem sygnałów elektrycznych pomiędzy budynkami (mógł „zadzwoić” z pracy do domu!) i zbudował też elektromagnes o udźwigu półtorej tony! Z innych prac wypada wymienić badanie plam słonecznych, studia w zakresie akustyki i eksperymentalne prace w zakresie balistyki.

Kolejny etap kariery Henry'ego wiązał się z pewnym odległym i smutnym wydarzeniem z roku 1829. W Genui zmarł wtedy niejaki James Smithson, urodzony w Paryżu Brytyjczyk, przede wszystkim chemik i mineralog, odkrywca smitsonitu (nikt inny smithsonitu odkryć przecież nie mógł!) znany jednak nie z tego, co zrobił za życia, a z tego, co stało się po jego śmierci. Majątek Smithsona odziedziczył jego bratanek, który zmarł bezdzietnie w roku 1835. W takiej sytuacji, którą Smithson w przenikliwości swojej także przewidział „...majątek mój przepisuję Stanom Zjednoczonym Ameryki, aby założyć w Waszyngtonie, pod nazwą Smithsonian Institution, instytucji służącej zwiększaniu i propagowaniu wiedzy wśród ludzi.”

Kongres Stanów Zjednoczonych powołał oczywiście do życia Smithsonian Institution. Powołano też wybitną radę z poleceniem znalezienia najlepszego człowieka, który stałby na czele nowej Instytucji jako jej sekretarz. Rada zaproponowała tę posadę Henry'emu. W 1846 roku Henry został pierwszym sekretarzem Smithsonian Institution i funkcję tę pełnił do śmierci w roku 1878 budując i utwierdzając wiodącą rolę tej instytucji w życiu naukowym Ameryki.

Jego program naukowy w Smithsonian doprowadził do utworzenia *U.S. Weather Bureau* (później *Bureau* zmieniono na *Service*) instytucji do dziś zajmującej się z powodzeniem między innymi przewidywaniem pogody. Był też jednym z tych, którzy doprowadzili do powstania w 1863 roku *National Academy of Sciences* i wybrany został w 1868 r. na jej drugiego prezesa. W czasie wojny secesyjnej Henry był jednym z głównych doradców technicznych prezydenta Lincolna.



Silnik Henry'ego

Doświadczenie domowe:**Samoindukcja****A. Potrzebne materiały**

1. Bateria 9 V,
2. Neonówka,
3. Transformator dzwonkowy,
4. Kabelki.

B. Narzędzia – lutownica z materiałami do lutowanie, choć można się i bez niej obejść.**C. Kolejność czynności**

1. Do uzwojenia pierwotnego transformatora przylutowujemy neonówkę i dłuższe kabelki do połączenia baterii wg schematu.

2. Połączymy obwód (zamkniemy klucz na schemacie, albo zwyczajnie połączymy baterię do uzwojenia) i obserwujemy neonówkę – nic się nie dzieje.

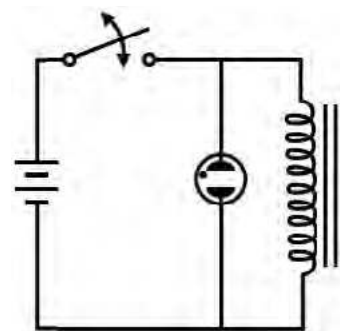
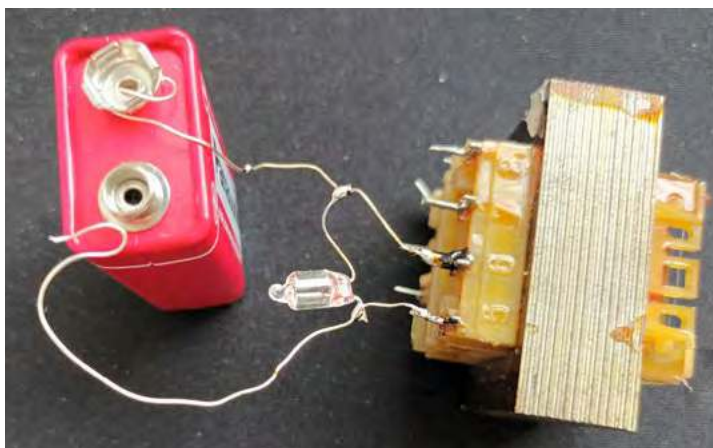
Aby neonówka się zapaliła potrzebne jest napięcie kilkudziesięciu woltów.

3. Rozłączamy obwód (otwieramy klucz, albo odłączamy baterię) i obserwujemy neonówkę – powinna na chwilę zabłysnąć.

4. Dla pewności możemy powtórzyć punkty 2 i 3.

Wniosek:

Indukcyjność uzwojenia transformatora powoduje na chwilę pojawianie się na jego końcówkach, tam, gdzie przyłączyliśmy neonówkę, napięcia przekraczającego kilkadziesiąt woltów.



Isidor Isaac Rabi – fizyk noblista z Galicji

mgr Rafał **Simon**

Urodził się 29 lipca 1898 roku w Rymanowie (Galicja dawny zabór Austro-Węgierski), a zmarł 11 stycznia 1988 r. (w wieku 89 lat) w Nowym Jorku, USA. Był on amerykańskim fizykiem – noblistą pochodzenia polsko-żydowskiego.

Jego ojciec w rok po jego narodzinach wyemigrował za ocean do USA (był on projektantem mody), a później po czterech latach dołączyła do niego żona z synkiem – Isidorem.

Rabi w roku 1927 ukończył studia chemiczne na Cornell University, a następnie fizykę na Columbia University, gdzie w roku 1929 uzyskał doktorat a w roku 1937 został profesorem tej uczelni. Pochodził z bardzo skromnego środowiska. Już po zdaniu pracy dyplomowej z powodu złego odżywiania się – miał ubytki w uzębieniu.



W środowisku naukowym współpracował z N. Bohrem, O. Sternem i W. Heisenbergiem. Podczas swojej pracy naukowej na uczelni: kiero-

wał grupą zajmującą się konstrukcją radaru, później był członkiem komisji ds. energii atomowej a w latach 1952-1956 – jej przewodniczącym. Był m.in. pomysłodawcą stworzenia międzynarodowego laboratorium CERN w Genewie.

Zajmował się głównie fizyką jądrową, mechaniką kwantową i magnetyzmem. W 1930 roku rozpoczął badania nad siłami wiążącymi protony w jądrze atomowym. Jego największym życiowym dokonaniem było opracowanie metody pozwalającej na mierzenie właściwości magnetycznych jąder atomowych – za co w roku 1944 otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki.

W roku 1971 odwiedził swój rodzinny Rymanów. W całym swoim życiu sprzeciwiał się budowaniu bomby wodorowej. Jego hobby to było podróżowanie oraz chodzenie do teatru.

Jedna z przyczyn niechęci do nauki

Jerzy Kuczyński

Od pewnego czasu coraz częściej pojawiają się przecone książki. Niestety, często to są książki bardzo dobre tyle, że dość mało popularne. I tak parę tygodni temu kupiłem książkę J. Życińskiego „Elementy filozofii nauki”. Przeczytałem i pewnym żalem zauważyłem, że to bardzo porządna książka i szkoda, że nie miała czytelników.

Książka uświadomiła mi, że większość z tego co znajdziemy u arcybiskupa¹ powinno należeć do podstawowego zakresu wykształcenia nauczyciela. A powód jest bardzo prosty. Otóż jak wszyscy widzimy żyjemy w okresie zdecydowanie antynaukowym a ogólniej antyintelektualnym. I niestety w znacznej mierze za ten stan rzeczy odpowiada nauczanie fizyki. Czytając podręczniki szkolne do fizyki (a los zdarzył, że musiałem bardzo uważnie przeczytać prawie wszystkie z tych co obowiązywały przez ostatnie 20 lat), że gdybym się z nich uczył to pewnie fizykę omijałbym z dużej odległości. Po prostu ze szkolnych podręczników do fizyki bije dość prymitywny dogmatyzm i samozadowolenie z „potęgi nauki”.

Współczesny uczeń, mający dostęp do wielu źródeł informacji bez trudu zauważa liczne sprzeczności między nauką szkolną a otaczającą go rzeczywistością. I nie byłoby w tym nic złego. Sprzeczności to naturalna cecha

rzeczywistości, więc jest całkowicie normalne, że docierające do nas strumienie informacji są ze sobą sprzeczne. Niestety wynika dopiero stąd, że szkolna fizyka charakteryzuje się brakiem wątpliwości.

Jeszcze kilkanaście lat temu nie było źle. Obowiązywała tzw. spiralna edukacja – uczeń uczył się tego samego na różnych poziomach edukacyjnych. Za każdym razem w nieco bardziej zaawansowany sposób. W miarę inteligentny uczeń wyciągał z tego oczywisty wniosek – szkolna wiedza jest bardzo uproszczona i sprymitywizowana. I oczywiście zaczynał rozumieć, że i na studiach uczy się uproszczonej i nieco spreparowanej „ad usum Delphini”² wiedzy.

Do granic aktualnego poznania dochodzi (powinien dochodzić!) dopiero doktorant i to jedynie w bardzo wąskim wycinku nauki. Oczywiście parę lat po obronie, jeżeli nie będzie zajmować się pracą naukową, owe granice szybko uciekają.

Taki obraz nauki powinien w naturalny sposób powstawać w umyśle ucznia, skutecznie chroniąc przed dogmatyzmem. Niestety w dzisiejszej szkole znajdziemy prosty przekaz – jest tak, a ty młody człowieku nie dyskutuj! I oczywiście inteligentny uczeń nie dyskutuje. Potakuje, ale swoje myśli, niestety przenosząc szkolny obraz na całą naukę. Stąd też i powszechność zwolenników teorii płaskiej ziemi, antyszczepionkowców itp.

¹ Józef Życiński był Metropolitą Lubelskim. Rzecz charakterystyczne, czytając książkę nie czuć śladów jego zawodu. Po prostu rzetelna fachowość nie dopuszcza mieszania różnych sfer życia.

² Książki z tym nadrukiem służyły do kształcenia młodocianego Ludwika XIV. Były odpowiednio ocenzone nadruk służył do tego by ktoś postronny nie pomyślał, że to oryginalne dzieła literatury. Jak się zdaje braku tych wydań z nadrukiem i praktycznie uzupełniały damy dworu.

Oczywiście to nie tylko wynik niskiego poziomu intelektualnego szkolnej nauki. Nakłada się na to marne dziennikarstwo (w tym i naukowe³) i zalew zupełnie niekontrolowanych mediów społecznościowych.

Co powinien robić nauczyciel?

Wg mnie przede wszystkim przeczytać i przemyśleć kilka książek o nauce. Mam tu na myśli jakiś podręcznik filozofii nauki, taki jak choćby książka Arcybiskupa oraz jakąś porządną historię nauki. W ostatniej kwestii na pewno można spokojnie polecać książki A. K. Wróblewskiego (plus jakaś historia astronomii). Przy czym książki o historii nauki warto czytać krytycznie. Nie by szukać błędów autora, ale zastanawiając się nad przyczynami błędów popełnianych przez twórców nauki. Czytając krytycznie o historii nauki łatwo zauważymy, że wielcy twórcy nauki popełniali z naszego punktu widzenia śmieszne, wręcz dziecinne błędy. A byli to tytani intelektu. Stąd prosty wniosek i nasza współczesna wiedza jest pełna absurdalnych błędów, które za kilkadziesiąt lat będą nadawać się jako teksty kabaretowe. Ale dopiero za kilkadziesiąt lat (i dla fachowców!).

Do pewnego stopnia przed bezmyślnym przyjmowaniem współczesnego obrazu fizyki chroni elementarna znajomość filozofii nauki. Stąd warto w skróty sposób pewne jej elementy przedstawić. Przede wszystkim regułę, że najskuteczniejszym sposobem dotarcia do prawdy jest procedura zbliżona do sądowej. A więc stawiamy przeciw sobie „prokuratora” oraz „adwokata” i każemy⁴ im się spierać. W przypadku nauki odpowiednikiem tego procesu jest publikacja (poprzedzona recenzją!) a sędzią czytelnicy. Praca, która okazuje się użyteczna jest cytowana i wchodzi do powszechnej świadomości naukowców danej dziedziny.

Tu warto powiedzieć coś na temat pojęcia prawdy. Otóż przypisywana Arystotelesowi definicja prawdy to „*veritas est adequatio rei et intellectus*”, czyli prawdą nazywamy stan zgodności naszych poglądów z rzeczywistością. Oczywiście gdyby znać rzeczywistość to nie trzeba by się zajmować nauką. Stąd sama definicja niewiele znaczy. Potrzebne są kryteria prawdy. Jaką więc prawdą jest prawda nauki? Nie jest trudno to ustalić, choć dla porównania warto podać dwa inne standardowe kryteria.

Otóż bodaj najstarszym kryterium prawdy jest, przypisywane Kartezjuszowi, kryterium oczywistości albo jasności – prawdą jest to co jasno i oczywiście rozumiemy. Nie jest to złe kryterium, szczególnie użyteczne w matematyce (przekonujące dowody!) ale bardzo często w nauce i w życiu codziennym potrafi zawodzić⁵.

Równie, a może i bardziej pożyteczne jest kryterium koherencji. Kryterium to stwierdza, że prawda nie może wchodzić w konflikt z żadnymi „prawdziwymi” zdaniami. Inaczej mówiąc prawda jest tylko jedna i by wyklu-

czyć jakiś pogląd wystarczy wskazać uznany za prawdziwy pogląd sprzeczny z danym.

Niestety i to kryterium jest tylko częściowo użyteczne i często oszukuje. Po prostu na granicach naszej wiedzy, czyli w badaniach naukowych wszystkie poglądy (prace naukowe) są wątpliwe. Dlatego, nawet gdy rzeczywiście prawda jest tylko jedna (co jest wątpliwe), kryterium często zawodzi.

Jaką prawdą jest prawda nauki?

Chyba najbliższej jej do tzw. pragmatycznej definicji prawdy. W praktyce naukowiec czyta artykuł i musi zdecydować czy uznać go za prawdziwy. Jeżeli przesłanie artykułu się do czegoś przydaje to się go cytuje. A ogół przyjmuje, że mocno cytowany artykuł jest prawdziwy⁶. I w ten sposób prawdą się staje to co użyteczne.

Nie trzeba dodawać, że taki sposób ustalania prawdy, *de facto* przez głosowanie, może i często prowadzi do błędów. Jednak zwykle w ograniczonej skali czasowej. Nietrudno zauważyć, że konkretna nawet bardzo dobrze cytowana praca powoli wyczerpuje możliwości inspiracyjne, i po paru latach zwykle już nie prowadzi do sugestii nowych prac. Jeszcze jest zdawkowo cytowana, ale coraz rzadziej. Nie od rzeczy jest zauważyć, że dzieje się tak z całym zespołem wzajemnie cytowanych prac. Zespół ten przestaje „być w modzie”. Mówiąc językiem Imre Lakatosa⁷ reprezentowany przez te prace program badawczy się degeneruje. Czasem zostawia trwały ślad w nauce jak np. mechanika Newtona, a często znika bez śladu pozostając tylko w zainteresowaniu historyków nauki jak np. wiry Kartezjusza.

W świetle powyższych stwierdzeń nie jest niczym dziwnym, że wśród twierdzeń współczesnej nauki jest mnóstwo bzdur, zwłaszcza że współczesny świat, łatwo ulegając modom i chęć na wysokie cytowania, na wiele lat może popłynąć w bzdurne kierunki. Tym niemniej nie ma lepszego sposobu na dochodzenia do prawdy niż wspomniana metoda wyboru przez ogół naukowców. Tym bardziej, że każdy indywidualnie stosuje kryterium oczywistości i koherencji i nie daje się łatwo naciągnąć na wątpliwe pomysły. Dlatego te ostatnie utrzymują się jedynie albo w bardzo mało istotnych fragmentach nauki albo tam, gdzie z jakichś powodów nie da się skontaktować z rzeczywistością przy pomocy doświadczenia.

Należy jednak podkreślić, że pojedyncze nawet bardzo łatwo mierzalne fakty sprzeczne z teorią (tzw. anomalie) nie powodują porzucenia teorii. Tu przykładem służy średnica Księżyca. Zgodnie z ptolemejskim modelem Księżyc w czasie miesiąca synodycznego powinien zmieniać odległość względem Ziemi co powinno skutkować około dwukrotną zmianą jego średnicy kątovej⁸. Każdy kto czasem spogląda na Księżyc wie, że nie ma takiego efektu. Przez

³ Nawet w tak się renomowanych czasopismach jak „Świat Nauki” czy „Wiedza i Życie” w każdym numerze można znaleźć stwierdzenia jawnie sprzeczne z rzeczywistością. Najczęściej próba ządania sprostowania kończy się milczeniem.

⁴ Nawet w procesach kanonizacyjnych konieczny jest *advocatus diaboli*! Oczywiście jeżeli proces ma być uczciwy.

⁵ Jak zawiodło Immanauela Kanta, gdy przyjmował istnienie zdań analitycznych *a priori*.

⁶ Z ilościowego, a więc charakterystycznego dla nauki, punktu widzenia „ma sporą zawartość prawdy”. Stąd i powszechne, choć krytykowane, próby oceny nauki i naukowców przez ilość cytowań.

⁷ Nie czytałem głównych prac Lakatosa (coś czytałem, ale w pamięci zostało mi niewiele). Więc to co tu piszę znam jedynie z opracowań.

⁸ M. Hoskin, „Historia astronomii”.

prawie półtora tysiąca lat o tym wiadano a system Ptolemeusza był w użytku. I nie ma co się dziwić – był użyteczny do obliczania położenia ciał niebieskich i z powodu paru anomalii (pewnie znalazłoby się więcej niż tylko Księżyc) użytecznej teorii nie porzucono.

Jak widać pragmatyczna teoria prawdy zawsze królowała w nauce. Powoduje to, że typowej sytuacji naukowcy nie podważają zasad i dopracowują szczegóły obowiązującego systemu. To tzw. „normal science” wg Thomasa Khuna⁹. Dopiero gdy system przestaje przynosić efekty (coraz trudniej uzyskać zdalny do publikacji wynik) zaczynamy się rozglądać za czymś nowym. I taką sytuację nazywa się rewolucją naukową. Dokąd jednak nie ma konieczności próbuje się wyjaśnić pojawiające się anomalie w ramach systemu. Lakatos nazywa to tworzeniem „pasa ochronnego”. Jak z tego widać często pojawiające się twierdzenie, że teorie należy falsyfikować, czyli próbować znajdować fakty z nią sprzeczne¹⁰ nie zgadza się z praktyką naukową. W szczególności anomalie (w umiarkowanej ilości) nie obalają teorii.

Jak przedstawiać fizykę w szkole?

Można więc teraz podsumować jak powinno się przedstawiać fizykę w szkole. Przede wszystkim należy podkreślać, że wprawdzie nauka nie jest wolna od błędów i pomyłek jednak jest najbardziej pewna spośród wszystkich

rodzajów ludzkiej działalności. Podkreślenie, że znajdziemy w niej liczne błędy powinno wskazywać, że w innych rodzajach działalności jest ich odpowiednio więcej i to normalna sytuacja. Uczeń powinien na lekcjach poznawać kryteria prawdy. A więc kryterium oczywistości, to głównie na matematyce (znaczenie dowodu!).

W każdej dziedzinie, a więc i w fizyce powinno się podkreślać znaczenie koherencji. Dlatego z pojedynczego doświadczenia nie możemy **niczego wnioskować!** Dopiero fakt potwierdzenia przez inne doświadczenia pozwala nabrać przekonania, że model jest dobry¹¹.

I w końcu najmocniejszy argument za poprawnością nauki – pragmatyzm. Prawie wszystkie urządzenia techniczne powstałe w ciągu ostatniego stulecia to wynik działalności naukowej. Jeszcze w XIX i na początku XX stulecia zdarzali się wynalazcy. Potem to już był wynik zorganizowanej działalności naukowej. Jeżeli zdarza się sukces finansowy (b. rzadki) firmy zaczynającej działalność „od garażu” to twórcą takiej firmy jest z zasady człowiek zaczynający od pracy naukowej, który w jej trakcie zobaczył swoją szansę w wynalazku. Podkreślając taki udział nauki w naszym codziennym życiu mamy szansę wzbudzić do nauki zaufanie. Natomiast próbując podkreślać jej pewność możemy co najwyżej wzbudzać niechęć¹².

Jerzy Kuczyński

Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach

⁹ T. Khun, „Struktura rewolucji naukowych”.

¹⁰ Ten pogląd pochodzi od Karla R. Poppera i jest przedstawiony w książce „Logika odkrycia naukowego”. Jest bardzo popularny, ale w praktyce oznacza tylko tyle, że nie są naukowe teorie „niewywołne” czyli takie, w które wbudowane są mechanizmy uniemożliwiające znalezienie faktów z nimi sprzecznych. Sam Popper jako typowo niewywołne przedstawiał marksizm i psychoanalizę.

¹¹ Tu znajduje się chyba największy z grzechów szkolnej fizyki. Na lekcjach fizyki, z pojedynczych doświadczeń wyciąga się daleko idące wnioski ucząc wiary w pojedyncze i przypadkowe argumenty. Nic więc dziwnego, że w efekcie takiej działalności dostajemy zwolenników płaskiej Ziemi.

¹² Bardzo dobrze ilustruje to krótka opowieść zamieszczona jako motto w „Zniewolonym umyśle” Czesława Miłosza: „Jeżeli dwóch kłóci się, a jeden ma rzetelnych 55 procent racji, to bardzo dobrze i nie ma się o co szarpać. A kto ma 60 procent racji? To ślicznie, to wielkie szczęście i niech Panu Bogu dzięki! A co by powiedzieć o 75 procentach racji? Mądrzy ludzie powiadają, że to bardzo podejrzane. No a co o 100 procent? Taki co mówi, że ma 100 procent racji, to paskudny gwałtownik, straszny rabuś, największy łajdak”.

Lęk przed błędem

W nauczaniu matematyki w szkołach panuje lęk przed popełnieniem błędu, może dobrze byłoby czasem przyznać, że czegoś nie wiemy - uważa laureatka Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki, kanadyjska uczona prof. Donna Strickland.

„Rzecz, którą chciałabym zmienić w systemie edukacji, jeśli chodzi o uczenie matematyki jest to, że w szkole uczy się tego, co było wiadomo już wcześniej, a potem sprawdza się, jak dobrze się tego nauczył. Tymczasem uprawiając naukę mierzysz się cały czas z tym, czego nie wiadomo. Może powinniśmy czasem przyznać, że nie wiemy więcej, niż wiemy” – powiedziała prof. Donna Strickland podczas konferencji prasowej w Katowicach. Współodkrywczynie metody generowania impulsów laserowych o dużej intensywności prowadziła gościnne wykłady w Uniwersytecie Śląskim w Katowicach, oraz spotykała się ze wspólnotą akademicką i mieszkańcami woj. śląskiego.

Jej zdaniem strach przed popełnieniem błędu zabija ciekawość. „Dobrze jest czasem przyznać, że nie wiemy, i że mylić się też jest dobrze, a potem weryfikować to pod-

czas eksperymentu, który też może pokazać, że się mylimy, ale trzeba próbować. Myślę, że warto byłoby takie przekonanie zaszczyć w systemie edukacji” – dodała.

Przyznała, że była przerażona utratą zaufania wielu ludzi do nauki, którą dało się zauważyć podczas pandemii. „Nie wiem, jak dotarliśmy do tego punktu ze świata, w którym ludzie słuchali naukowców i wierzyli im. Przyczyniła się do tego sytuacja ze złym, niewłaściwym uprawianiem nauki – kiedy w świat poszła wieść o rzekomym związku między szczepieniami a autyzmem. Niestety, to zostało podchwyczone przez media i świat rozrywki, a ludzie słuchają teraz raczej ludzi rozrywki, niż naukowców. Zawiodła nie tylko komunikacja, nie wywiązaliśmy się dobrze z zadania edukowania społeczeństwa. Naukowcy muszą zacząć tłumaczyć, jak przebiega proces naukowy, że zdarzają się błędy, ale są poprawiane. Warto byłoby powołać instytucje, które pomogą zbudować społeczne zaufanie do nauki” – powiedziała noblistka, związana od 1997 r. z Uniwersytetem w Waterloo w Kanadzie.

PAP – Nauka w Polsce

Uczyć jak Wolfke...

czyli o praktycznym i interdyscyplinarnym podejściu do dydaktyki fizyki

Ewelina Agnieszka Kędzierska

Podejść do dydaktyki fizyki jest, de facto, tyle, ilu nauczycieli. Każdy z nas chce w jak najlepszy sposób przekazać wiedzę młodemu pokoleniu. Nie ma jednak idealnego przepisu, jak uczyć, bo każdy uczeń, każda klasa czy szkoła różni się od siebie znacząco. Chcąc osiągnąć sukces, oprócz obserwacji klasy i dostosowania metod do wiedzy i poziomu uczniów, dobrze jest podpatrywać innych, bardziej doświadczonych dydaktyków. A takich w historii fizyki znajdziemy wielu.

Rok 2022 został ogłoszony przez Polskie Towarzystwo Fizyczne, Polskie Stowarzyszenie Fotoniczne, Komitet Fizyki Polskiej Akademii Nauk oraz Politechnikę Warszawską rokiem Mieczysława Władysława Wolfkego. Ten wybitny, aczkolwiek zapomniany fizyk, oprócz tego, że przynajmniej trzykrotnie zasłużył na Nagrodę Nobla, był również wspaniałym dydaktykiem. Co było jego kluczem do sukcesu? Postaramy się temu przyjrzeć. Wcześniej jednak zapoznajmy się krótko z jego życiem i dokonaniem.

Blisko nauki

Mieczysław Wolfke urodził się 29 maja 1883 roku w Łasku koło Łodzi [1], gdzie też spędził kilka pierwszych lat swojego życia. Chłopak dorastał w atmosferze umiłowania nauki. Jego ojciec, Karol Juliusz Wolfke, był inżynierem drogowym. Mieczysław od najmłodszych, wykorzystując drewniane klocki, naśladował konstrukcje budowane przez tatę. Matka, oprócz zajmowania się domem (jak przystało na kobietę w tamtym czasie), opowiadała Mieczysławowi o najważniejszych odkryciach naukowych, przełomowych badaniach i wynalazkach, a także czytała mu publikowane w codziennej prasie dzieła Sienkiewicza i książki Juliusza Verne'a [2].

Wuj, brat matki, Gustaw Kościński mógł wspominać Mietkowi o swojej pracy, zwłaszcza o skropleniu w kwietniu 1883 roku tlenu i azotu, w którym brał udział i z którego protokół podpisywał. Babka Katarzyna zaś, przysyłała mu z Warszawy *Przyjaciela Dzieci* – gazetę, dla której Mietek układał rebusy i zagadki matematyczne [3]. Jak więc, wychowując się w takim środowisku, Mietek mógł się trzymać z daleka od nauki?

W 1892 roku Karol Juliusz Wolfke uzyskał awans stając się tym samym inżynierem-konduktorem przy drogach



Rys. 1. Kilkuletni Mieczysław Wolfke.
źródło: archiwum prywatne rodziny.

szosowych powiatu częstochowskiego [4]. Było to równoznaczne z przeprowadzką do Częstochowy – pierwszego miasta na ziemiach polskich, które posiadało oświetlenie elektryczne. To właśnie tutaj Mieczysław zaczął eksperymentować na większą skalę. Chcąc wprawić swoje zabawki w ruch, podkrażał prąd z miejskiej sieci elektrycznej. Ale jak wiadomo, doświadczenia w fizyce nie zawsze kończą się powodzeniem, więc pewnego razu młody chłopiec pozbawił całe miasto elektryczności [5]. To nie były jedyne eksperymenty chłopaka.

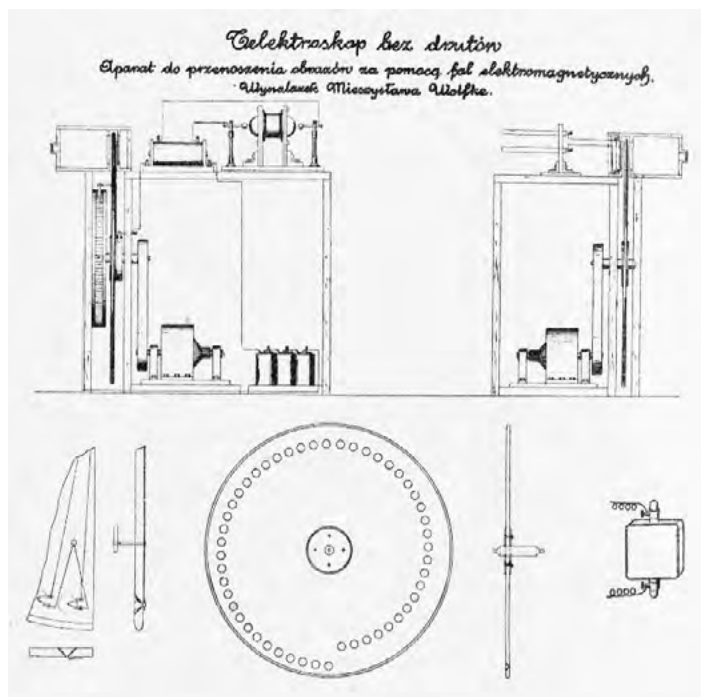
W 1895 roku Mieczysław napisał rozprawę pt. „Planetostat” [6]. Była to koncepcja lotu w przestrzeń kosmiczną – który po lekturze „Lotu na Księżyc” Verne’a – stał się życiowym celem Mietka [2]. Praca była najeżona błędami ortograficznymi, ale i skom-

plikowanymi wzorami matematycznymi, opisującymi bezbłędnie, jak się później okazało, ruch rakiet [6].

W 1899 roku Wolfke przeniósł się do Sosnowca, gdzie napisał „Abstraktykę” – rozprawę filozoficzną o „nauce nauk”. W międzyczasie opracował także telektroskop bez drutów, czyli maszynę pozwalającą na przenoszenie obrazu pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem za pomocą fal elektromagnetycznych (był to prototyp telewizora stanowiący połączenie pomysłu Jana Szczepanika z ideą Marconiego [7]). Projekt w listopadzie 1898 roku trafił do urzędów patentowych w Rosji i Niemczech. Rosyjski patent nr 4498, który został wydany 30 listopada 1900 roku, odbił się szerokim echem w polskiej prasie, a Mieczysława zaproszono na wystawę jubileuszową Towarzystwa Politechnicznego w 1902 roku we Lwowie [6].

Po zdaniu matury los powiódł Wolfkego od belgijskiego Leodium, przez Sorbonę do niemieckiego Wrocławia. Będąc w Paryżu przedstawił tamtejszemu Towarzystwu Astronomicznemu pomysł teleskopu z nieruchomym zwierciadłem, za co został zaproszony do wstąpienia w jego szeregi [2]. Przebywając we Wrocławiu pracował przede wszystkim nad zebraniem i rozszerzeniem teorii Abbego, za co otrzymał w 1910 roku stopień doktora filozofii w dziedzinie fizyki [8]. Współpracował tutaj także z Karlem Ritzmannem nad zmianą barwy światła ulicznego, za co otrzymał patenty na lampę kadmowo-rtęciową [9],[10].

Po obronie doktoratu Mieczysław wyjechał do Jany, a następnie do Karlsruhe, gdzie pracując w tamtejszym laboratorium wpadł na pomysł, który opublikował w 1920



Rys. 3. Telekroskop bez drutów, czyli urządzenie będące prototypem dzisiejszej telewizji. Źródło: [6].

roku [2]. Była to koncepcja holografii, za którą Denis Gabor otrzymał w 1971 roku Nagrodę Nobla. W czasie swojego wykładu noblowskiego Gabor wspominał: „Nie wiedziałem w tamtym czasie, podobnie jak Bragg, że Mieczysław Wolfke zaproponował tę metodę w 1920 roku nie realizując jej doświadczalnie” [11], jednak okazuje się, że bardzo się mylił. Wolfke podjął próby doświadczalne, o czym można przeczytać w jego pamiętniku [2], ale nie miał lasera o dostatecznie dużej mocy, by móc uzyskać oczekiwane rezultaty.

Rok 1913 splótł losy Wolfkego z Zurychem. Uzyskał on wówczas habilitację (czyli odnawiane co kilka lat prawo do prowadzenia wykładów) na tamtejszym uniwersytecie i politechnice. Recenzentem jego dorobku naukowego byli m.in. Albert Einstein, Pierre Weiss [12] czy Erwin Schrödinger [13]. Wolfke rozpoczął wówczas zajęcia obejmujące m.in. teorię względności czy fizykę kwantową [2]. Świadczyło to o jego ogromnym zainteresowaniu współczesną nauką i jej zrozumieniu.

Powrót do niepodległej Polski

Po odzyskaniu przez Polskę w 1918 roku niepodległości, Mieczysław, jak przystało na prawdziwego patriotę, postanowił udać się do Warszawy, by rozwijać tamtejszą naukę [2]. Udało się to jednak dopiero w 1922 roku [14]. Przyjazd na Politechnikę Warszawską zmusił go jednak do zmiany zainteresowań naukowych [2]. To tutaj, w Warszawie, opracował metodę osiągania wysokich napięć, za którą nagrodę otrzymali Amerykanie. Wolfke dowiedziawszy się o tym, wypowiedział słynne zdanie: „Gdyby mi dali choć pół miliona...” [15].

W 1924 roku Mieczysław wyjechał do Leydy, gdzie w wyniku współpracy z prof. Heike Kamerlinghiem-Onnesem, a następnie Willemem Keesomem, zaproponował teoretycznie doświadczenia, które doprowadziły do odkrycia dwóch postaci ciekłej fazy helu oraz do zestalenia

ciekłego helu pod ciśnieniem [16],[17]. Panowie zaobserwowali wówczas także ciekawe zjawisko [2], nad którym, niestety nie pochyłili się, a zjawisko to – nazwane nadciekłością – przyniosło kilka lat później Nagrodę Nobla Piotrowi Kapicy. Po powrocie do Warszawy Wolfke rozpoczął tworzenie na Politechnice nowej pracowni.

Mieczysław, poza optyką i niskimi temperaturami, zajmował się także zastosowaniami technicznymi fizyki. W ramach współpracy z wojskiem i Tymczasowym Komitetem Doradzo-Naukowym proponował m.in.: telefonię świetlną, system automatycznego naprowadzania rakiet, noktowizję czy metody obrazowania ultradźwiękowego [18]. Brał też udział w pracach naukowych związanych ze startem pierwszego polskiego balonu stratosferycznego *Gwiazda Polski* [19], a w maju 1939 roku na łamach *Polski Zbrojnej* ostrzegał przed bronią atomową [20].

Wszystkie plany Wolfkego pokrzyżował wybuch II wojny światowej. Sprzęt z jego laboratorium został wywieziony w głąb Niemiec [2], a on sam zajął się tajnym nauczaniem i produkcją bimbru, z którego dochód przeznaczano na zakup broni dla Armii Krajowej [21]. Po zakończeniu działań zbrojnych wykładał przez krótki czas na Akademii Górniczej w Krakowie i na Politechnice Gdańskiej oraz zaangażował się w tworzenie Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W grudniu 1945 roku wrócił do Warszawy, gdzie przystąpił do organizowania Zakładu Fizyki w nowo uruchomionej Politechnice Warszawskiej. Został wówczas delegowany do zagranicznych ośrodków naukowych w celu poznania aktualnego stanu badań naukowych i organizacji instytutów, a także zakupu nowoczesnej aparatury [2]. Niestety, z tej podróży już nie powrócił. 4 maja 1947 roku zmarł nagle w Zurychu.

Podręcznik to nie wszystko

O tym, dlaczego Wolfke nie uzyskał zasłużonego miejsca w panteonie polskich naukowców można by było napisać kolejny artykuł, jednak skupmy się na temacie przewodnim, a mianowicie – dydaktyce. Bardzo ważnym aspektem życia Wolfkego od czasów Zurychu było nauczaniem studentów i prowadzeniem wykładów popularnonaukowych, które gromadziły rzesze słuchaczy. O tych wydarzeniach rozpisywały się ówczesne gazety, a także wspominała w swoich dziennikach Maria Dąbrowska [22].

Wolfke przez całe swoje życie pamiętał o tym, że fizyka ma uczyć obserwować świat, stawiać trafne pytania dotyczące jego funkcjonowania, a także łączyć logicznie fakty, odróżniać prawdę od fikcji oraz właściwie korzystać z dostępnych źródeł informacji. Wiedział, że jedynie wszechstronność, otwartość, logika, funkcjonalność, kreatywność i efektywność połączone ze sobą, pozwalają osiągnąć sukces zarówno – dydaktykom, jak i ich słuchaczom.

Analizując opisy zajęć Wolfkego rzuca się w oczy łatwość używania języka matematyki jako naturalnego narzędzia do opisu spostrzeżeń i prowadzenia procesu wnioskowania. Najprawdopodobniej z tego wynikała jego zdolność do przyciągania uwagi. Dodatkowo wykłady były ilustrowane demonstracjami zjawisk oraz odnoszone do osiągnięć technicznych [23]. Czasem nie udawało się tego wszystkiego w pełni skontrolować, więc kończyły się

one na przykład wybiciem szyb na skutek efektywnej eksplozji w audytorium [5].

Dodatkowo Wolfke doskonale wiedział, że podręcznik to nie wszystko. Czytanie jego zawartości na zajęciach do niczego nie prowadzi. Często na wykładach polecał studentom, by sami zapoznali się z treścią podręcznika, a zajęcia wypełniał prezentacjami zjawisk lub opowieściami o najnowszych odkryciach w omawianej dziedzinie. W czasie zajęć pamiętał o tym, by mówić przede wszystkim o zastosowaniu omawianych zagadnień w życiu codziennym, a także o tym, by łączyć fizykę z innymi dziedzinami nauki.

Interdyscyplinarne podejście do nauki

Warto także wspomnieć o tym, że profesor Mieczysław Wolfke przede wszystkim słuchał swoich uczniów. W internetowych zbiorach Muzeum Powstania Warszawskiego możemy znaleźć rozmowę z Witoldem Kieżunem, w której wspomina wykład Wolfkego, na którym obecni byli bohaterowie *Kamieni na szaniec* Aleksandra Kamińskiego. W trakcie, gdy profesor wyprowadzał na tablicy wzór, Jan Bytnar (ps. Rudy) zauważył rozwiązanie, jednak nie chciał tego głośno powiedzieć, bo nie był człowiekiem lubiącym się chwalić. Wówczas Kieżun oznajmił profesorowi, co zauważył Bytnar. Wolfke zaprosił wówczas Janka do tablicy i poprosił, by stał jego dowód i pokazał swoje rozwiązanie. Po dokładnym rozpatrzeniu tego dowodu, profesor oznajmił: „Panowie – chapeaux bas! Czapki zdejść! Geniusz!” [24].

O tym, że wykłady Wolfkego gromadziły tłumy, można poczytać nie tylko u Dąbrowskiej, ale także w ówczesnym *Kurjerze Warszawskim*. Doskonałym podsumowaniem będzie tutaj przytoczenie fragmentu artykułu Ryszarda Świętochowskiego opublikowanego w dniu 16 marca 1935 roku: „Dotychczas ani marzyć mogła fizyka, żeby w jej zakresie publiczne występy zgromadziły tłum zwolenników. (...) Żeby odczyt fizyka, wybitnego uczonego, profesora, w salach jego pracowni, o jakichś drobinach mikrokosmosu pociągnął tłumy słuchaczy, żeby paręset osób odeszło z braku miejsca, żeby prelekcja wymagała bisowania to już, doprawdy, koniec świata” [25].

W podobnym stylu organizował egzaminy, na których materiał ograniczał do treści podstawowych. Student losował temat i otrzymywał pół godziny na przygotowanie do odpowiedzi. W tym czasie mógł korzystać z dowolnej literatury. Ku zaskoczeniu egzaminowanych możliwość ta najczęściej kończyła się bezowocnym przeglądaniem materiałów i w konsekwencji niepowodzeniem, gdyż nie poświęcali oni wcześniej czasu na naukę, wykazując się nadmierną wiarą we własne umiejętności. Jedynie zdolni i przygotowani podchodzili do odpowiedzi, pozwalając profesorowi na utrzymanie poziomu prowadzonej dyskusji [5].

Mieczysław Wolfke, oprócz tego, że był genialnym naukowcem, był również wspaniałym dydaktykiem. Kluczami do jego sukcesu były: podążanie za osiągnięciami ówczesnej fizyki, wykorzystywanie najnowszych technologii, interdyscyplinarne podejście do nauczania, nacisk na doświadczenia, a nie odczytywanie treści z podręcznika, niekonwencjonalny, dostosowany do odbiorcy prze-



Rys. 5. Mieczysław Wolfke w czasie wykładu na Politechnice Warszawskiej. Źródło: Narodowe Archiwum Cyfrowe.

kaz, a przede wszystkim słuchanie słuchaczy (uczniów) i dopasowanie formy przekazu do odbiorców. Dodatkowo Wolfke starał się walczyć z nastawieniem do przedmiotu – ukazywał fizykę jako przedmiot przyjazny, potrzebny do życia, od którego nie można się uwolnić, zatem zaczynając się jej uczyć, należy odpowiedzieć sobie na pytanie: „po co mi to?”. Jak my, nauczyciele XXI wieku możemy skorzystać z jego spuścizny? W jaki sposób uczyć, by młodzież chciała nas słuchać? Odpowiedzi jest wiele. Może dla kogoś z nas metody Wolfkego okażą się kluczem do sukcesu.

Ewelina Agnieszka Kędzierska

- [1] Archiwum Państwowe w Łodzi. 1552/D-1883/182 – Akta stanu cywilnego Parafii Rzymskokatolickiej w Łasku.
- [2] Wolfke M.: Pamiętnik.
- [3] Przyjaciel Dzieci. 1890, nr 3, s. 3.
- [4] Tydzień. 1892, nr 14, t. 20, s. 3.
- [5] Wolfke K.: Wspomnienia o ojcu, Mieczysławie Wolfke. Postępy Fizyki. 1980, t. 31, z. 6, s. 551–557.
- [6] Szpecht J.: Wśród fizyków polskich. Łwów 1939, s. 257–276.
- [7] Wolfke M.: Прибор для электрической передачи изображений без посредства проводов (pisownia wg oryginału). Patent rosyjski nr 4498.
- [8] Kiejna A.: Stanisław Loria i Mieczysław Wolfke we Wrocławiu – pomost pomiędzy niemiecką przeszłością i polską teraźniejszością. Kwartalnik Historii Nauki i Techniki. 2003, nr 48/3–4, s. 7–31.
- [9] Wolfke M.: Nowa lampa kwarcowa o białym świetle. Przegląd Techniczny. 1913, nr 52(16), s. 225–227.
- [10] Ritzmann K., Wolfke M., Lissy F.: Elektrische Metalllampf ampe. Patent niemiecki nr 55637.
- [11] Lundqvist S.: Nobel Lectures, Physics 1971–1980.
- [12] APAN III-71: Materiały Mieczysława Wolfkego (1883–1947), jedn. 21.
- [13] UAZ AB. 1.1139: Wolfke, Mieczysław, 1883–1947, Theoretische und experimentelle Physik.
- [14] AAN 2/14/0/6/6638: Akta osobowe – Wolfke Mieczysław.
- [15] Wolfke K.: Gdy myślę ojciec... Świat. 1959, nr 50, s. 16–17.
- [16] Wolfke M., Kamerlingh Onnes H.: On the dielectric constants of liquid and solid hydrogen. Proceedings of the Royal Academy of Sciences. 1924, nr 27, s. 627–630.
- [17] Wolfke M.: O badaniach w niskich temperaturach. Przegląd Techniczny. 1931, t. 57, nr 51–52, s. 732–734.
- [18] CAW 1.303.13 – Sekretariat Komitetu Obrony Rzeczypospolitej, jedn. 137.
- [19] Mazurek S.: Balonem do stratosfery. Warszawa 1936.
- [20] Wolfke M.: Eksplozja atomów. Polska zbrojna, 25 maj 1939, nr 144, s. 5.
- [21] Rassalski Bożydar – wspomnienia. Warszawa, 26 lutego 2016. (rozmowa).
- [22] Dąbrowska M.: Dzienniki. 1936–1945. Spółdzielnia Wydawnicza „Czytelnik”. Warszawa. 1999, t. 2.
- [23] Domański E. (red.): Politechnika Warszawska 1939–1945: wspomnienia pracowników i studentów. Pracownia Historyczna Biblioteki Głównej Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1990.
- [24] Kieżun Witold ps. „Wypad” – Archiwum Historii Mówionej. Muzeum Powstania Warszawskiego. (rozr. przepr. L. Włochyński). Warszawa, 27 lipca 2005 r. [online:] <http://www.1944.pl/archiwum-historii-mowionej/witold-kiezun,495.html>. [dostęp: 30 czerwca 2017]
- [25] Kurjer Warszawski. 1935, nr 122. wydanie wieczorne, s. 3–4.

Jowisz

prawdopodobnym kandydatem na gwiazdę Betlejemską w 2022 roku

Foto – Nasa

Marcin **Wesołowski**

Ze Świętami Bożego Narodzenia w wieczór Wigilijny związana jest od dawien dawna tradycja wypatrywania na niebie „pierwszej gwiazdki”. Po zachodzie Słońca, gdy niebo jest bezchmurne możemy dostrzec trzy najjaśniejsze gwiazdy: Węgę w gwiazdozbiorze Lutni, Kapellę – jako najjaśniejszy obiekt w Woźnicy, Aldebarana – najjaśniejsza gwiazda w gwiazdozbiorze Byka. W dalszej kolejności mogą być możemy zaobserwować następujące gwiazdy: Deneb w gwiazdozbiorze Łabędzia) czy Altair w gwiazdozbiorze Orła. Jednakże czasami bywa tak że rolę „pierwszej gwiazdki” może pełnić jedna z planet wchodząca w skład Układu Słonecznego.

W 2022 roku kandydatem na pierwszą gwiazdę w wieczór Wigilijny najprawdopodobniej będzie planeta Jowisz, gdyż będzie najprawdopodobniej najjaśniejszym obiektem na nocnym niebie. Ważnym elementem w kontekście bezpośrednich obserwacji jest stopień zachmurze-

nia nieboskłonu, a także zanieczyszczenie nieba sztucznym światłem, które znacząco utrudnia nam bezpośrednie obserwację.

W poniższych dwóch tabelach przedstawione zostały wielkości gwiazdowe planet oraz najjaśniejszych gwiazd, które będą widoczne 24.12.2022 roku na nocnym niebie.

Analizując poszczególne jasności w Tabeli 1 i 2 łatwo zauważyć, że Jowisz będzie najjaśniejszym obiektem na niebie, a stąd wynika, że będzie on najwcześniej widoczny. Dodatkowo na Rys. (1-3) wygenerowany zostały obraz nieba nocnego na Rzeszowie w dniu 24.12.2022 roku w godzinach 17.00 – 19.00 w oparciu o program Stellarium.

Pamiętajmy, że astronomia jest nauką przyrodniczą zajmująca się wyjaśnieniem szeregu zjawisk, które możemy zaobserwować na nocnym niebie. Jednym z nich jest zjawisko związane z wybuchem komety, czyli nagłym, nieoczekiwanym jej pojaśnieniem. W sprzyjających okolicznościach przy relatywnie dużej amplitudzie wybuchu kometa może być widoczna na nocnym niebie nawet okiem nieuzbrojonym. Oprócz komet w literaturze



Rys. 1. Wygląd nieba w dniu 24.12.2022 roku w Rzeszowie o godzinie 17:00.



Rys. 2. Wygląd nieba w dniu 24.12.2022 roku w Rzeszowie o godzinie 18:00.



Rys. 3. Wygląd nieba w dniu 24.12.2022 roku w Rzeszowie o godzinie 19:00.

Tabela 1. Jasności planet widocznych na niebie z Rzeszowa w dniu 24.12.2022 roku.

Planeta	Wielkość gwiazdowa (magintudo)
Mars	-1.46
Jowisz	-2.40
Saturn	0.85
Uran	5.72

Tabela 2. Wielkości gwiazdowe dla najjaśniejszych gwiazd widocznych na niebie z Rzeszowa w dniu 24.12.2022 roku.

Gwiazda	Wielkość gwiazdowa (magintudo)
Deneb	1.25
Aldebaran	0.85
Altair	0.75
Kapella	0.05
Wega	0.00

uwzględnia się jeszcze przynajmniej dwa zjawiska: gwiazda nowa lub supernowa oraz koniunkcja planet (planety na niebie ustawiają się praktycznie w jednej linii).

Z przedstawionych rozważań wynika, że w dniu 24.12.2022 roku Jowisz będzie najjaśniejszym obiektem pośród gwiazd i planet widocznych na niebie. Tak więc podczas Wigilii w 2022 roku to Jowisz najprawdopodobniej będzie pełnił tę zaszczytną rolę „pierwszej gwiazdki”.

Rozważając kandydaturę na pierwszą gwiazdkę w wieczór Wigilijny musimy pamiętać, że zgodnie z przekazem zawartym w Ewangelii Świętego Mateusza 2, 9 – 10 owa gwiazda była punktem odniesienia (drogowskazem), który wskazał drogę „Mędrcom ze Wschodu”.

„A oto gwiazda, którą ujrzeli na Wschodzie, postępowała przed nimi, aż przyszła i zatrzymała się nad miejscem, gdzie było Dziecię. Gdy ujrzeli gwiazdę bardzo się uradowali”.

Dla nas chrześcijan gwiazda betlejemaska jest zjawiskiem nadnaturalnym, cudownym i być może niedającym się wyjaśnić do końca z punktu widzenia czysto naukowego. Niech więc coroczne wyczekiwanie na pierwszą gwiazdkę w Wigilijny wieczór wzbogaca nasze przeżycia związane z tą wielką tajemnicą Bożego Narodzenia.

dr hab. Marcin Wesołowski, prof. UR
Uniwersytet Rzeszowski, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Instytut Nauk Fizycznych,
Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy Techniczno-Przyrodniczej
Uniwersytetu Rzeszowskiego.



Joanna Pietrzak, Ryszard Gabryszewski

Nauczanie przedmiotowe zostało wprowadzone na ziemiach polskich prawie 250 lat temu wraz z reformą edukacji opracowaną przez Komisję Edukacji Narodowej. W tym czasie było ono wielokrotnie zmieniane i odpowiednio dopasowywane do zmieniających się potrzeb społecznych.

W ostatnich dekadach szereg zmian w podejściu do nauczania zaowocował stopniowymi próbami, a w końcu realnym odchodzeniem od podziału dyscyplin w szkole. W podstawach programowych zagościło pojęcie interdyscyplinarności, czyli łączenia zagadnień z kilku różnych dziedzin wiedzy w ramach przedmiotu szkolnego. W praktyce szkolnej to znajdowanie punktów stycznych między zajęciami lub opracowanie zadań, dających możliwość wykorzystania różnorodnych umiejętności podczas lekcji.

W zamyśle interdyscyplinarności powstał Program Szkół Kosmicznych, który może stanowić doskonałe wsparcie w nauczaniu przedmiotów przyrodniczych i ścisłych. Program jest jednym z rezultatów projektu FUTURE SPACE (nr grantu ERASMUS+: 2019-1-PL01-KA201-065434), realizowanego w ramach międzynarodowego konsorcjum przez Centrum Badań Kosmicznych PAN, Ośrodek Edukacji Informatycznej i Zastosowań Komputerów w Warszawie, Polska Agencja Kosmiczna, Centrum Nauki NEMO z Amsterdamu w Holandii oraz Centrum Nauki i Muzeum Techniki NOESIS z Salonik w Grecji.

Program

Program Szkół Kosmicznych to program nauczania pozaformalnego, który z uwagi na odniesienia do aktualnej

(2022 rok) podstawy programowej wybranych przedmiotów przyrodniczych i ścisłych (głównie fizyki i geografii), może być częściowo realizowany także podczas zajęć lekcyjnych w szkołach ponadpodstawowych. Tematyka do zaproponowanych lekcji była budowana na styku co najmniej kilku przedmiotów, związana z zagadnieniami astronomicznymi oraz badaniami kosmicznymi.

Koncepty lekcji odnoszą się do szeroko rozumianych badań kosmicznych, ale transparentnie łączą zagadnienia obecne w przedmiotach takich jak fizyka z astronomią, matematyka, geografia, biologia, a także podstawy przedsiębiorczości. Gotowe, w pełni przygotowane scenariusze zajęć w języku polskim z detalicznymi instrukcjami przeprowadzenia lekcji mogą stanowić konkretną pomoc w pracy nauczyciela, szczególnie w zaprezentowaniu interesujących, nowoczesnych i ciągle w pewnym sensie nieoczywistych zastosowań szkolnej wiedzy.

Ważną kwestią dotyczącą założeń projektu było przygotowanie scenariusza w taki sposób, aby co najmniej część lekcji mogła być przygotowywana i prowadzona na przykład na zajęciach zarówno geografii, fizyki, jak i informatyki, przy wykorzystaniu nowoczesnych narzędzi technologii informacyjno-komunikacyjnych (TIK), najlepiej we współpracy nauczycieli wymienionych przedmiotów. Dzięki takiemu podejściu uczniowie w jasny i praktyczny sposób dostrzegą potencjał, jaki daje połączenie wiedzy i informacji dwóch lub więcej dziedzin nauki, a dodatkowo nauczyciele będą mieli możliwość poszerzyć swoją wiedzę i współpracować.

Na Program Szkół Kosmicznych składa się dokument analityczny, omawiający zagadnienia dydaktyki oraz aspekty organizacyjne procesu nauczania, plus 25 scenariuszy zajęć, z których duża część składa się z dwóch do czterech jednostek lekcyjnych. Scenariusze zajęć odnoszą się do modułów tematycznych z obszarów astronomii, eksploracji bliskiej przestrzeni kosmicznej oraz obserwacji Ziemi. Moduły mogą być realizowane oddzielnie, gdyż nie odwołują się bezpośrednio do treści zawartych w innych modułach. Moduły tematyczne składają się w większości z bogatych materiałów dla nauczyciela: scenariusza zajęć, prezentacji multimedialnej, odniesień do materiałów źródłowych oraz opisów doświadczeń. Większość scenariuszy zawiera także materiały dla uczniów, jak karty pracy czy quizy tematyczne.

Scenariusze zajęć

Przygotowane scenariusze zajęć stanowią całość jedynie pod względem zawartych treści. Zachęcamy nauczycieli, aby skorzystali z opisanych w dokumencie analitycznym metod dydaktycznych i wykorzystywali w scenariuszach według własnego uznania i pomysłów. Kwestie, które wydają się twórcom najważniejsze, a które nie zawsze znajdują odzwierciedlenie w pracy opisanej w scenariuszach to sposób prowadzenia zajęć a co za tym idzie próba dotarcia do możliwie wszystkich uczniów w klasie.

Moderatorem i inicjatorem pracy na lekcjach interdyscyplinarnych powinien być nauczyciel. Jednym z kryterium Programu Szkół Kosmicznych jest zastosowanie

aktywizujących metod nauczania, gdzie uczeń powinien być w centrum uwagi, samodzielnie odkrywa prawa fizyczne a nauczyciel pełni jedynie funkcję doradcy, mentora i przewodnika.

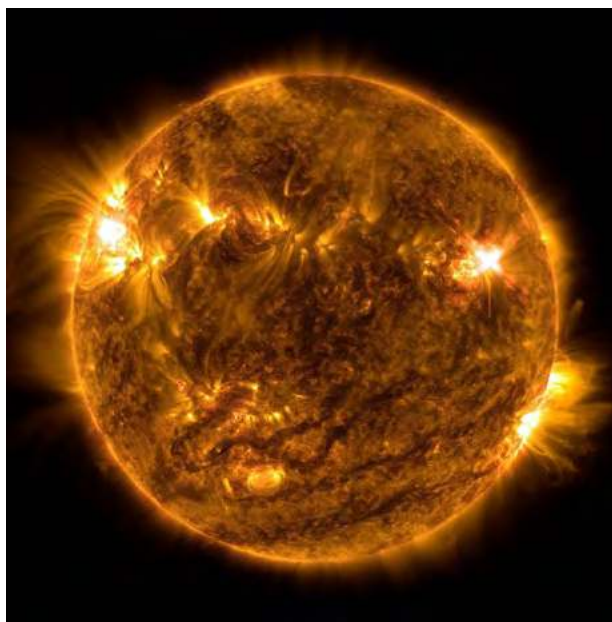
Niezmiennie istotnym warunkiem skuteczności nauczania w założeniach Programu jest zainteresowanie ucznia tematyką zajęć, jego świadomość praktycznego wykorzystania wiedzy i przydatności nabytych umiejętności w życiu społecznym i zawodowym. Dlatego też w propozycjach lekcji dominuje praca w grupie, rozwijająca takie umiejętności jak kreatywność, współpraca w realizacji wspólnych zadań, poczucie odpowiedzialności za podjęte decyzje oraz umiejętności komunikacyjne.

Każdy uczeń otrzymuje możliwość współpracy w różnym zakresie, może pełnić różne role w grupie, a także uczyć się od innych i odkrywać własne mocne strony w realizacji zadań. W ten sposób preferowana praca w grupie, a także metoda projektu, metoda lekcji odwróconej, czy nauczanie oparte o odkrywanie i dociekanie naukowe, ograniczają do niezbędnego minimum część wykładową, a wprowadzają elementy dynamizujące i zachęcające do samodzielnego sięgania po wiedzę.

Program włącza zachodnioeuropejskie sposoby wdrażania metodyki naukowej, w tym przede wszystkim angażowania młodzieży podczas zajęć. Taki sposób przeprowadzania lekcji przy wykorzystaniu powyżej wskazanych metod znacząco podnosi atrakcyjność zajęć, a przez to pomoże utrzymać uwagę uczniów na problemie omawianym podczas lekcji, co w efekcie prowadzi do podniesienia zrozumienia omawianych zagadnień i przełoży się na wyniki w nauce.

Planowanie przebiegu lekcji

Planowanie przebiegu lekcji powinno opierać się na prostym wzorze, bazującym na procesie prowadzenia badań naukowych czy projektowania inżynierskiego. Dzięki temu uczniowie samodzielnie będą odkrywać i badać



Wybuchy na Słońcu 2.10.2022 – foto NASA

zależności zachodzące w realnym świecie, a po części nauczyciel będzie miał możliwość przedstawić metody i narzędzia badawcze, którymi realnie posługujemy się, aby uzyskać obiektywny opis otaczającego nas świata.

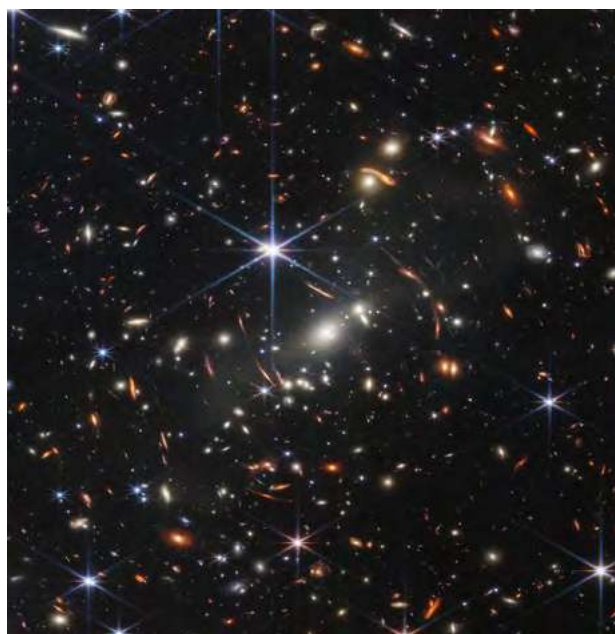
Dobrym przykładem interesującej lekcji może być scenariusz opracowany przez dr. Pawła Wajera z Centrum Badań Kosmicznych PAN: „Super-Ziemia i poszukiwanie życia poza Układem Słonecznym”. W tak zwanej wizytówce lekcji, na stronie tytułowej, przedstawione są słowa kluczowe dla zajęć, tematyka oraz przedmioty, które w największym stopniu dotyczą scenariusza. Konspekt zawiera streszczenie lekcji, podczas której uczniowie powinni zapoznać się z metodami odkrywania planet pozasłonecznych, nauczyć wskazywać te egzoplanety (w szczególności Super-Ziemia), na których mogą występować warunki korzystne do powstania/istnienia życia, dowiedzą się jak definiuje się ekosferę, czym się charakteryzuje, oraz jakie są problemy związane z tym zagadnieniem.

Podczas zajęć uczniowie wykorzystają nabytą wiedzę do analizy rzeczywistych danych dotyczących egzoplanet – będą przeszukiwali bazę danych w celu znalezienia takich ciał, na których potencjalnie mogą istnieć warunki sprzyjające rozwojowi życia. Scenariusz zajęć zawiera szczegółowe cele i rezultaty lekcji, a także korelację z podstawą programową wskazanych przedmiotów.

Materiały dydaktyczne

W dalszej części wymienione są materiały dydaktyczne do przeprowadzenia zajęć w postaci listy prezentacji, filmów do obejrzenia przed lekcją oraz linków do krótkich, bezpłatnych pozycji na YouTube – zarówno w języku polskim, jak i angielskim. Interującym elementem zajęć jest proste doświadczenie z wykorzystaniem dwóch przyrządów, które dziś niemal każdy uczeń ma przy sobie, dwóch smartfonów. Jeden uczeń trzyma smartfon stale emitujący światło z diody doświetlającej, drugi – korzystając z zainstalowanej, bezpłatnej aplikacji takiej jak PhyPhox lub Physics Toolbox Sensor Suite – mierzy natężenie promieniowania w kilku ustalonych odległościach (np.: 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm etc.). Stabelaryzowanie wartości natężenia w ustalonych odległościach pomoże uczniom samodzielnie odkryć prawo fizyczne określające zmiany natężenia światła wraz z odległością. Z kolei dokonanie pomiarów kilkukrotnie pozwoli nauczycielowi nawiązać do problemu błędów pomiarowych. Do scenariusza dołączony jest szczegółowy opis zagadnień przeznaczony dla nauczyciela, m.in. opis metod wykrywania egzoplanet, prezentacja mogąca być wprowadzeniem do zajęć, a także karta pracy.

Przedstawiony powyżej schemat lekcji zakłada, że uczeń utrzyma swoją uwagę na omawianym problemie, poczuje się także jak prawdziwy naukowiec, odkrywając rzeczywiste prawo fizyczne, będzie mieć też wrażenie, że uczy się zagadnień, które nie są czysto teoretyczne a odnoszą się do otaczającej nas rzeczywistości. Oczywiście nie wszystkie przygotowane scenariusze zawierają opisywane elementy, zachęcamy nauczycieli, aby dokonywali własnych zmian i modyfikacji w istniejącym materiale.



Pierwsze zdjęcia galaktyk z Teleskopu Jamesa Webba

Aktywność dla każdego ucznia

Program Szkół Kosmicznych, spełniając rolę nowoczesnego narzędzia edukacyjnego, we wszystkich aspektach prowadzenia zajęć i doświadczeń na lekcjach nie wyklucza i nie dzieli uczniów w kontekście płci. Edukacja, szczególnie na tle zmian społecznych, powinna ukazywać w praktyce, że podstawowe prawa jednostki są niezależne od płci. Poprzez edukację, zarówno kobiety, jak i mężczyźni, mają taką samą możliwość dalszego rozwoju i pogłębiania wiedzy – we wszystkich dziedzinach nauki. Szczególnie w szkołach należy niwelować stereotypy w obszarze edukacji, w tym w materiałach, z których korzystają nauczyciele i uczniowie, oraz poprzez formy komunikacji nauczycieli z uczniami. Edukator powinien zadbać, aby dana aktywność była przewidziana dla każdego ucznia. W Programie Szkół Kosmicznych uwzględniono, aby każda forma aktywności uczniów była realizowana bez podziału na męskie lub damskie.

Program Szkół Kosmicznych powstał w polskiej i angielskiej wersji językowej. O ile jednak scenariusze zajęć w języku polskim są kompletne i dostosowane do aktualnej podstawy programowej przedmiotów przyrodniczych i ścisłych, o tyle wersje anglojęzyczne to jedynie opis idei zajęć. Systemy edukacji w krajach Unii Europejskiej cechuje duża różnorodność i przygotowanie jednej wersji dla wszystkich krajów jest zadaniem obecnie niemożliwym do spełnienia.

Warto także dodać, że Program Szkół Kosmicznych nie jest jedynym rezultatem projektu FUTURE SPACE. Program Kosmiczny dla Centrów Nauki, przynajmniej w części, może być realizowany w szkołach lub podczas tzw. zielonych szkół. Z kolei Ścieżki Karier Kosmicznych dedykowane są do wykorzystania w ostatnich klasach liceów i techników, pokazując, że rozwój w sektorze kosmicznym możliwy jest nie tylko dla absolwentów kierunków ścisłych i technicznych.

Program Szkół Kosmicznych, scenariusze zajęć i pozostałe materiały powstałe w ramach projektu FUTURE SPACE znajdują się na stronie: <https://futurespaceproject.eu/>

Ile jest stanów skupienia?

Trzy, cztery, czy więcej?

Ciała stałe, ciecze, gazy...

**A plazma, ciekłe kryształy,
para wodna, ziemia?**



**Wydanie specjalne
– wybór artykułów
z Fizyki w Szkole**

**Tylko wersja
cyfrowa!**

Plik PDF
cena 20 zł

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

eprasa.pl 9d55193f92

PRENUMERATA 2023

PRZEDŁUŻ
LUB
ZAMÓW!

- Wersja drukowana
lub elektroniczna – pliki PDF
- Prenumerata roczna
i półroczna



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