

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

382 (LXIV) indeks 35810X Nr 5 wrzesień/październik 2022 CENA 35,00 zł (w tym 8% VAT)

EFEKT **MOJŻESZA**

Ciecze w polu elektrycznym
i magnetycznym

Technika Feynmana

Od wyjaśnienia
do zrozumienia

Media a edukacja

Tabloizacja wiedzy

William Sturgeon

niedoceniony twórca
elektromagnesu

Przenikliwość

Roentgena

Jak promienie X
trafiły pod strzechy

FIZYKA

INTERDYSCYPLINARNA



9 770426 338209

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 e06743af8b

Droży Czytelnicy!

Mam zaszczyt oddać Państwu kolejny numer „Fizyki w Szkole”. Przekazuję go w szczególnym miesiącu, jakim jest październik. Jest to miesiąc, w którym rozpoczyna się rok akademicki. Rozpoczęcie roku akademickiego stawia nauczycieli akademickich przed ważnymi pytaniami. Po pierwsze czego uczyć, po drugie, z czego uczyć po trzecie jak uczyć?

Te pytania są szczególnie ostrzejsze w przypadku nauczycieli akademickich niż nauczycieli szkół średnich i podstawowych. Po pierwsze w ich przypadku nie istnieje ustalona ogólnie podstawa programowa. Odbiorcą treści fizycznych mogą być studenci Wydziałów Fizyki lub FTiMS (Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej), w tym przypadku nauczanie fizyki jest stosunkowo autonomiczne. Nikt nie wywiera nacisku na wykładowcę, jakie treści mają być przekazywane.

Drugą grupą studentów są słuchacze innych wydziałów, którzy przychodzą na laboratoria, lub wykłady z fizyki w pewnym sensie gościnnie. W tym przypadku wykładowcy są poddawani pewnego rodzaju presji. Często kierownictwo wydziałów macierzystych traktuje konieczność wysyłania studentów na zajęcia fizyki jako pewnego rodzaju zło, na które nie za bardzo można coś poradzić.

W tym drugim przypadku bardzo wskazane jest uświadomienie szeroko rozumianej drugiej stronie procesu dydaktycznego, że większość zagadnień fizyki jest w pewien sposób łączona. Używając modnego obecnie terminu, można powiedzieć, że fizyka jest nauką interdyscyplinarną, gdzie metody fizyczne znajdują zastosowania do rozwiązywania zagadnień z innych dziedzin.

Przykładem takiego podejścia jest artykuł Katarzyny Wyborskiej i Grzegorza Karwasza „Alternatywa: Fizyka interdyscyplinarna”, gdzie autorzy opisują zastosowanie promieniowania synchrotronowego (fizyka) do badań nad wirusem Covida (medycyna).

Również interdyscyplinarny charakter ma artykuł Józefa Gintera poświęcony promieniowaniu Rentgena, bo chociaż promieniowanie Rentgena to zjawisko fizyczne wynikające z bombardowania metalu elektronami, to znajduje ono wiele zastosowań nie tylko w medycynie, ale też np. w badaniach z dziedziny historii sztuki.

Czego jeszcze uczeń/student może się nauczyć na zajęciach z fizyki? Otóż może się on nauczyć pracy metodą projektu. Temu zagadnieniu poświęcony jest artykuł pani Arlety Biegańskiej, gdzie autorka udowadnia, że metodą tą można wprowadzić już w szkole podstawowej. Nie mniej ważne jest to, że w trakcie pomiarów fizycznych uczeń ma możliwość zapoznać się z rachunkiem błędów. Jest to temat niezbędny w każdym zawodzie inżynierskim i niezwykle trudny nawet dla profesjonalistów. Często niedoszacowanie błędów prowadzi do spektakularnych katastrof np. zawalenia się budynków. To ostatnie stwierdzenie nie było byt optymistyczne, ale głęboko wierzę, że lektura bieżącego numeru „Fizyki w Szkole” będzie zarówno interesująca, jak i pożyteczna.

Z poważaniem

W imieniu redakcji

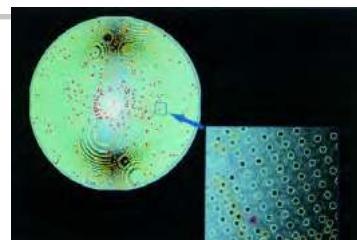
Zbigniew Wiśniewski

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

4 Alternatywa: fizyka interdyscyplinarna

■ Katarzyna Wyborska, Grzegorz Karwasz

Aby obronić znaczenie (czy nawet istnienie) fizyki jako przedmiotu szkolnego, należy zmienić treści i sposoby nauczania: odejść od aksjomatycznego wykładu „praw” i „zasad”, na rzecz nauczania interdyscyplinarnego, pokazującego użyteczność fizyki we współczesnym świecie.



10 Przenikliwość Roentgena

■ Józef Ginter

Pierwszą w historii nagrodę Nobla z fizyki otrzymał Wilhelm Roentgen za odkrycie promieniowania X.



18 Przekaz medialny w nauczaniu

i popularyzacji fizyki ■ Edward Rydygier

Twórcy reformy systemu edukacji założyli, że społeczeństwo będzie pozyskiwać wiedzę naukową ze źródeł pozaszkolnych, takich jak muzea nauki, pikniki i festyny naukowe oraz źródła medialne, jak prasa, telewizja i Internet. Niestety, nie przewidziano zmian kulturowych w społecznym odbiorze nauki...

25 Nagroda Nobla z fizyki 2022

26 Żywoty fizyków. William Sturgeon (1783-1850)

■ Tadeusz Wibig

Z naszych lekcji

23 Międzyszkolny Interdyscyplinarny Konkurs „Bajki Lema”

■ Ewa Trybalska

30 Efekt Mojsesza i bąbelki w polu magnetycznym

■ Stanisław Bednarek

Nazwy niektórych zjawisk i praw fizyki mają związek z wydarzeniami, które zaistniały w czasach starożytnych lub z żyjącymi wtedy uczonymi. Jedynym z takich interesujących i prawie zupełnie nieznanych zjawisk jest efekt Mojsesza.

34 O pomiarach fizycznych i niepewności pomiarowej.

(Uwagi metodyczne) ■ Waldemar Reńda

35 Wyznaczanie ogniskowej zwierciadła kulistego wklęsłego

na podstawie jego geometrycznych wymiarów ■ Czesław Surowiec

36 Doświadczenia fizyczne w praktyce szkolnej.

(Miniatura dydaktyczna) ■ Waldemar Reńda

Psychologia zapamiętywania wskazuje na to, że im więcej zmysłów bierze udział w procesie poznawczym, tym skuteczniejsze jest zapamiętywanie treści nauczania. A to właśnie doświadczenia fizyczne najbardziej angażują wzrok, słuch, dotyk i mowę oraz zmuszają do działania.



40 Technika Feynmana w edukacji fizycznej, czyli od wyjaśnienia

do zrozumienia ■ Kazimierz Mikulski

Istnieje potrzeba, a wręcz konieczność, nabycia umiejętności uczenia się. To ważne, gdy nie tylko wskazane jest nauczyć się, ale przede wszystkim by realizować zainteresowania w poznawaniu świata, także tego opisanego przez fizykę.

44 Projekt edukacyjny w szkole podstawowej

■ Arleta Biegańska

Astronomia dla każdego

47 Astronomiczna rachuba czasu – cz. 2

■ Marcin Wesołowski

Przykładowe zadania rachunkowe wraz z ich rozwiązaniami, które dotyczą rachuby czasu

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

NUMER 5 WRZESIEŃ/PAŹDZIERNIK 2022
380 (LXIII) indeks 35810X ISSN 0426-3383

CENA 35,00 zł
(w tym 8% VAT)

Komitet redakcyjny Krystyna Jabłońska-Jawnicka, 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: Dreamstime

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

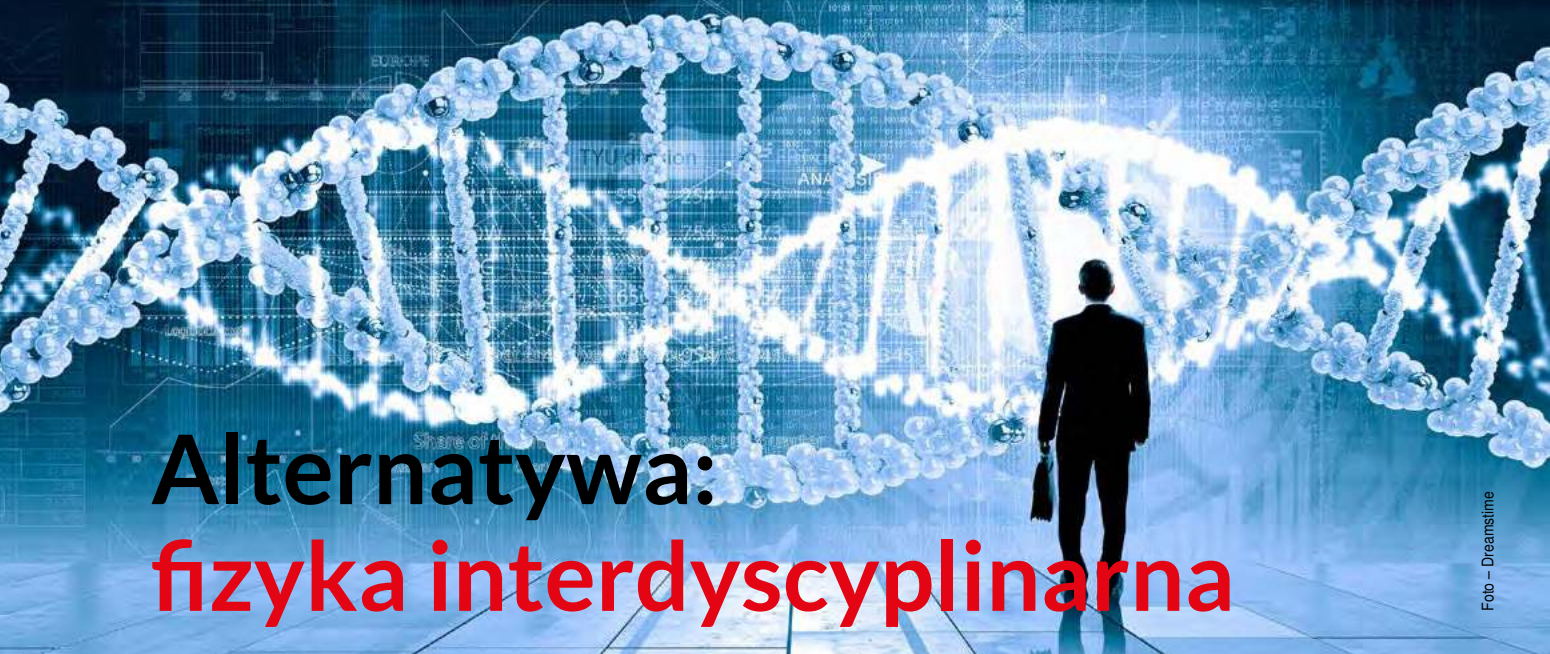


Foto – Dreamstime

Alternatywa: fizyka interdyscyplinarna

Katarzyna Wyborska, Grzegorz Karwasz

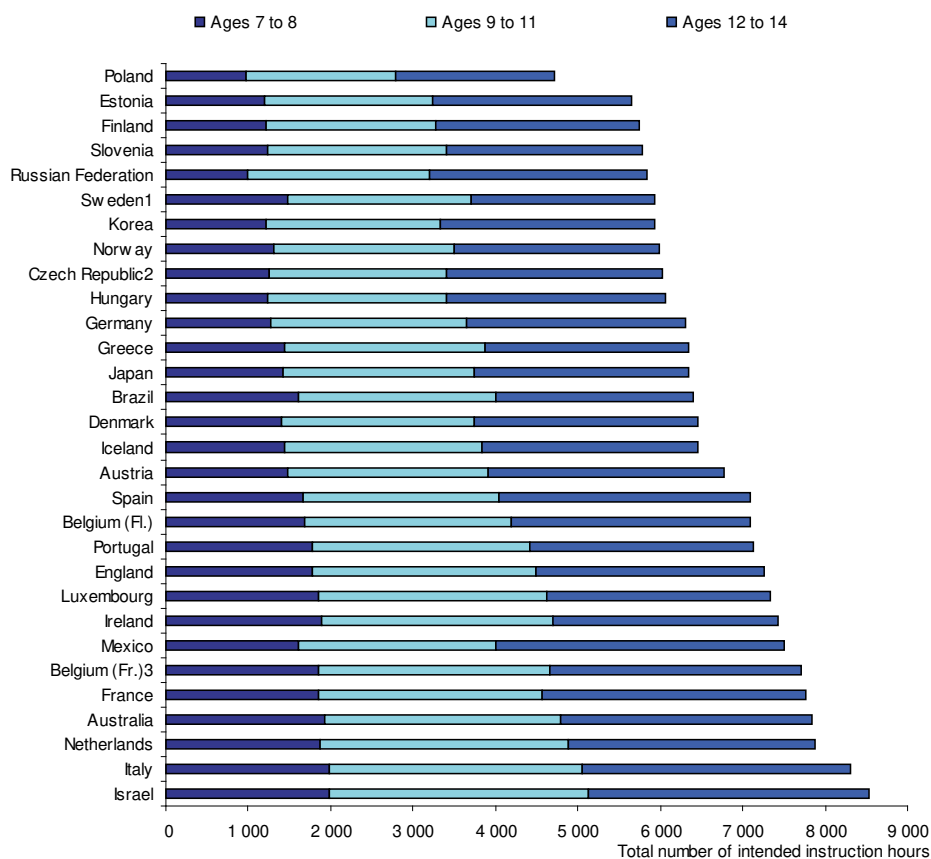
Potrzeba nowej dydaktyki

Podobno kilka lat temu, przy okazji jakiejś kolejnej reformy/redukcji, nauczyciele historii w jakimś dużym mieście w Polsce przykuli się łańcuchami do kaloryferów. Wcale by mnie to nie zdziwiło: według statystyk Organizacji ds. Rozwoju i Współpracy, OECD, tej przeprowadzającej m.in. testy PISA, w polskiej szkole: po pierwsze, ogólnie jest mało godzin lekcyjnych (ryc. 1), po drugie, mniej czasu niż w Polsce na naukę języka ojczystego poświęca się jedynie w Islandii (ryc. 2).

My, fizycy, musimy więc dysponować mocnymi argumentami dla obrony fizyki jako przedmiotu szkolnego. Nie zapominajmy, że w szkole średniowiecznej uczono gramatyki, dialektyki i retoryki. Były to w zasadzie łacina, filozofia i literatura. Ale dziś żaden z tych przedmiotów, w tej formie, w szkole podstawowej się nie ostał. Aby więc obronić znaczenie (czy nawet istnienie) fizyki jako przedmiotu szkolnego, należy zmienić treści i sposoby nauczania: odejść od aksjomatycznego wykładu „praw” i „zasad”, na rzecz nauczania interdyscyplinarnego, pokazującego użyteczność fizyki we współczesnym świecie.

Fizyka opisuje całą złożoność i różnorodność zjawisk, które nas otaczają. Dlatego też nauczyciel musi otworzyć się na inne niż własna dziedzina wiedzy, by móc w jak najlepszy sposób odpowiedzieć na potrzeby uczniów

i zaspokoić ich ciekawość poznawczą. Rzadko się zdarza, że w życiu codziennym rozwiązuje się problem ściśle związany z jednym przedmiotem, bardzo często wymaga się tutaj zastosowania wiedzy interdyscyplinarnej.



Ryc.1. Ilość godzin szkolnych w przedziale wiekowym 7-14 w krajach OECD. Ilość godzin lekcyjnych w Polsce to połowa tych we Włoszech czy Izraelu. Dane z 2010 roku [1].

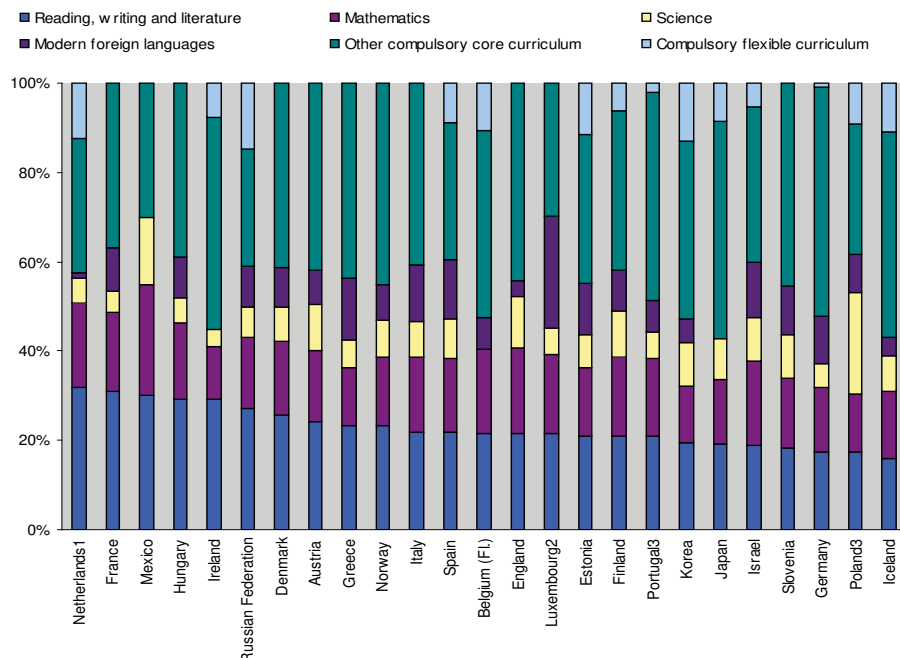
W procesie nauczania fizyki (nauk przyrodniczych) leży przede wszystkim ułatwianie młodzieży rozumienia zjawisk zachodzących w przyrodzie, odwoływanie się do przykładów i praktycznego ich wykorzystywania. Ważnym elementem staje się konstrukcja zajęć edukacyjnych, zastosowanie odpowiednich metod, technik i wzbogacenie treści z fizyki o treści z dziedziny chemii, biologii, geografii czy techniki. Ważnym zadaniem jest również przygotowanie uczniów do korzystania z różnorodnych źródeł wiedzy.

Internet staje się źródłem wiedzy ogólnie dostępnej. Niestety, lawinowo rosnące zasoby czynią coraz trudniejszym wybór odpowiedniej ścieżki poznawczej. Pokazujemy, jak korzystając jedynie ze źródeł internetowych (ale dość zaawansowanych) można wzbogacić lekcje fizyki o aspekty interdyscyplinarne, a wiedzę przedstawić według skali rosnącej trudności – zaczynając od treści podręcznikowych, aż do zaawansowanych technologii naukowych. Tematem przewodnim jest „Jak fizyka pomaga w walce z COVID-19”. Artykuł o tym tytule pojawił się w „Physics World” [2] już 19 marca 2020 roku.

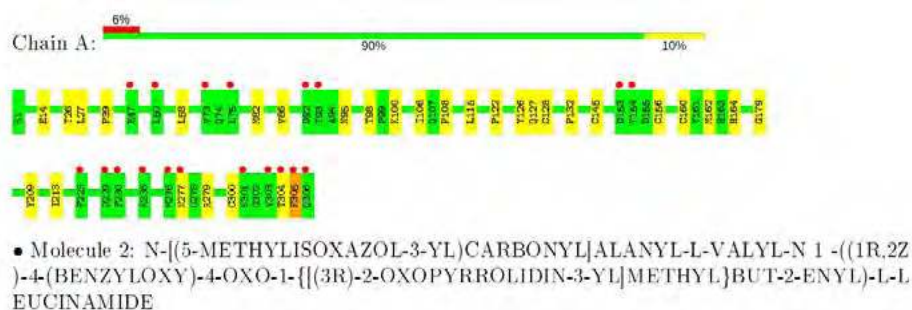
Rozszyfrować zabójcę

Sekwencję genetyczną wirusa-zabójcy rozszyfrowali, już w lutym 2020 roku, naukowcy chińscy, ryc. 3. Korona-wirusy, szczególnie te ptasie, były przedmiotem studiów od co najmniej dwudziestu lat. Wiadomo było, że wstążka RNA tych wirusów jest szczególnie długa, a małe różnice w sekwencji „liter” zasadniczo zmieniają cechy wirusa. Stąd znaczenie dokładnego odczytu tej sekwencji, mimo że tak do końca jej nie rozumiemy (nie tylko autorzy tego artykułu, ale również fizycy-genetycy).

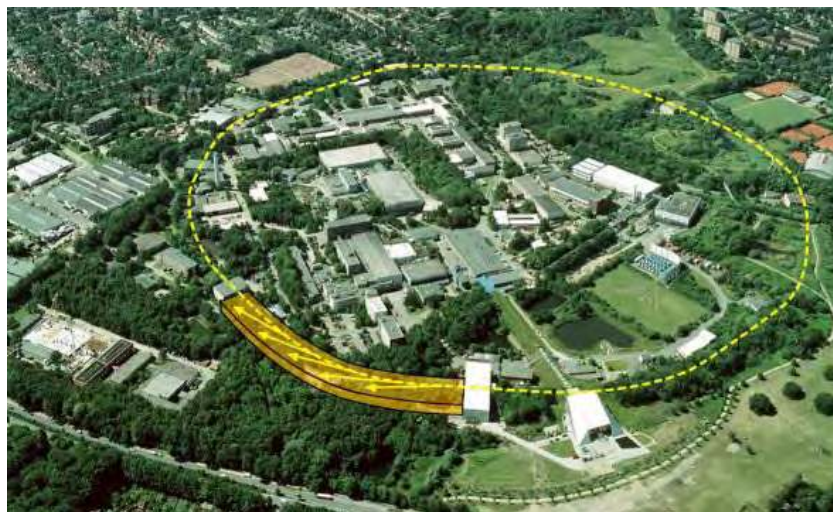
Do rozszyfrowania genomu COVID użyto wysokiej jakości promieniowania rentgenowskiego, emitowanego z gigantycznej „lampy” - akceleratora elektronów zwanego synchrotronem. Lampa ta to komora próżniowa w postaci torusa, o długości kilkuset metrów, rys. 4. Synchrotron na rys. 4 pochodzi z Hamburga, dwa inne znajdują się w Grenoble



Ryc. 2. Ilość godzin przeznaczonych na naukę języka ojczystego w przedziale wiekowym 7-14 lat (dolne części słupków) w porównaniu z ilością godzin przeznaczonych na fizykę, biologię, geografii i chemię łącznie (jasne części słupków). Dane OECD z 2010 roku [1]. Zmiana systemu edukacji w Polsce niewiele zmienia programy i priorytety. Zasadnicze cechy systemu polskiego nadal pochodzą z lat 70-tych ubiegłego wieku (komentarz GK).



Ryc. 3. Cały „śmiercionośny” ładunek COVID19 to długi łańcuch białka RNA. Został on rozszyfrowany już w lutym 2020 roku, przez biofizyków chińskich, za pomocą promieniowania synchrotronowego. Autorzy nie są specjalistami od RNA, więc szczegółów symboli nie potrafili wyjaśnić. Źródło: Liu X. i in. [3], w Protein Data Bank.



Rys. 4. Akcelerator elektronów, zwany synchrotronem: przyspiesza elektrony do prędkości bliskich prędkości światła. Składa się on z odcinków prostych, gdzie elektrony nie promieniują fali elektromagnetycznej i zakrętów, gdzie ich ruch podlega przyspieszeniu dośrodkowemu, więc emitują falę elektromagnetyczną: skolimowane i o regulowanej energii promieniowanie rentgenowskie. Źródło: DESY, Hamburg, za zezwoleniem.

i Trieście, a od paru lat i Polska ma własne centrum naukowe – „Solaris” w Krakowie.

Synchrotron nie ma jednak kształtu dokładnego, tzn. kołowego torusa. Elektrony poruszające się po okręgu poddane byłyby stałemu przyspieszeniu dośrodkowemu, a jak wiemy, przyspieszane ładunki elektryczne emitują fale elektromagnetyczne. Synchrotron składa się więc z odcinków prostych i zagięć, ryc. 5. Na odcinkach prostych elektrony są przyspieszane do wymaganej prędkości, na odcinkach zagiętych, gdzie podlegają przyspieszeniu dośrodkowemu, emitują promieniowanie elektromagnetyczne. Z elek-

trodynamiki relatywistycznej wynika, że promieniowanie to tworzy wiązkę w kierunku ruchu elektronów. Energia promieniowania może być zmieniana, od dziesiątków eV do kilkudziesięciu keV (przypominamy, że energia światła widzialnego leży w zakresie 1,8-3,6 eV). Innymi słowy, promieniowanie synchrotronowe ma energię regulowaną od nadfioletu do „twardego” promieniowania X (czyli rentgenowskiego). Nadaje się zarówno do badania delikatnych struktur biologicznych jak hełmów greckich hoplitów [4].

Od obrazu otrzymywanego z mikroskopu synchrotronowego do znanej z TV złowrogiej „miny podwod-

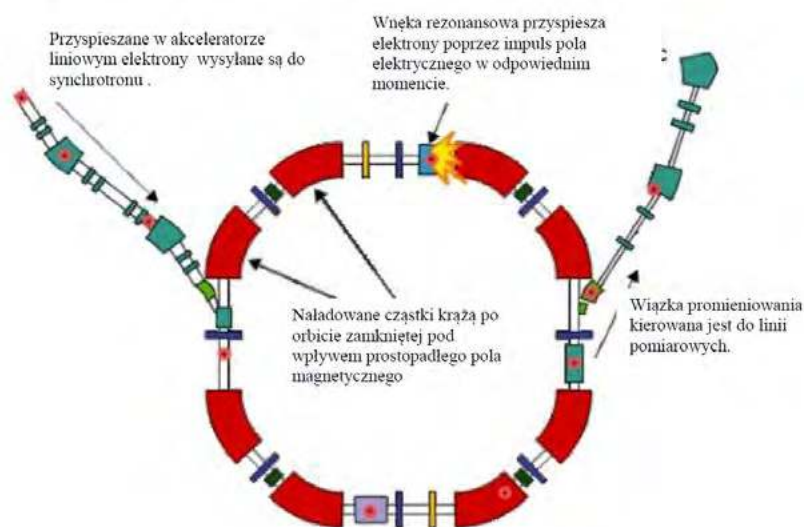
nej” wirusa COVID droga jednak daleka. Promieniowanie rentgenowskie pozwala na badanie struktury kryształów: białko wirusa musi mieć postać krystaliczną, a otrzymany obraz to bardzo skomplikowany „dyfraktogram”, ryc. 6.

Znamy zjawisko dyfrakcji w postaci tęczy kolorów na płycie CD: ale układ rys na CD jest jednowymiarowy, a kryształ białka ma skomplikowaną strukturę trójwymiarową. Bez pomocy komputerów (i dziesięcioleci prac fizyków, matematyków i informatyków) „kaszanka” punktów dyfraktogramu byłaby jedynie ciekawym obrazkiem. To specjalistyczne komputerowe programy analizy [6] pozwalają z mnogości punktów uzyskać trójwymiarową strukturę badanego białka.

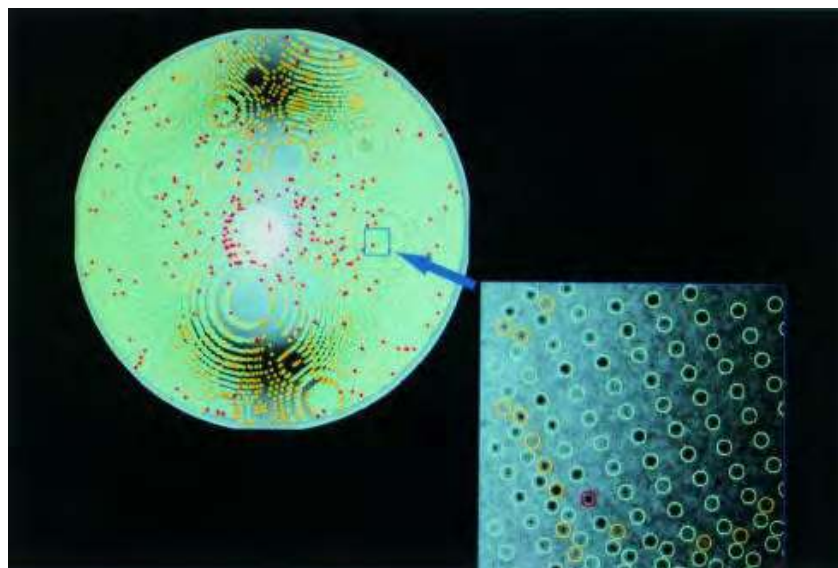
Struktura białek COVIDa jest bardzo złożona: to wyspecjalizowany zabójca, z całym mnóstwem różnych funkcji – rozpoznania komórki do zatakania, podłączenia się do błony komórkowej, jej perforacji, iniekcji własnych białek, sukcesywnej replikacji itd., a przy tym te funkcje muszą być odcyfrowane z archiwum wirusa, jak program komputerowy z twardego dysku. Zainteresowanych strukturą geometryczną najważniejszego enzymu w „arsenale” COVIDa odsyłamy do artykułu z marca 2020 z „Science” [7]. Enzym ten umożliwia wirusowi „przepisanie” informacji z RNA na białka atakujące komórki.

Na ryc. 7 pokazujemy znacznie prostszą strukturę 3D innego zabójcy – toksyny jadu kielbasianego, czyli botuliny (nawiasem mówiąc składnika botoxu). W naturze istnieją dwie najbardziej śmiertelne trucizny – tężca i jadu kielbasianego. Obie powodują straszną śmierć: tężec paraliżuje (kurczy) mięśnie, w tym mięśnie płuc. Chory ginie wskutek braku tlenu. Podobnie działa jad kielbasiany: mięśnie wiotczeją. Przy tym są to najbardziej toksyczne związki chemiczne: według angielsko-języcznej wikipedii 450 g jadu kielbasianego wystarczyłoby do zatrucia całej ludzkości.

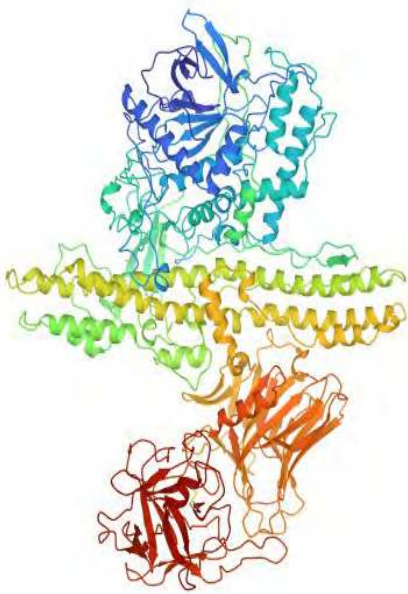
Skąd się bierze ta nadzwyczajna zjadliwość obu białek? Czy mają one coś wspólnego? Odpowiedzi udziela ją wspólnie – biologia i fizyka. Są to enzymy, niszczące inne białka, tzw.



Ryc. 5. Schemat synchrotronowego źródła promieniowania rentgenowskiego (synchrotron w CERN). Źródło: Verena Kain [5], CC BY 4.0 Licence.



Ryc. 6. Dyfraktogram rentgenowski (synchrotronowy) białka. Program komputerowy, z pomocą naukowca-eksperta analizuje poszczególne obszary obrazu, poszukując zależności matematycznych między położeniami punktów i w ten sposób odtwarzając strukturę 3D białka. Źródło: J.M. Smith, J.H.M. Martin [6].



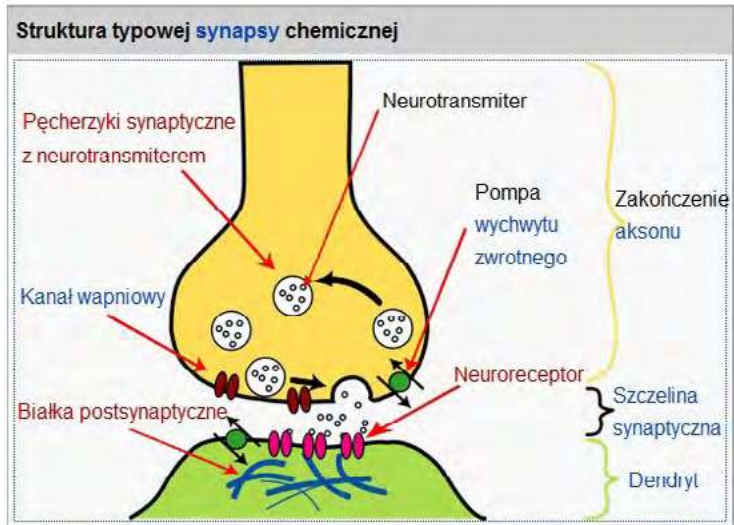
Ryc. 7. Struktura toksyny botulinowej, uzyskana za pomocą promieniowania synchrotronowego [8]. Wśród skomplikowanych łańcuchów aminokwasów w pewnym miejscu znajduje się atom (a właściwie jon) cynku. Trucizna tęcza też ma podobną strukturę: jon Zn^{+2} otoczony przez cztery aminokwasy, z których dwa są ściśle określone. Ile trucizn można stworzyć z 16x16 dowolnych aminokwasów? Źródło: D. B. Lacy i in. [8].

neuro-transmisyjne. Ale aby zrozumieć ich działanie, musimy przyjrzeć się, jak działają elektryczne kable, zwane w biologii neuronami, ryc. 8.

Ultraszybki (0,2 s czas reakcji) system komunikacji wewnętrznej człowieka (a również zwierząt a nawet roślin) to oczywiście sygnały elektryczne. Wędrują one po odcinkach, czyli wewnątrz neuronów. Neurony łączą się wzajemnie wypustkami (które w biologii mają swoją, grecką jak zwykle, nazwę). Fizyk interpretuje te połączenia jako sprzężenia pojemnościowe – między okładkami kondensatora elektrycznego w postaci dwóch błon komórkowych (ryc. 8).

W transmisji sygnału między neuronami uczestniczą również jony (rysunek 8 pokazuje jony Ca^{+2} ale do właściwego działania błon komórkowych potrzebne są również jony Na^{+} i K^{+} - te ostatnie są np. w pomidorach) i specjalistyczne białka, neuro-transmisyjne. Neuro-toksyny tną te białka na kawałki: sygnał elektryczny nie propaguje, mięśnie przestają działać, pacjent umiera. Toksyny są skuteczne w minimalnych dawkach, bo i wspomnianych białek są w organizmie znikome ilości.

Promieniowanie synchrotronowe pozwoliło na zaskakujące odkrycie. Obie toksyny, bardzo różne jako łańcuch białkowy, i diametralnie różne w swych mechanizmach zabójczych



Ryc. 8. Połączenia neuronów poprzez wypustki, czyli synapsy. Sygnał jest natury elektrycznej, ale jego przesłanie wymaga zarówno jonów Ca^{+2} jak i białek transmisyjnych. Neuro-toksyny (jad kiełbasiany i tężec) tną te białka na kawałki, co paraliżuje system nerwowy. Źródło: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Synapsa>

mają podobną strukturę. W pewnym miejscu pozwanego polimeru białkowego znajduje się jon cynku, Zn^{+2} . Jest on otoczony przez cztery aminokwasy, z których dwa są ściśle określone. Dwa pozostałe są dowolne. Innymi słowy, podobnych neuro-toksyn jest zapewne więcej.

Na szczęście natura „wymyśliła” tylko dwie tak zabójcze trucizny. Ale wiedząc, że aminokwasów aktywnych w metabolizmie człowieka jest 16, a tylko dwa z czterech otaczających jon Zn^{+2} są ściśle określone, włos jeży się na głowie, jeśli przemnożymy 16x16.

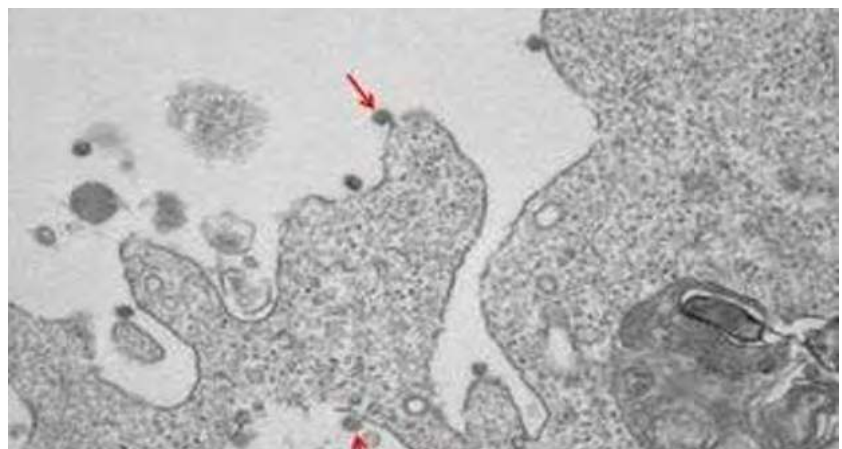
Czas byłoby się przyjrzeć całemu wirusowi, tak jak go znamy z obrazków (malowanych przez grafików) w TV. Ale wirus jest za duży (i zbyt skomplikowany) aby użyć promie-

niowania X. Z pomocą przychodzi mikroskopia elektronowa.

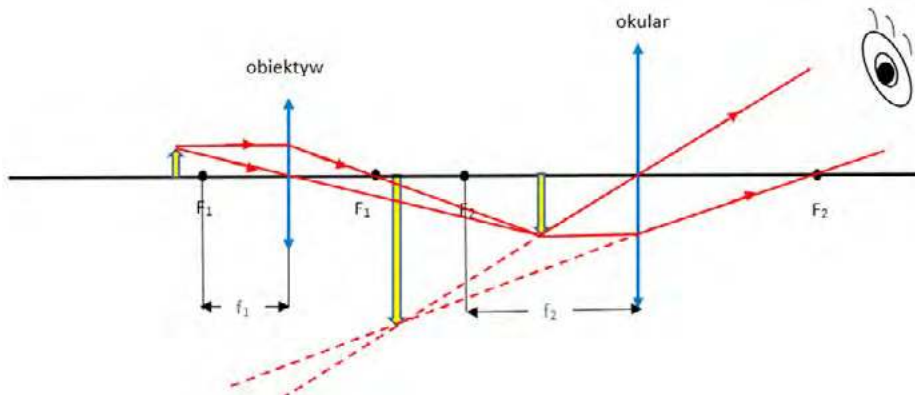
Zobaczyć wirusa

Znane aż za dobrze z TV obrazy śmiercionośnej „miny pływającej” z wypustkami, za pomocą których atakuje ona komórki, powstały w mikroskopie elektronowym, też wymyślonym przez fizyków, niecałe sto lat temu. Na ryc. 9 pokazujemy oryginalne zdjęcie wirusa atakującego komórkę, wykonane w szpitalu w Mediolanie. Rozmiary wirusa to około 100 nm.

Elektrony to cząstki, o rozmiarach rzędu 10^{-15} m: tzw. klasyczny promień elektronu, wyliczony przyrównując $E = mc^2$ z energią elektrostatyczną, wynosi $2,8 \times 10^{-15}$ m. Ładunek elektryczny elektronów (nie ma



Ryc. 9. Korona-wirus atakujący błonę komórkową. Zdjęcie z mikroskopu elektronowego wykonane w szpitalu Sacco w Mediolanie, z marca 2020 roku. Wśród autorów zdjęcia jest stażysta z Polski, Maciej Tarkowski. Źródło: https://www.ilmattino.it/primopiano/sanita/coronavirus_lombardia_prime_foto-5148872.html



Rys. 10. Bieg promieni świetlnych w prostym mikroskopie optycznym. Dla uproszczenia przyjęto wersję cienko-soczewkową. Układ mikroskopu tworzą dwie soczewki skupiające: obiektyw i okular. Przedmiot o niewielkich rozmiarach umieszczony jest bardzo blisko obiektywu. Obraz rzeczywisty, powiększony i odwrócony otrzymujemy między ogniskiem F_2 a soczewką okularu. Otrzymany obraz staje się przedmiotem dla okularu, obraz, który widzimy jest obrazem pozornym, prostym i powiększonym. Widzimy, że powiększenie zachodzi dwukrotnie: pierwszy raz dzieje się to w obiektywie następnie w okularze. Rysunek własny.

go promieniowanie X ani neutrony) pozwala na stosunkowo proste wytwarzanie i manipulowanie wiązkami elektronów, jak szklane soczewki promieniami światła.

Optyka elektronowa jest koncepcyjnie podobna do tej w klasycznym, czyli optycznym mikroskopie: obiektyw, okular, zob. rys. 10 i dodatkowe soczewki, dla zminimalizowania tzw. aberracji. Teoretycznie, mikroskop elektronowy powinien umożliwiać obserwację nawet pojedynczych atomów. Ale jest z tym kilka problemów.

W zwykłym mikroskopie optycznym (piszemy „zwykłym”, mając na myśli mikroskopy z gabinetu biologicznego) obserwowane obiekty nie mogą być, zasadniczo, mniejsze niż długość fali użytego światła. Rządzi tym tzw. kryterium Rayleigha (aby jakiś wzór przytoczyć, w artykule o nauce na wskroś matematycznej, jaką jest fizyka). Dwa obiekty są rozróżnialne, o ile ich obrazy dyfrakcyjne nie zachodzą na siebie. Wyjaśnia to szczegółowo angielska wersja Wikipedii [9].

Minimalny kąt θ , pod jakim dwa obiekty są rozróżnialne wynosi

$$\theta = 1,22 \lambda / D,$$

gdzie λ jest długością użytego światła a D aperturą obiektywu (1,22 to wartość pierwszego zera funkcji Bessela, czyli swego rodzaju sinus w dwóch wymiarach). Bez znajomości szczegółów konstrukcyjnych mikroskopów trudno te wielkości przetłumaczyć na rozmiary liniowe obserwowanego obiektu. I znów warto zajrzeć do Wikipedii [9]. W najlepszych mikroskopach op-

tycznych najmniejsze rozróżnialne obiekty, przy użyciu światła fioletowego ($\lambda=400$ nm) są rzędu 200 nm.

Z mikroskopem elektronowym związany jest problem dualizmu falowo-korpuskularnego. W mikroskopach elektronowych energia wiązki jest rzędu 30 keV, czyli teoretyczna długość fali de Broglie’a elektronów to 7 pm (7×10^{-12} m), czyli znacznie mniej niż rozmiary pojedynczego atomu (10^{-10} m). Skorzystaliśmy tu ze wzoru $\lambda=h/p$, gdzie h jest stałą Plancka, a p pędem elektronu.

Niestety, mikroskopia elektronowa nie pozwala na obserwację pojedynczych atomów. Tu trzeba przywołać wiadomości z obecnej 8-mej klasy szkoły podstawowej, gdzie jest mowa o przyrządach optycznych, a także ich niedoskonałościach, tzw. *aberracjach*.

Równanie, którym się posługujemy w wyjaśnianiu, jak działa soczewka (a także zwierciadło) zostało wyprowadzone przez Newtona.

$$1/f = 1/p + 1/q$$

gdzie f – ogniskowa soczewki (zwierciadła), p – odległość przedmiotu od

soczewki (zwierciadła), q – odległość obrazu od soczewki (zwierciadła)

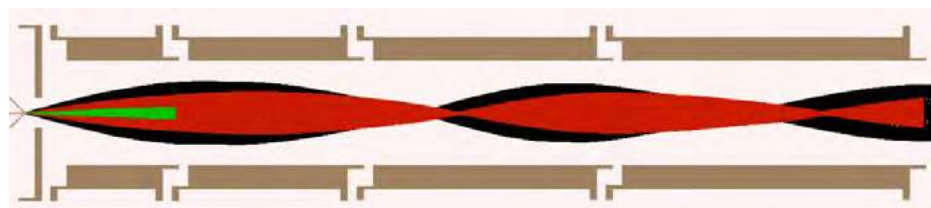
Dla zwierciadeł jest ono w miarę dokładne. Promienie światła, niezależnie od długości fali (czyli koloru) ogniskują się w tym samym miejscu. Zakładamy przy tym, że promienie biegną równolegle do tzw. osi optycznej, jak na rys. 10. Obserwacja obiektów, które znajdują się poza osią zwierciadła nie daje powiększenia/ pomniejszenia przewidzianego przez wzór Newtona).

Wzór Newtona, zastosowany dla soczewek wymaga dodatkowych założeń. Przede wszystkim, współczynnik załamania szkła zależy od długości fali. Innymi słowy, różne kolory ogniskowane są w różnych punktach: mówimy o aberracji chromatycznej. Widać ją „gołym” okiem np. przy obserwacji planet za pomocą lornetki.

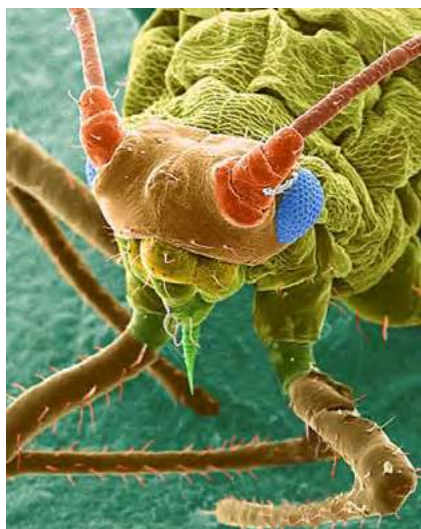
Drugim istotnym założeniem jest, że soczewki są cienkie. Rysunek 10 jest schematyczny: dokładne wyrysowanie, jak załamują się promienie światła wchodząc i wychodząc ze szkła pokazuje, że ogniskują się one w różnych punktach, w zależności od ich odległości od osi optycznej (czyli od grubości warstwy szkła, przez którą przeszły). Mówimy o aberracji sferycznej.

I jeszcze aberracja zwana komą, czyli wynikająca z obserwacji obiektów „pod kątem”, czyli poza osią optyczną. Warto te różne aberracje pokazać na lekcji: uczniowie sami je znajdą, jeśli pozwolimy im pobawić się nieco lornetką, mikroskopem lub choćby dwoma lupami.

W przypadku mikroskopu elektronowego wzór Newtona jest tylko bardzo zgrubnym przybliżeniem. Dla soczewek elektronowych, a w zasadzie również dla soczewek optycznych, należy zastosować inny wzór, tzw.



Rys. 11. Optyka elektronowa: soczewkami są metalowe cylindry (szare), do których przyłożone są odpowiednie napięcia. W zależności od tych napięć, wiązka elektronów może być ogniskowana, jak w optycznych soczewkach skupiających lub rozogniskowana. Symulacja trajektorii wiązki pokazuje, że elektrony o różnych energiach (różne kolory na rysunku) są ogniskowane w różnych punktach. Program SIMION7, trajektorie Kamil Fedus.



Ryc. 12. Zdjęcia ze skaningowego mikroskopu elektronowego: roztocze z domowego dywanu i *Pleuromamma*, 3-mm żyjątko z oceanicznego planktonu. Kolorowe zdjęcia są dziełem dr Tiny Carvalho z Biological Electron Microscope Facility, Pacific Biomedical Research Center, University of Hawaii at Manoa <http://www1.pbrc.hawaii.edu/microangela/>

soczewek grubych. Opisywaliśmy to kiedyś w „Fotonie” [10]. Szklanka, kieliszek z wodą i szklana kula opisywane są wzorem soczewek grubych: miejsce ogniskowania zależy od odległości promienia od osi optycznej. Również bieg elektronów w układzie soczewek elektrostatycznych (i magnetycznych) jest opisany równaniem soczewki grubej, zob. rys. 11.

O ile aberracje w mikroskopie optycznym można uznać za dodatkowy, zaburzający efekt, to w mikroskopie elektronowym wielkość tych „aberracji” jest istotna. Z tego powodu, mimo że długość fali de Broglie’a jest rzędu 10^{-12} m, rozdzielczość rzędu 10^{-9} m nie jest łatwa do uzyskania, co jasno pokazuje, ryc. 9: szczegółów wirusa nie jesteśmy w stanie zobaczyć, a kolorowe rysunki w telewizji powstały w wyobraźni grafików.

Dodatkowo tradycyjna mikroskopia elektronowa wymagała specjal-

nych technik przygotowania próbek: musiały one być umieszczone w próżni, a przed badaniem pokryte metodą napyłania próżniowego cienką warstwą złota.

Ale ostatnie lata przyniosły istotny postęp również w dziedzinie mikroskopii elektronowej. Po pierwsze, mikroskop elektronowy jest niezastąpiony w obserwacji obiektów dość dużych, jak np. roztocza żyjące w domowym dywanie czy oceaniczny plankton, rys. 12. Zdjęcia te uzyskano za pomocą tzw. skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). W mikroskopie tym wiązka elektronów zogniskowana na obserwowanym obiekcie ma szerokość rzędu pojedynczych nanometrów, co pozwala jej „przemiatanie” po szczegółach obiektu.

Otrzymany obraz (podobnie jak żyjątko) jest czarno-biały: biolog z Uniwersytetu na Hawajach, o pseudonimie Micro-Angela pokolorowała szczegóły

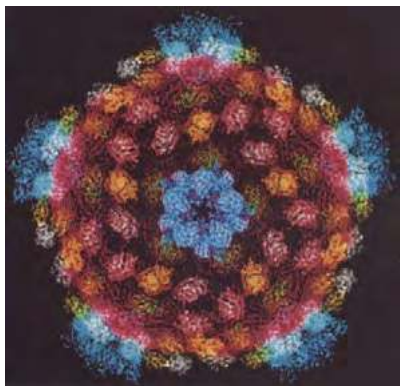
tak, aby uwidocznić całą złożoność sfotografowanego organizmu.

Po drugie, wymyślono technikę szybkiego zamrażania próbek – przyznano za ten wynalazek nagrodę Nobla w 2017 roku. I dzięki tej technice można oglądać wirusy w całej ich okazałości. Na rys. 13 przedstawiamy zdjęcie reo-wirusa, czyli wirusa układu oddechowego, dalekiego krewnego COVID [11]. Przypomina on kalafior, ale o bardzo skomplikowanej strukturze: oddzielne „paki” przechowują RNA, inne służą jako zabezpieczenia, inne wstrzykują RNA do zaatakowanej komórki. Wirus piękny, ale zabójczy.

Firmy z całego świata prześcigają się w tworzeniu coraz doskonalszych, a przy tym coraz bardziej przenośnych i tańszych mikroskopów elektronowych. Od 2021 mikroskopy takie są do dyspozycji szkół w Londynie. Naszym czytelnikom polecamy znakomite opracowanie firmy Hitachi, z trójwymiarowymi zdjęciami najróżniejszych mikroskopowych struktur [12].

125 lat od odkrycia dokonanego przez Röntgena już nie zwykłe lampy ani nawet nie synchrotrony, lecz lasery z wiązką elektronów pozwalają na badanie detali wirusów i toksyn. Niecałe sto lat od skonstruowania mikroskopu elektronowego widzimy szczegóły, które przekraczają wyobraźnię największych artystów. Reasumując, dzięki fizyce świat staje się nie tylko bardziej zrozumiały, ale też coraz bardziej fascynujący.

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



Rys. 13. Struktura reo-wirusa, uzyskana za pomocą krio-mikroskopu elektronowego. Różne „paki” kalafiora spełniają różne funkcje. Całkowita masa wirusa odpowiada 52 milionom mas atomu wodoru, a jego średnica to 70 nm. Źródło: K.N. Reinisch i in. [11]

LITERATURA

- [1] Education at a Glance 2010: OECD Indicators, http://www.oecd.org/document/52/0,3746,en_2649_39263238_45897844_1_1_1_1,00.html#d
- [2] Jon Cartwright, <https://physicsworld.com/a/covid-19-how-physics-is-helping-the-fight-against-the-pandemic/>
- [3] X. Liu, The crystal structure of COVID-19 main protease, Protein Data Bank, https://ftp.wwpdb.org/pub/pdb/validation_reports/lu/6lu7/6lu7_full_validation.pdf.gz
- [4] I. H. Munro, Fifty years of synchrotron radiation research in the UK, <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2018.0230>
- [5] Verrena Kain, https://www.researchgate.net/publication/305995044_Beam_Dynamics_and_Beam_Losses_-_Circular_Machines
- [6] M.S. Smyth, J.H.J. Martin, x Ray crystallography, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1186895/>
- [7] Lin Lin Zhang i in., Crystal structure of SARS-CoV-2 main protease, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abb3405>
- [8] D. B. Lacy i in. Crystal Structure of Botulinum Neurotoxin, Protein Data Bank, <https://www.rcsb.org/structure/3bta>
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Angular_resolution
- [10] G. Karwasz, M. Brozis, Soczewki grubasy, Foton, 2004, 33-41 <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/soczewkigrubasy.html>
- [11] K. M. Reinisch i in., Structure of reovirus core, <http://crystal.harvard.edu/wp-content/uploads/2018/12/ReinischK-00-Nature-404-960.pdf>
- [12] Hitachi scanning microscope SU3500, https://www.hitachi-hightech.com/file/usp/pdf/library/literature/SU3500_Brochure_HTD-E203P_resized_singlepage.pdf



Przenikliwość Roentgena

Józef Ginter

Odkrycie na miarę Nobla

W 1901 roku została przyznana pierwsza w historii nagroda Nobla z fizyki. Otrzymał ją Wilhelm Roentgen za odkrycie promieniowania X. Nazwa promieniowania stosowana przez jego odkrywcę, dziś nadal używana w krajach anglosaskich, odzwierciedlała ich tajemniczość. Ciało człowieka dla tych promieni było przezroczyste, w odróżnieniu od kości, których białe kształty uwidaczały się na tle czarnej kliszy fotograficznej. Cmentarne skojarzenia. Emocje towarzyszące pierwszym prześwietleniom rentgenowskim oddaje doniesienie w Manchester Guardian w styczniu 1896 roku: „Wyglądają one upiornie, ale z naukowego punktu widzenia otwierają szerokie pole do spekulacji. (...) Wydawca zapewnia, że nie jest to żart ani oszustwo. Jest to poważne odkrycie dokonane przez poważnego niemieckiego profesora”¹.

Prześwietlenie rentgenowskie wpisało się mocno w kulturę. Nieraz słyszy się, że niejasne finanse jakiejś firmy zostały prześwietlone przez służby państwowe lub że pokretnie działania pewnego polityka należałoby prześwietlić. Mówiąc w ten sposób nieświadomie nawiązujemy do własności promieniowania Roentgena. To właśnie ono pozwala zobaczyć niewidoczne części ciała, jego wewnętrzną strukturę i zdiagnozować ukrytą chorobę.

Odkrycie promieni Roentgena dało początek radiologii (z łac. radius – promień). Jest to dziedzina medycyny zajmująca się oceną zdrowia pacjenta na podstawie obrazów wnętrza ciała. Chociaż dziś mamy wiele innych technik

obrazowania medycznego, jak ultrasonografia czy rezonans magnetyczny, które ściśle rzecz biorąc trudno określić jako polegające na prześwietleniu jakimś promieniowaniem, lekarza stosującego te metody nadal nazywa się radiologiem.

Może się wydawać dziwne, że na prześwietleniu rentgenowskim ciemne kolory pokazują miejsca, w których promieniowanie przeszło przez pacjenta, zaś promienie, które nie przeszły przez ciało zaznaczone są na białą. Ta konwencja pochodzi z czasów, gdy prześwietlenia były robione na kliszy fotograficznej. Po obróbce chemicznej (nazywanej wywołaniem zdjęcia) przybierała ona ciemną barwę tam, gdzie dotarło do niej fotony. Kości na prześwietleniu widoczne były jako białe, ponieważ silnie pochłaniały przechodzące przez ciało promieniowanie, nie dopuszczając go do kliszy.

Pierwsza obserwacja promieni X miała miejsce 8 listopada 1895. Roentgen badał wówczas tak zwane promieniowanie katodowe, czyli strumień rozprzeczonych elektronów, które uderzając w szklaną tarczę powodowały jej świecenie. Tego dnia akurat używana przez niego aparatura była zasłonięta szczelnie czarną tekturą. W pewnej odległości znajdowała się kartka z namalowaną za pomocą fluorescencyjnej farby literą „A”. Ani rozprzeczone elektrony, ani światło do kartki nie mogły dochodzić. Niemniej ku zdumieniu badacza litera „A” w trakcie eksperymentu świeciła. Wywnioskował z tego, że fluorescencyjne świecenie wywołało jakieś nieznane promieniowanie niewidzialne dla oka. Co więcej musiało ono być przenikliwe, skoro nie zatrzymała go czarna tektura.

Roentgen był dociekliwym i upartym naukowcem, a jego umysł był nie mniej przenikliwy od odkrytego pro-

¹ Dunn PM, Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923), the discovery of x rays and perinatal diagnosis. Archives of Disease in Childhood - Fetal and Neonatal Edition 2001; 84:F138-F139. <http://dx.doi.org/10.1136/fn.84.2.F138>

mieniowania. Przez parę tygodni z nikim nie dzielił się swoim odkryciem, zamknął się w laboratorium i prowadził badania. Wspierająca go zawsze żona Anna zadbała, by Wilhelm nie umarł w tym czasie z głodu. Pierwsze prześwietlenie rentgenowskie przedstawia właśnie dłoń kochającej małżonki z wyraźnie widocznym pierścieniem. W ten sposób ich wierna miłość od pierwszego wejrzenia przeszła do historii.

Promieniowanie X nie jest bardzo niebezpieczne w małej dawce. Jednak dziś wiemy, że wystawianie się na jego intensywne działanie przez dłuższy czas zwiększa ryzyko zachorowania na nowotwór. Początkowo nikt jego szkodliwości nie przypuszczał, spodziewano się raczej, że może mieć ono działanie lecznicze. Fascynaci odkrycia urządzali przedstawienia, coś w rodzaju teatru cieni. Na specjalnych fluorescencyjnych ekranach prezentowano poruszające się szkielety aktorów prześwietlanych promieniowaniem rentgenowskim. Dziś coś takiego byłoby nie do pomyślenia. W sklepach obuwniczych ustawiano urządzenia pozwalające obejrzeć prześwietloną stopę w bucie, a ministerstwo zdrowia Stanów Zjednoczonych polecało nawet za pośrednictwem propagandowego filmu stosowanie tej metody jako dobrej dla higieny stóp. Ich stosowanie zostało zakazane dopiero w latach pięćdziesiątych XX wieku.

Natura tajemniczego promieniowania

Natura odkrytych przez Roentgena promieni jest taka sama jak światła widzialnego, jedno i drugie są to fale elektromagnetyczne. W obu przypadkach energia niesiona jest w porcjach przez fotony, poruszające się z prędkością światła. Różnią się od siebie zakresem długości fal, więc również zakresem częstotliwości, która jest odwrotnie proporcjonalna do długości fali. Energia fotonów jest proporcjonalna do częstotliwości fali elektromagnetycznej zgodnie ze wzorem:

$$E_{\text{fotonu}} = \frac{ch}{\lambda} = hf$$

W powyższym wzorze f to częstotliwość, λ to długość fali elektromagnetycznej, c to prędkość światła, a współczynnik h nazywany jest stałą Plancka.

Pamiętając, że prędkość światła w próżni $c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, stała Plancka $h \approx 6.63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$, a ładunek elektronu $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ możemy porównać własności fotonów dla najkrótszej fali światła widzialnego, czyli fioletu i najdłuższej fali promieniowania X przechodzącej przez tkanki:

	światło widzialne fiolet	promieniowanie X w mammografii
długość fali	400 nm	0,08 nm
częstotliwość	750 THz	4 800 000 THz
energia fotonu [J]	$5 \cdot 10^{-19} \text{J}$	$3,2 \cdot 10^{-15} \text{J}$
energia fotonu [eV]	3,1 eV	20 000 eV

Promieniowanie rentgenowskie w dzisiejszych czasach wytwarzane jest na podobnej zasadzie, jak zrobił to jego odkrywca. Silnie rozpędzone elektrony zderzając się z zatrzymującą je metalową tarczą wysyłają fotony. Napięcie rozpędzające elektrony w lampach rentgenowskich używanych do prześwietleń medycznych wynosi od kilkunastu do stu kilkudziesięciu kilowoltów.

W lampie rentgenowskiej elektrony wydostają się z ujemnie naładowanej rozgrzanej elektrody (zwanej katodą), przyspieszane są przez pole elektryczne i z dużą prędkością uderzają w dodatnio naładowaną tarczę (zwaną anodą). Układ ten zamknięty jest w bańce próżniowej, aby nie dopuścić do powstania w zjonizowanym gazie łuku elektrycznego, co zniszczyłoby lampę. I bez tego



Wilhelm Conrad Roentgen [1]



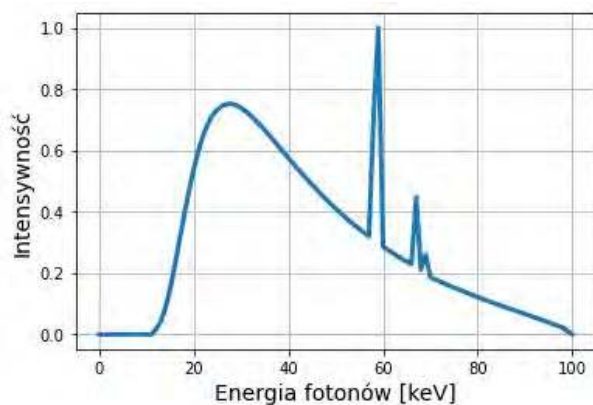
Jedno z pierwszych prześwietleń przedstawiające dłoń Anny Berty Roentgen, żony odkrywcy [2]



Takie urządzenia prześwietlające stopę w bucie były używane w sklepach w USA do lat 50-tych [3]



Lampa rentgenowska z wirującą anodą. Elektrony wylatują ze znajdującej się z prawej strony rozgrzanej katody. [4]



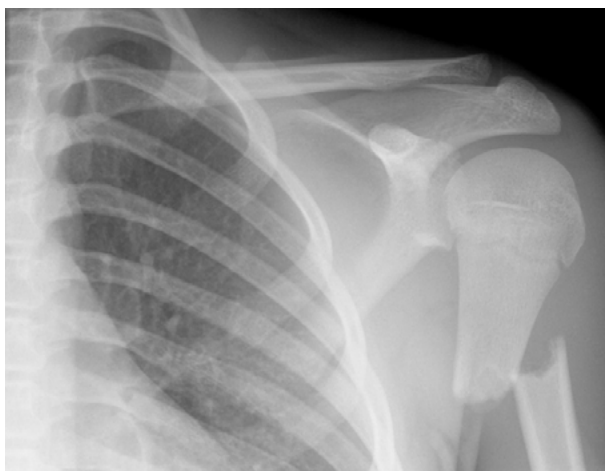
Widmo energetyczne, czyli intensywność wysyłania fotonów o różnych energiach przez lampę rentgenowską z anodą wolframową dla napięcia 100 kV. [5]

anoda silnie się rozgrzewa. Na ogół chłodzi się ją za pomocą omywającej z tyłu chłodnej cieczy (wody lub oleju). Efekt chłodzenia można uzyskać też dzięki wirowaniu anody, jak widać to na zdjęciu.

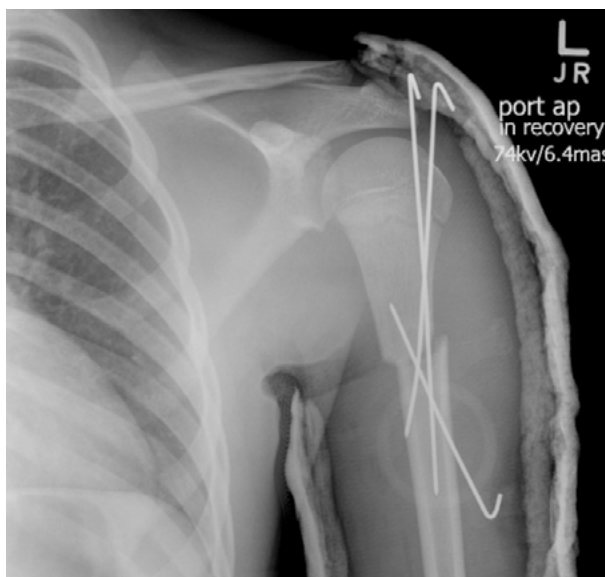
Dwa zjawiska fizyczne są odpowiedzialne za powstawanie promieni Roentgena. Pierwsze z nich zwane promieniowaniem hamowania towarzyszy zatrzymywaniu się elektronów zderzających się z anodą. Każda naładowana elektrycznie cząstka zmieniająca swoją prędkość emituje promieniowanie elektromagnetyczne. W tym wypadku elektrony gwałtownie wytracają prędkość w polu elektrycznym jąder atomowych tarczy. Ich droga hamowania wynosi parę milimetrów. Maksymalna energia fotonu promieniowania hamowania może być równa energii kinetycznej gwałtownie hamującego elektronu. Większość fotonów ma jednak mniejsze energie. Histogram liczby fotonów o różnej energii emitowanych w jednostce czasu na skutek promieniowania hamowania (czyli tak zwane widmo energetyczne) jest ciągłą funkcją w zakresie od zera do energii maksymalnej. Ale w praktyce fotony o energii poniżej 10 keV nie wydostają się z lampy.

Przykładowo jeśli napięcie U przyspieszające elektrony w lampie rentgenowskiej wynosiło 30 kV, to uzyskały one energię kinetyczną $eU = 30$ keV. Będzie to maksymalna możliwa energia fotonów X, ale większość fotonów opuszczających lampę będzie miała energię około 20 keV. Użyta tu jednostka elektronowolt ($1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$) jest wygodna w opisie energii cząstek. Energia fotonów światła fioletowego to ok. 3 eV. Minimalna energia potrzebna do zjonizowania atomów różnych pierwiastków wynosi od kilku do kilkunastu eV, co odpowiada energii fotonów promieniowania ultrafioletowego. Energia rentgenowskiego fotonu o energii 20 keV może wystarczyć do zjonizowania tysięcy atomów.

Rozpędzone w lampie rentgenowskiej elektrony często mają wystarczającą energię, aby wybijać z atomów tarczy najsilniej związane elektrony. Mówi się o nich, że znajdują się na tak zwanej energetycznej powłoce elektronowej K. Energia wiązania K dla cięższych pierwiastków wynosi od kilku do kilkudziesięciu kiloelektronowoltów. W wy-



Powyżej pęknięcie kości ramiennej widoczne na prześwietleniu rentgenowskim. Po prawej ta sama ręka wracająca do zdrowia, wzmocniona przyszpileniem metalowymi drutami oraz gipsem. [6]



niku wybicia elektronu z atomu powstaje „dziura”, która może zostać zapełniona przez inny elektron, słabiej związany. Spadaniu z wyższej powłoki elektronowej na niższą towarzyszy emisja fotonu o energii równej różnicy energii między tymi powłokami. Jest to drugi mechanizm odpowiedzialny za powstawanie promieniowania X. Energie fotonów powstałych w ten sposób nie mogą być dowolne, ale mogą przyjmować tylko niektóre, dobrze określone wartości, charakterystyczne dla pierwiastka, z którego wykonana została anoda. Dlatego powstałe w ten sposób fotony X nazywane są promieniowaniem charakterystycznym. Jego widmo energetyczne składa się z kilku wąskich pików, w odróżnieniu od widma energetycznego promieniowania hamowania, które jest ciągłą, gładką linią. Na wykresie przedstawiającym widmo energetyczne fotonów wysyłanych przez lampę rentgenowską możesz zobaczyć nałożenie się tych dwóch zjawisk jako szerokiego pagórka z kilkoma sterczącymi pikami.

Pochłanianie promieniowania rentgenowskiego o danej energii opisuje liniowy współczynnik pochłaniania (oznaczany grecką literą μ). Jego wartość zależy silnie od liczby atomowej (oznaczanej literą Z) pierwiastków wchodzących w skład substancji znajdującej się na drodze wiązki fotonów X. Jak wiadomo, związki organiczne budujące ciało człowieka składają się głównie z pierwiastków o małej liczbie atomowej: węgla ($Z=6$), tlenu ($Z=8$),

wodoru ($Z=1$). Inaczej sprawa ma się z kośćmi, które zbudowane są w dużej części ze związków wapnia, który ma większą liczbę atomową ($Z=20$). Dlatego na prześwietleniu rentgenowskim kości tak silnie wyróżniają się na tle mięśni. Pochłanianie zależy też od gęstości pochłaniającej substancji, dlatego płuca wypełnione powietrzem widoczne są jako ciemniejsze od innych tkanek. Stopień pochłonięcia wiązki fotonów zależy też od grubości przeszkody, dlatego ramię jest jaśniejsze na prześwietleniu niż palec.

Gdy na drodze fotonu znajdzie się jakiś atom, foton może przekazać całą swoją energię jednemu elektronowi wchodzącemu w skład chmury elektronowej tego atomu. Nazywane jest to efektem fotoelektrycznym. Wówczas foton znika, zaś elektron wylatuje z atomu z energią kinetyczną równą energii fotonu pomniejszonej o energię wiązania elektronu. W ten sposób początkowo obojętny elektrycznie atom zostaje obdarzony dodatnim ładunkiem elektrycznym, czyli zostaje zjonizowany. Wybitny elektron może następnie wybijać kolejne elektrony z kolejnych atomów, tamte elektrony wybijają jeszcze kolejne elektrony itd. Jeden foton może być pośrednio odpowiedzialny za zjonizowanie setek a nawet tysięcy atomów, dlatego mówi się, że promieniowanie X ma charakter jonizujący. Efekt fotoelektryczny jest głównym zjawiskiem odpowiedzialnym za pochłanianie fotonów rentgenowskich w ciele człowieka. To dzięki niemu możemy zobaczyć obraz na prześwietleniu.

Może się też zdarzyć, że foton rentgenowski przechodzący przez przeszkodę nie zostanie wprawdzie pochłonięty, ale za to zmieni swój kierunek na skutek zderzenia ze znajdującym się na jego drodze swobodnym lub słabo związanym elektronem. Nazywamy to zjawiskiem Comptona. Obie cząstki – foton i elektron zachowują się wtedy niczym zderzające się kule bilardowe. O ile dzięki pochłanianiu fotonów powstaje na prześwietleniu obraz wnętrza człowieka (gdyż różne tkanki mają różne współczynniki pochłaniania), o tyle rozpraszanie fotonów jest dla obrazu niekorzystne, gdyż fotony lecące w przypadkowych kierunkach zmieniają jasność zdjęcia w przypadkowych miejscach. Mówi się o tym, że fotony rozproszone wnoszą do obrazu szum.

W służbie medycyny

Odkrycie promieni Roentgena zapoczątkowało nową dziedzinę wiedzy, jaką jest obrazowanie medyczne. Zrewolucjonizowało to podejście do diagnostyki medycznej. Chlubną kartę zapisała w tym nasza noblistka Maria Skłodowska Curie, która w trakcie trwania I wojny światowej jeździła wzdłuż frontu przez siebie dostosowanym samochodem z polowym sprzętem do prześwietleń rentgenowskich. Sama je wykonywała i uczyła tej sztuki innych. Zdobyła pieniądze na zakup 20 podobnych samochodów, nadzorowała tworzenie pokoi radiologicznych w 200 szpitalach polowych, wyszkoliła 150 pielęgniarek. Przypisuje się jej uratowanie w ten sposób życia pośrednio setek tysięcy francuskich żołnierzy².

Intensywność wiązki fotonów przechodzących przez przeszkodę zanika wykładniczo z odległością, tym szybciej im większa jest wartość liniowego współczynnika pochłaniania. Jeśli na przeszkodę o współczynniku pochłaniania μ i grubości x padło N_0 fotonów rentgenowskich, to spodziewamy się, że liczba fotonów niepochłoniętych wyniesie:

$$N = N_0 e^{-\mu x}$$

Jeśli po przejściu przez grubość przeszkody $x_{1/2}$ liczba fotonów spadła dwukrotnie, po przejściu dalej przez taką samą grubość spadnie znowu dwukrotnie, czyli w stosunku do początkowej liczby czterokrotnie itd. Grubość warstwy połowicznego zaniku zależy od liniowego współczynnika pochłaniania:

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

i jest różna dla różnych substancji i dla różnych energii fotonów X.

Poniżej podano przykładowe przybliżone wartości μ oraz $x_{1/2}$:

substancja	energia fotonów X	μ	$x_{1/2}$
mięśnie	20 keV	$0,5 \text{ cm}^{-1}$	1 cm
mięśnie	100 keV	$0,02 \text{ cm}^{-1}$	30 cm
ołów	20 keV	800 cm^{-1}	0,0009 cm
ołów	100 keV	20 cm^{-1}	0,03 cm

² Jorgensen TJ. How Marie Curie Brought X-Ray Machines To the Battlefield. Smithsonian magazine. 11.10.2017. <https://www.smithsonianmag.com/history/how-marie-curie-brought-x-ray-machines-to-battlefield-180965240/>.



Madame Curie w swoim pierwszym wozie radiologicznym podczas I wojny światowej. [7]



Typowy aparat rentgenowski do prześwietleń na leżąco i na stojąco. [8]

Początkowo zdolności rozdzielcze aparatów rentgenowskich czyniły z nich narzędzie nadające się zwłaszcza do badania pękniętych kości lub do znajdowania odłamków pocisków utkwionych w ciele. Z czasem jakość prześwietleń poprawiła się na tyle, że mogą dziś służyć do diagnostyki bardzo wielu schorzeń. Jeszcze do niedawna szeroko prowadzone były w Polsce przesiewowe prześwietlenia płuc w celu wykrycia przypadków gruźlicy. W każdym roku słyszymy o akcjach zachęcających kobiety do wykonywania profilaktycznych badań mamograficznych, czyli prześwietleń piersi. Celem takiego badania jest zaobserwowanie mikroskopijnych zwapnień, które mogą być symptomem nowotworu. Odkrycie tej choroby we wczesnym daje duże szanse wyleczenia.

W diagnostyce stosuje się promieniowanie rentgenowskie o energii fotonów w zakresie od około 15 do 150 keV. Promieniowanie o niskiej energii z tego zakresu (mówi się o nim, że jest miękkie) przydaje się do prześwietlania części ciała o niewielkich rozmiarach. Pozwala ono uzyskać dobrą jakość prześwietlenia dzięki temu, że dla małych energii więcej fotonów jest pochłanianych niż rozpraszanych, dzięki czemu obraz jest mało zaszumiony. Kiedy jednak prześwietlamy duże części ciała lub interesuje nas bardziej obraz kości niż tkanek miękkich, użyjemy raczej promieniowania o wysokiej energii (zwanego twardym).

Dodatkowym sposobem uczynienia prześwietlenia rentgenowskiego bardziej wyraźnym jest podanie pacjentowi substancji kontrastującej zawierającej pierwiastek o odpowiednio dużej liczbie atomowej. Wykorzystuje się do tego między innymi związki jodu, który ma jeszcze większą liczbę atomową od wapnia ($Z=53$). Pochłaniają one promieniowanie silniej niż krew i tkanki miękkie. Po wstrzyknięciu odpowiedniego roztworu do układu krwionośnego można wyraźnie zaobserwować przebieg naczyń krwionośnych w postaci jasnych, rozgałęziających się kanałów.

Prześwietlenie promieniowaniem rentgenowskim początkowo robiono na światłoczułej błonie fotograficznej. Jest to przezroczysta folia pokryta emulsją zawierającą chlorek lub bromek srebra, którego cząsteczki zmieniają właściwości pod wpływem padających na nie fotonów. Po zastosowaniu procedury wywołania i utrwalania, na takiej

błonie pojawiał się trwały obraz w odcieniach szarości. Wielu czytelników może nie pamiętać już czasów, kiedy wszystkie aparaty fotograficzne wykorzystywały podobne rozwiązanie. Dziś błony używają tylko hobbisci, w cyfrowych aparatach zastąpiły ją półprzewodnikowe matryce. Nie inaczej stało się w rentgenografii, chociaż w wielu szpitalach znajdziemy jeszcze bardziej tradycyjne aparaty.

Sama błona fotograficzna lub półprzewodnik nie są wystarczająco czułym detektorem. Ze względu na ich małą grubość, fotony o dużej energii dość łatwo mogą je przeniknąć przez nie pozostawiając śladu. Dlatego, by uzyskać lepszy efekt, przed światłoczułą matrycą umieszcza się kryształ z jodku sodu, który jest przezroczysty dla światła widzialnego, ale pochłania promieniowanie rentgenowskie. Kryształ taki ma taką właściwość, że kiedy wypłynie foton o dużej energii, zamienia go na błysk wielu fotonów widzialnych, o dużo mniejszej energii, które zostawiają wyraźny ślad na błonie.

Promieniowanie rentgena wykorzystuje się też do śledzenia ruchu wewnętrznych narządów, na przykład serca. Można też nim badać przemieszczanie się płynów w naczyniach krwionośnych, jeśli przez specjalny cewnik wprowadzi się do krwi płyn kontrastujący. Obraz obserwuje się na ekranie ekranie świecącym pod wpływem promieniowania X. Zjawisko to nazywa się fluorescencją, a rentgenowskie badanie ruchu w czasie rzeczywistym nazywa się fluoroskopią. Wynik takiego badania rejestrowany jest w postaci filmu.

Trzeci wymiar

We wszystkich wyżej omówionych sposobach oglądania ludzkiego wnętrza stykamy się z jednym problemem: jedne części ciała są zasłaniane przez inne. Zdjęcie rentgenowskie jest płaskie, brakuje w nim trzeciego wymiaru. Lekarz radiolog zna dobrze anatomię, jeśli można tak powiedzieć – trzeci wymiar ma w głowie, wyobraża go sobie na podstawie znajomości budowy ciała ludzkiego. Jednak wyobrażenia, nawet kiedy bazuje na dużym doświadczeniu, może mylić. Lekarz zna typową anatomię zdrowego pacjenta, wie też, jak wyglądają typowe patologie, jednak wielu pacjentów nie jest typowych. Sam fakt, że ktoś zachorował, oznacza, że w jakimś sensie przestał być całkiem typowy.

Gdybyśmy umieli zrobić w jakiś sposób zdjęcie trójwymiarowe, radiologia uzyskałaby zupełnie nową jakość.

Potrzeba matką wynalazków. W 1972 r. brytyjski inżynier Godfrey Hounsfield zbudował pierwszy tomograf komputerowy, czyli urządzenie pozwalające uzyskać trójwymiarowy obraz wnętrza ciała ludzkiego. Pierwsze jego badania posłużyły analizie chorób mózgu. Kilka lat wcześniej pochodzący z Afryki Południowej fizyk Allan McLeod Cormack opublikował prace teoretyczne pokazujące jak na podstawie wykonanych pod różnymi kątami prześwietleń wiązką promieniowania X zrekonstruować przekrój ciała człowieka. Wprawdzie nie pracowali razem, jednak wyniki ich pracy zostały nagrodzone w 1979 r. wspólną nagrodą Nobla z fizjologii i medycyny.

Pomysł zamienienia jednego płaskiego prześwietlenia na szereg równoległych przekrojów rozpoczął nową erę w obrazowaniu medycznym. Powstało później wiele innych trójwymiarowych technik obrazowania diagnostycznego, wykorzystujących inne zjawiska fizyczne, takie jak emisja fotonów gamma w wyniku rozpadu promieniotwórczego, rezonans magnetyczny lub fale ultradźwiękowe. Często określa się je również mianem tomografii, bo nawiązują do pomysłu Hounsfielda i Cormacka.

Wynalazek rentgenowskiej tomografii komputerowej możliwy był dzięki rozwojowi maszyn liczących. Na podstawie wykonanej serii prześwietleń pod różnymi kątami, odpowiednie algorytmy informatyczne dokonują rekonstrukcji przestrzennego rozkładu różnych rodzajów tkanek, których kształty można rozpoznać dzięki różnicom w pochłanianiu w różnych punktach. Płaskie prześwietlenie przedstawia się na ekranie komputera jako ciemniejsze i jaśniejsze piksele. Trójwymiarowa rekonstrukcja składa się natomiast z wokseli, jak nazywa się punkty na obrazie przestrzennym mające oprócz szerokości i wyso-

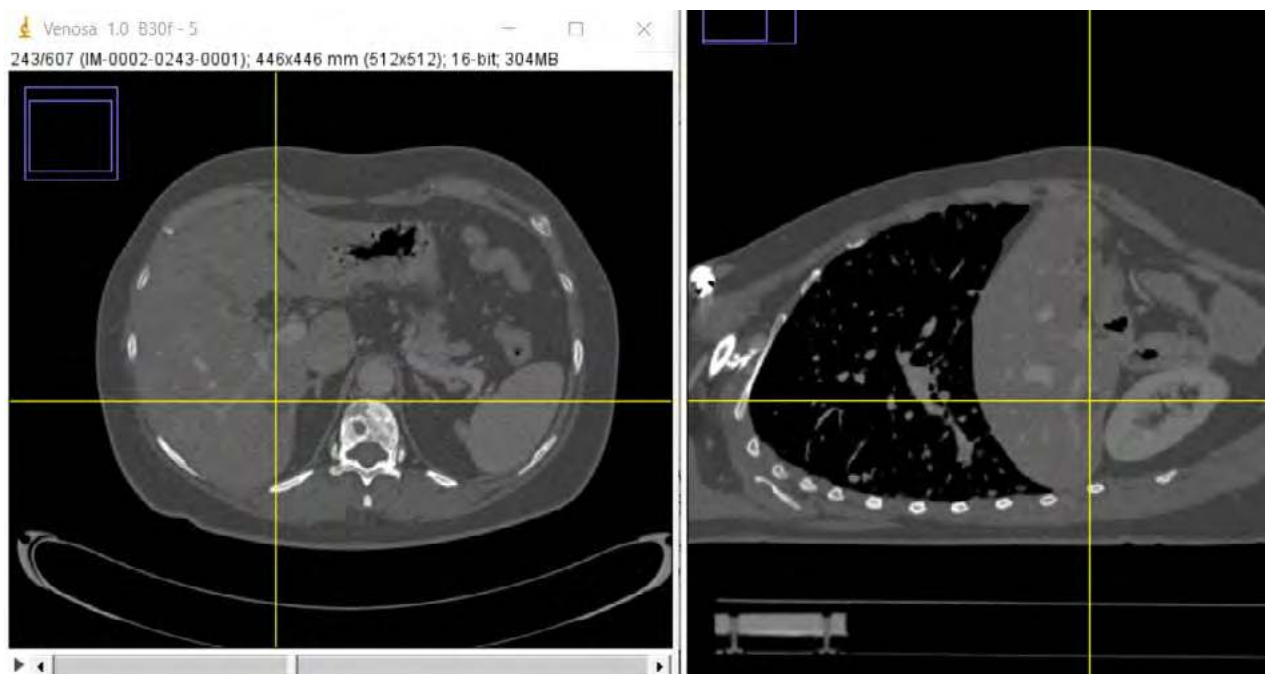
kości również głębokość. Krawędź woksela wynosi zwykle około 1 mm.

Nazwa „tomografia” pochodzi z połączenia greckich słów *τομή*, *tomé*, „przekrój” oraz *γράφειν*, *gráfein*, „zapisywać”. Jej wynik najczęściej prezentuje się w postaci przekrojów pacjenta, które radiolog może za pomocą klawiatury lub myszki wybierać, a następnie analizować wzrokowo. Czy tylko spostrzegawczość lekarza decyduje o zaobserwowaniu jakiejś patologii? Tak było dawniej. Dziś coraz częściej stosuje się do analizy obrazów wyszukane algorytmy, wśród nich tak zwane głębokie sztuczne sieci neuronowe, imitujące sposobem działania korę wzrokową. Tu pojawia się interesujące pytanie: czy w przyszłości maszyny całkowicie zastąpią radiologów w ich pracy? A może w ogóle we wszystkim komputery zastąpią ludzi? Nie narzucając własnej opinii, zachęcam do dyskusji na ten temat.

Niszczące działanie

Promieniowanie Roentgena pełni bardzo ważną pozytywną rolę w medycynie, niesie jednak ze sobą zagrożenia, z których trzeba zdawać sobie sprawę i ich unikać. Fotony X, przekazując energię cząsteczkom wody lub innym cząsteczkom chemicznym, prowadzą do powstawania w komórkach tak zwanych rodników, czyli cząsteczek lub atomów z niesparowanym elektronem. Obiekty takie są bardzo aktywne chemicznie, wprowadzają zmiany w organizację struktury innych cząsteczek, w wyniku czego mogą powstawać kolejne rodniki. Kiedy w takim łańcuchu chemicznych przemian weźmie udział cząsteczka DNA znajdująca się w komórce, czasem może oznaczać to zmianę w kodzie genetycznym.

Na ogół komórka potrafi sobie z takimi zdarzeniami poradzić, uruchamiając odpowiednie mechanizmy naprawcze



Przekroje poprzeczny i podłużny tomografii komputerowej pacjenta onkologicznego. Żółte linie przecinają się na zmianie nowotworowej w wątrobie. Na przekroju poprzecznym patrzmy od strony nóg, dlatego wątroba jest widoczna po lewej stronie. Wyraźnie widać też płuca, żebra, kręgosłup i nerki. Czy umiesz je odnaleźć?

albo po prostu umiera, albo też zmiana ta nie okazuje się mieć znaczenia. Czasami jednak w takim procesie może powstać mutacja powielanej wraz z podziałem komórki. Niektóre, bardzo specyficzne mutacje, rozpoczynają nowotwór. Jest to zjawisko rzadkie, którym rządzi przypadek, poza tym mutacje mogą zachodzić też bez kontaktu z promieniowaniem jonizującym. Wyniki badań pokazują jednak, że osoby narażone na większe dawki promieniowania są bardziej zagrożone nowotworem.

Energia przekazana przez promieniowanie w wyniku jonizacji jednostce masy ciała nazywana jest dawką promieniowania. Jednostką fizyczną dawki jest grej, $1\text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$. W kontekście medycznym dawkę podaje się częściej w siwertach (Sv), uwzględniając przy tym specjalne przeliczniki na wrażliwość różnych narządów. Ze względu na trudne do jednoznacznego przewidzenia skutki promieniowania jonizującego przyjmuje się zasadę ALARA, co jest skrótem od hasła „As Low As Reasonably Achievable”, czyli „tak nisko jak jest to rozsądnie osiągalne”. Na wszelki wypadek lepiej być ostrożnym.

Jedno zdjęcie rentgenowskie płuc przekazuje dawkę promieniowania rzędu 1 mSv. To dużo czy mało? Polskie prawo traktuje 1 mSv jako akceptowalną dawkę promieniowania jonizującego od źródeł sztucznych (nie medycznych) na mieszkańca w ciągu roku. Ale od samego promieniowania tła docierającego z gleby i z kosmosu Polacy otrzymują rocznie dawkę średnio 2,5 mSv. Norwegowie otrzymują zaś od promieniowania tła roczne dawki między 10 a 35 milisiwertów. Ludzie tam żyją, cieszą

się dobrym zdrowiem, trudno byłoby wykazać, jaki ma to wpływ na ich zachorowalność na nowotwory. Widać więc, że dopóki znajdujemy się w obszarze małych dawek, tym bardziej kiedy są one rozłożone w czasie, niebezpieczeństwo promieniowania jonizującego nie jest tak oczywiste.

Nie zmienia to faktu, że powinno się stosować zasadę ALARA, czyli nie aplikować promieniowania Roentgena bez dostatecznej przyczyny. Należy chronić lekarzy i pacjentów, a zwłaszcza ich bardziej delikatne części ciała, stosując ołowiane zasłony lub fartuchy z ołowiem nie przepuszczające promieni X. Umieszcza się też specjalne dozymetry na ubraniu pracowników wystawionych na możliwe promieniowanie jonizujące, aby kontrolować, jak bardzo są narażeni, i w razie czego skierować ich na dodatkowe badania zdrowia lub urlop.

O ile niewielkie dawki promieniowania jonizującego tylko zwiększają prawdopodobieństwo zachorowania (a najczęściej w ogóle nie muszą do choroby prowadzić), o tyle większe dawki podane w krótkim czasie mogą być nawet zabójcze. Ale również ta ich zabójczość może zostać wykorzystana do... uratowania życia. No cóż, broń, jak sama nazwa wskazuje, służy do tego, by się bronić, nawet jeśli robi się to przez atak. Tak właśnie się dzieje, kiedy silną wiązką promieniowania X traktuje się wroga, jakim jest nowotwór. Wykorzystuje się tu fakt, że komórki nowotworowe są bardziej podatne na zabicie przez promieniowanie niż komórki zdrowe. Takie leczenie pacjentów onkologicznych nazywa się radioterapią fotonową.



Portret kobiety autorstwa Edgara Degasa [9]



Rekonstrukcja portretu innej kobiety odkrytego pod obrazem Degasa za pomocą promieniowania X [10]

Energie fotonów wykorzystywanych w radioterapii są dużo większe niż te używane w diagnostycznych aparatach rentgenowskich. Powstają w wyniku zderzenia elektronów rozpędzonych w specjalnych akceleratorach z ustawioną na ich drodze hamującą je tarczą. Nie jest to procedura ani równie łatwa, ani równie tania jak zwykle prześwietlenie. Jednak wiele szpitali onkologicznych dysponuje oprogramowaniem i sprzętem pozwalającym z bardzo dobrą dokładnością zaplanować i przeprowadzić ten trudny zabieg. Trzeba to zrobić w taki sposób, aby skutecznemu niszczeniu nowotworu towarzyszyło przekazanie jak najmniejszej dawki promieniowania zdrowym tkankom. Działanie takie wiąże się z ryzykiem powikłań, ale w wypadku nowotworów złośliwych może okazać się sposobem na uratowanie życia. Planowanie radioterapii jest wynikiem współpracy całych zespołów specjalistów, wśród których istotną rolę odgrywa osoba z wyższym wykształceniem fizycznym.

W służbie sztuki i nauki

Z pomocą promieniowania Roentgena można prześwietlać różne inne obiekty niż ludzkie ciało. Konserwatorzy sztuki prześwietlają promieniami Roentgena obrazy, aby poznać ich historię. Zdarzało się, że pod powierzchnią farby olejnej odkrywano wcześniejsze, później zamalowane próby artysty. Tak na przykład prześwietlenie przedstawiającego kobietą twarz obrazu francuskiego impresjonisty Edgara Degasa pokazało, że pod spodem znajdował się obraz innej kobiety, skądinąd portretowanej również przez innych francuskich malarzy³. Podobnych odkryć dokonano wiele, badanie za pomocą promieni X weszło dziś do standardowych metod konserwatorów i historyków sztuki. W ten sposób rozwinięte techniki fizyczne przysługują się dziś również humanistom.

Promienie Roentgena są falami elektromagnetycznymi o długości fali porównywalnej z wielkością atomów. Pozwala to na wykorzystanie ich dyfrakcji na atomach do badania struktury kryształów lub skomplikowanych związków chemicznych. Nazywa się to krystalografią. Ten sposób poznawania mikrostruktury materii pozwolił wyjaśnić jedną z wielkich zagadek: w jaki sposób zapisany jest w komórkach ludzkiego ciała przepis na życie? Przyczyniło się do tego odkrycie, że cząsteczka DNA będącego nośnikiem informacji genetycznej w komórkach ludzi i zwierząt, ma charakterystyczny kształt podwójnej helisy. Nagrodę Nobla za to w dziedzinie Fizjologii i Medycyny otrzymali w 1962 r. James Watson, Francis Crick i Maurice Wilkins.

Obserwacje promieniowania X przez dostosowane do tego celu sondy kosmiczne wykorzystywane są też w badaniach kosmosu. Właśnie w styczniu tego roku nowy satelita NASA i Włoskiej Agencji Kosmicznej IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer) orbitujący 600 km nad równikiem rozpoczął obserwacje polaryzacji promienio-

wania rentgenowskiego pochodzącego z odległych obiektów. Pierwszym jego naukowym celem jest Kasjopeja A, obłok gorącej materii pozostały po wybuchu supernowej w naszej galaktyce około 11 tys. lat świetlnych od nas. Jej temperatura sięga 30 milionów Kelwinów, a badania polaryzacji dochodzącego od niej promieniowania rentgenowskiego mają pozwolić określić rozkład pola magnetycznego⁴.

Fizyka medyczna

Promieniowanie X w ciągu 126 lat od jego odkrycia przestało być tak tajemnicze, znalazło za to wiele praktycznych zastosowań. Na liście nagród Nobla związanych z promieniami Rentgena można doszukać się 40 pozycji. Duża część z nich dotyczy krystalografii, tylko niektóre dotyczą badań ciała człowieka. Nie znajduje się wśród nich nobel Marii Skłodowskiej Curie, dotyczący trochę innego zagadnienia, jednak to właśnie jej wkład przyczynił się wyjątkowo do tego, że umiejętność wykorzystania promieniowania Roentgena trafiła pod strzechy. Jeśli nie pod strzechy domów, to przynajmniej bardzo licznych ośrodków zdrowia.

Ludzie tak jak ona inteligentni, a jednocześnie tak jak ona wrażliwi na los drugiego człowieka, doprowadzili do powstania nowej dziedziny fizyki: fizyki medycznej. Dziedziny wspierającej badanie i leczenie chyba najciekawszego obiektu w kosmosie, jakim jest ciało człowieka. Badania naukowe związane ze zdrowiem już dawno przestały być domeną tylko medyków, którzy wśród innych dziedzin wiedzy coraz częściej wykorzystują pomoc fizyków, matematyków, informatyków. Na wielu uniwersytetach i politechnikach można studiować kierunek o nazwie fizyka medyczna. Do studiowania którego chciałbym zaprosić inteligentnych i wrażliwych absolwentów szkół średnich.

ŹRÓDŁA ILUSTRACJI:

- [1] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/71/Roentgen2.jpg>
- [2] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/First_medical_X-ray_by_Wilhelm_R%C3%B6ntgen_of_his_wife_Anna_Bertha_Ludwig%27s_hand_-_18951222.gif
- [3] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e8/Hauenstein_Pedoskop.jpg/800px-Hauenstein_Pedoskop.jpg
- [4] Nadrljanski M, Banerjee D. X-ray tube. Reference article, Radiopaedia.org. (accessed on 31 Mar 2022) <https://doi.org/10.5334/rID-8177>. Permalink: <https://radiopaedia.org/articles/8177>.
- [5] rysunek uzyskany za pomocą: Poludniowski G, Landry G, DeBlois F, Evans PM, Verhaegen F. SpekCalc: a program to calculate photon spectra from tungsten anode x-ray tubes. Phys Med Biol. 2009 Oct 7;54(19):N433-8. doi: 10.1088/0031-9155/54/19/N01. Epub 2009 Sep 1. PMID: 19724100.
- [6] Davidson L. Proximal humeral fracture in child. Case study, Radiopaedia.org (accessed on 31 Mar 2022) <https://doi.org/10.5334/rID-6374>. Permalink: <https://radiopaedia.org/cases/6374>.
- [7] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Marie_Curie_-_Mobile_X-Ray-Unit.jpg
- [8] <https://dicomsolutions.com/stationary-x-ray/>
- [9] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Degas_-_Portrait_of_a_woman_%28Portrait_de_femme%29%2C_c._1876-1880.jpg
- [10] Thurrowgood D, Paterson D, de Jonge M et al. A Hidden Portrait by Edgar Degas. Sci Rep 6, 29594 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep29594>.

³ Thurrowgood D, Paterson D, de Jonge M et al. A Hidden Portrait by Edgar Degas. Sci Rep 6, 29594 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep29594>.

⁴ Kuligowska E. Satelita NASA IXPE rozpoczyna badania naukowe. Urania - Postępy Astronomii. 13.01.2022. (<https://www.uranian.edu.pl/wiadomosci/satelita-nasa-ixpe-rozpoczyna-badania-naukowe>)



Foto – Dreamstime

PRZEKAZ MEDIALNY W NAUCZANIU I POPULARYZACJI FIZYKI

Edward Rydygier

Pozaszkolne źródła pozyskiwania wiedzy

Twórcy reformy systemu edukacji założyli, że społeczeństwo będzie pozyskiwać wiedzę naukową ze źródeł pozaszkolnych, takich jak muzea nauki, pikniki i festyny naukowe oraz źródła medialne, jak prasa, telewizja i Internet. Na terenie szkoły różne podmioty oferują prowadzenie zajęć dodatkowych, imprez i wydarzeń jako formę edukacji pozaszkolnej. Są wśród nich instytucje publiczne, organizacje pozarządowe, ośrodki akademickie i naukowo-badawcze, firmy oraz osoby fizyczne. Media, w założeniu twórców reformy, miały spełniać zarówno rolę edukacyjną, jak i popularyzatorską. Spodziewano się, że rozwój technologii informatycznych wspomogą tradycyjne nauczanie szkolne oraz przyczyni się do stworzenia narzędzi służących uzupełnianiu wiedzy w życiu dorosłym.

Niestety, nie przewidziano zmian kulturowych w społecznym odbiorze nauki objawiających się obniżeniem autorytetu uczonego i nauczyciela, degrengoladą inteligencji, powszechnym przyzwoleniem na ignorancję, czy też obniżeniem standardów nauczania na uczelniach. Z kolei środki masowego przekazu uległy komercjalizacji, co spowodowało, że doniesienia naukowe są traktowane przez redakcje tak jak ciekawostki lub sensacje, a odkrywców traktuje się jak celebrytów. Nauczyciele określają te działania tabloizacją przekazu naukowego.

W mediach działalność środowiska naukowego traktowana jest z dystansem i często przedstawiana w sposób lekki, a nawet żartobliwy, co ma rzekomo ułatwić zrozumienie przekazu przez ogół odbiorców. Obserwu-

je się komercjalizację produktów z gatunku science-fiction. Dawniej filmy s-f skierowane były do elitarnej publiczności i zawierały wątki psychologiczne w futurologicznej sytuacji. Obecnie jest to komercja bazująca na stałych wątkach, takich jak wojny gwiazdne, podróże międzygalaktyczne („Star Trek”), tunele czasoprzestrzenne („Interstellar”), podróże w czasie (serial „Dark”), roboty podobne do ludzi (serial „Westworld”), teleportacja, a nawet prekognicja (film „Raport mniejszości”) – temat raczej z parapsychologii. Co więcej, sami naukowcy angażują się w s-f show biznes, demaskatorów jest niewielu.

Ignorancja wiedzy naukowej

W kontaktach międzyludzkich ignorowanie wiedzy naukowej nie jest w obecnych czasach uznawane za ułomność. Pracodawcom nie są potrzebni pracownicy o szerokiej wiedzy ogólnej, tylko specjaliści o wąskich, szczegółowych kompetencjach. Natomiast w życiu towarzyskim i publicznym liczy się wygląd, czyli ubiór, sylwetka i fryzura, a nie błyskotliwość umysłowa. W telewizji i w prasie kolorowej promowani są celebryci.

Badania socjologiczne wykazują ogólne obniżenie poziomu mentalnego współczesnego społeczeństwa, paradoksalnie nazywanego społeczeństwem informacyjnym (końcówka XX w.), a w XXI w. społeczeństwem wiedzy.

Powszechne obniżenie poziomu mentalnego przyczynia się do narastania zjawiska analfabetyzmu funkcjonalnego, a nawet wtórnego. Według badań międzynarodowych organizacji, takich jak PISA (Międzynarodowy Program Oceny Umiejętności Uczniów) czy OECD (Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju) blisko 40% Pola-

ków nie rozumie tego, co czyta, a kolejne 30% rozumie w niewielkim stopniu. Jako powody tej degradacji intelektualnej podaje się zanik nawyku czytania, bezrefleksyjne oglądanie telewizji oraz wzrastające ubóstwo znacznej części naszego społeczeństwa.

Okazuje się, że we współczesnym świecie wtórny analfabeta może bez większego wysiłku i bez przeszkód przejść przez życie, gdyż nie wymaga się od niego czytania gazet (informacji dostarczają mu telewizja i radio), nie musi pisać listów (listy zastąpiła rozmowa telefoniczna i SMS-y nadawane przez telefony komórkowe), życiorys czy podanie pisze rzadko, a i to według schematu; instrukcje obsługi, ulotki informacyjne dla ułatwienia zawierają przede wszystkim rysunki. Wiele redakcji czasopism, które dawniej starannie opracowywały artykuły, obecnie przygotowanie artykułu sprowadza do układania galerii zdjęć z podpisami.

Dzisiaj blisko 40 proc. Polaków nie rozumie tego, co czyta, a kolejne 30 proc. rozumie w niewielkim stopniu. Co dziesiąty absolwent szkoły podstawowej nie potrafi czytać. Aż 10 milionów Polaków (ok. 25 proc.) nie ma w domu ani jednej książki. Analfabetą funkcjonalnym jest co szósty magister w Polsce. 6,2 miliona Polaków znajduje się poza kulturą pisma, czyli nie przeczytało NIC, nawet artykułu w brukowcu. 40 proc. Polaków ma problemy z czytaniem rozkładów jazdy czy map pogodowych. To są dane tak niewiarygodne, że aż zabawne. A jednak napawają grozą” – mówił z okazji wręczenia nagrody Prix du Livre Europeen polski reżyser teatralny Krzysztof Warlikowski, który w 2018 r. wygłosił przemówienie na forum Parlamentu Europejskiego („Newsweek”, 12.09.2018).

Analfabetyzmem funkcjonalnym zagrożeni są nawet absolwenci szkół wyższych. Z badań OECD wynika, że co szósty magister w Polsce to analfabeta funkcjonalny. W badaniach porównano zdolności rozumienia tekstu i radzenia sobie z wyczytanymi informacjami u mieszkańców siedmiu państw: USA, Kanady, Polski, Niemiec, Szwajcarii, Holandii i Szwecji. W każdym kraju obserwowano ok. 3 tys. osób.

Okazało się, że Polacy gubili się przy zrozumieniu tak wydawałoby się prostych tekstów użytkowych, jak rozkład jazdy pociągów czy mapka pogody (40%). Trzy czwarte z nich nie dostrzegało związku między dwoma wykresami (jeden dotyczył sprzedaży petard, drugi liczby wypadków). W rezultacie – na najwyższym piątym i czwartym poziomie znalazło się zaledwie 3% Polaków. Do dwóch najsłabszych grup zaliczono natomiast prawie 80% mieszkańców naszego kraju. Co trzeciego uznano za analfabetę wtórny lub funkcjonalny, tym samym Polska zajęła ostatnie miejsce w tym rankingu.

Analfabetyzm fizyczny

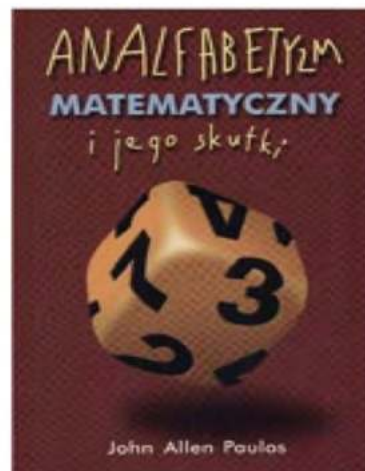
Rodzajem analfabetyzmu funkcjonalnego jest analfabetyzm fizyczny. Niestety, jest to zjawisko bagatelizowane, a tymczasem ma ono wpływ na obniżenie potencjału mentalnego społeczeństwa. Na rozwój analfabetyzmu fi-

zycznego ma wpływ przyjęty system edukacji oraz przemiany kulturowe społeczeństwa. Nowe cele nauczania, jak umiejętności, użyteczność kosztem pozyskania wiedzy ogólnej skutkuje brakiem dokonywania selekcji i weryfikacji pozyskiwanej wiedzy w oparciu o różne źródła informacji, a redukcja programów nauczania przedmiotów przyrodniczych utrudnia rozumienie rozwoju nauki i wagi najnowszych osiągnięć naukowych. Przemiany kulturowe w społecznym odbiorze nauki i traktowaniu naukowców polegają na utracie prestiżu przez naukowców i nauczycieli, degrengoladzie inteligencji, powszechnym przyzwoleniu na ignorancję, masowości nauczania w szkolnictwie wyższym kosztem obniżenia standardów nauczania.

Ignorancja nauk przyrodniczych (przede wszystkim matematyki, a potem fizyki i techniki) stwarza warunki do promowania pseudonauki.

Termin „analfabetyzm matematyczny” spopularyzował matematyk z Temple University w Filadelfii w Pensylwanii, John Paulos, który wyjaśnił, że jest to: *Brak elementarnej swobody w posługiwaniu się liczbami i w ocenianiu prawdopodobieństwa, który nęka zbyt wielu skądinąd wykształconych obywateli. Ci sami ludzie, których szokują pomyłki w użyciu słów takich jak „implikować” i „wnioskować”, nie okazują zmieszania z powodu najbardziej nawet jaskrawych gąf związanych z liczbami. Jedną z rzadko omawianych konsekwencji analfabetyzmu matematycznego jest jego związek z wiarą w pseudonaukę. To szczególnie smutne, że w społeczeństwie, w którym inżynieria genetyczna, technologia laserowa i mikroelektronika codziennie wzbogacą nasze rozumienie świata, tak wielu dorosłych ludzi wciąż wierzy w karty Tarota, moc kryształu i media zapewniające łączność z tamtym światem* (por. John Allen Paulos, „Analfabetyzm matematyczny i jego skutki”, Wyd. Oświatowe, Gdańsk, pierwsze wydanie 1988).

Badania przeprowadzone przez Europejski Urząd Statystyczny „Eurostat” wykazały, że co trzeci mieszkaniec Unii Europejskiej jest „informatycznym analfabetą”. Tego typu analfabetów najwięcej jest w Grecji – 65%, Włoszech – 59% oraz na Cyprze i w Portugalii (54%), a najmniej w krajach skandynawskich: Danii i Norwegii (po 10%), Szwecji (11%).



Rys. 1. John Allen Paulos, „Analfabetyzm matematyczny”

Analfabetyzm fizyczny obejmuje też środowisko dziennikarzy. Niestety, mimo że redaktorom brakuje wiedzy z zakresu nauk przyrodniczych, redakcje zaprzestały korzystania z pomocy konsultantów naukowych. Analfabetyzmowi fizycznemu dziennikarzy sprzyja obniżenie społecznego prestiżu naukowców i nauczycieli, a komercjalizacja mediów narzuca ciągłą pogoń za sensacją, co przenosi się na obszar publikacji o tematyce naukowej.

Informacje naukowe w mediach

W obecnym świecie media traktują doniesienia naukowe tak, jak ciekawostki lub sensacje, a odkrywcy kreują na celebrytów (konkursy dla naukowców na prezentację swoich osiągnięć w ciągu kilku minut). Jeśli chodzi o większe opracowania dotyczące prezentacji badań naukowych, to zawierały one wiele błędów, czy też pomyłek świadczących o tym, że dziennikarze posiadają ograniczoną wiedzę na tematy naukowe. Od pewnego czasu (na większą skalę po 2019 r.) śledząc doniesienia prasowe na tematy naukowe można zaobserwować zmianę w formie przekazu informacji naukowych.

Informacje naukowe w mediach przybrały formę komunikatów ogólnych, bez precyzowania wielkości fizycznych, jednostek, wzorów, pojęć, czyli tam gdzie najczęściej dochodziło do błędów. Wiele ośrodków naukowych i uczelni akademickich przy pomocy własnych rzeczników prasowych opracowuje materiały dla prasy, a także prowadzi specjalne elektroniczne porady naukowe wyjaśniające w sposób przystępny dla społeczeństwa zjawiska fizyczne oraz prowadzone badania i odkrycia naukowe. Popularyzacja naukowa została scedowana na czasopisma popularnonaukowe zatrudniające konsultantów naukowych i korzystające z autorskich materiałów naukowców posiadających także umiejętności dziennikarskie.

Popularyzacja fizyki za pomocą mediów

Popularyzowanie nauki towarzyszy jej rozwojowi. Popularyzacja ułatwia szerokiemu gronu odbiorców zrozumienie tego, co dzieje się w nauce, ale jest trudna, gdyż wymaga elementarizowania skomplikowanych metod poznawczych, rezultatów badań, ich konsekwencji i zastosowań. Dawniej narzędziami popularyzacji były książki, artykuły prasowe, a także otwarte wykłady. W miarę rozwoju technologii przekazu informacji do popularyzacji zaczęto wykorzystywać radio, telewizję, Internet, a ostatnio tzw. nowe media, jak facebook, youtube czy twitter. Swoje strony internetowe z aktualnościami mają praktycznie wszystkie instytucje naukowe na czele z Polską Akademią Nauk, uczelnie, instytuty naukowo-badawcze.

Działalność popularyzatorska wymaga od ludzi nauki umiejętności publicystycznych, opanowania warsztatu pracy dziennikarza, a w przypadku wykorzystania nowych technologii informatycznych, także opanowania specyficznych metod komunikacji, dostosowania się do języka, którym mówią odbiorcy. Naukowcy w Polsce metody komunikacji sieciowej traktują z niechęcią, uważają je za niepoważne, a tymczasem na świecie naukowcy próbują wykorzystać nowe technologie informatyczne w popularyzacji nauki konstruując np. gry sieciowe.

Na polskim rynku wydawanych jest kilka czasopism popularnonaukowych: m.in. „Świat Nauki” – edycja polska „Scientific American”, „Wiedza i Życie”, „Świat wiedzy”, „Focus”. Warto też wymienić portal Polskiej Agencji Prasowej – Nauka w Polsce.

Nowoczesna popularyzacja fizyki

Wykorzystanie nowych mediów do popularyzacji nauki budzi w Polsce obawy środowiska profesorskiego, gdyż wydaje się być zajęciem niepoważnym. Argumentem za wykorzystywaniem w popularyzacji nowych technologii informatycznych jest możliwość dotarcia do takich kręgów odbiorców, które za pomocą tych środków czerpią wiedzę o świecie. Poza tym portale społecznościowe dają możliwość bezpośredniego dotarcia do konkretnego człowieka.

Obecnie także popularyzacja książkowa musi odejść od formy tradycyjnej, czyli opowiadania o istocie i osiągnięciach danej dziedziny nauki. Nowatorstwo może polegać na podbudowie treści merytorycznych ciekawym rysem historycznym, co trafia do czytelnika o zainteresowaniach humanistycznych (por. Ian Stewart, „17 równań które zmieniły świat”). Narracja przyjmuje też oryginalną formę fantastyczną, jak np. rozmowy z psem (por. Chad Orzel, „Jak nauczyć fizyki swojego psa”) czy formę klasycznej science-fiction (por. Cixin Liu, „Problem trzech ciał”).

Ian Stewart, autor książki „17 równań które zmieniły świat” (Wyd. Prószyński i S-ka, Warszawa 2012) jest profesorem matematyki na Uniwersytecie Warwick i członkiem The Royal Society. Książka stanowi historię rozwoju ludzkości opowiedzianą za pomocą siedemnastu równań. Autor twierdzi, że: *Równania to siła życiowa matematyki, nauk ścisłych i technologii. Bez nich nie moglibyśmy poznawać świata, który nas otacza. Równania to model tego, co obserwujemy w świecie, a ich potęgą wynika z faktu, że pozwalają nam nie tylko zrozumieć, ale i kształtować rzeczywistość.*

Chad Orzel, autor książki „Jak nauczyć fizyki swojego psa” (Wyd. Prószyński i S-ka, Warszawa 2012) ukończył Wydział Fizyki w Williams College, a doktorat z chemii fizycznej uzyskał na Uniwersytecie Marylandzkim. Jest profesorem na Wydziale Fizyki i Astronomii w Union College w Schenectady, stan Nowy York. Autor z wielkim poczuciem humoru i w klarowny sposób wyjaśnia swojemu psu, co to jest fizyka kwantowa i jak funkcjonuje, co powoduje, że czytelnik postrzega inaczej cały świat.

Forma science-fiction do popularyzacji nauki jest używana w różny sposób. Niektórzy popularyzatorzy próbują wykorzystać utwory science-fiction, w tym także filmy (np. „Star Trek”), do wyjaśniania odbiorcom, które rozwiązania techniczne opisane przez autora mają sens naukowy, a które są już czystą fantazją. Uczynił tak Ian Stewart (por. trzy tomy „Nauki Świata Dysku”, napisane wspólnie z Terryem Pratchettem i Jackiem Cohenem).

Fantastyką naukową opartą na „twardej” nauce i w dodatku rozgrywającą się w środowisku fizyków, jest światowy bestseller chińskiego inżyniera elektryka Cixin Liu pt. „Problem trzech ciał”, laureata nagrody Hugo dla najlepszej powieści w 2015 r., po raz pierwszy w historii przyznanej tłumaczonemu tekstowi. Mark Zuckerberg,



Rys. 2. Cixin Liu, trylogia „Wspomnienia o przeszłości Ziemi”

twórca Facebooka, uznał ją za jedną z najbardziej wartych przeczytania książek 2015 r., a prezydent Barack Obama zabrał ją na urlop na Hawajach. Jest to pierwszy tom trylogii „Wspomnienie o przeszłości Ziemi” porównywalnego z klasycznymi cyklami s-f, jak „Fundacja” czy „Diuna. Przetłumaczono już na język polski kolejne tomy, część II pt. „Ciemny las”, 2017, i część III „Koniec śmierci. Wspomnienia z przeszłości”, 2018 (Dom Wydawniczy REBIS, Poznań).

Cixin Liu (ur. 1963 r.), który opublikował 20 powieści i antologii z gatunku hard science-fiction jest inżynierem z wykształcenia, mimo statusu literackiej gwiazdy kontynuuje pracę w elektrowni. Chiński cykl s-f „Problem trzech ciał”, „Ciemny las”, „Koniec śmierci” stał się wydawniczym fenomenem w USA.

Akcja „Problemu trzech ciał” (chińskie wyd. 2006 r.) zaczyna się w czasie rewolucji kulturalnej, w której bohaterka powieści Ye Wenjie była świadkiem śmierci swego ojca fizyka z rąk hunwejbínów. Sama została zesłana do tajnej bazy wojskowej „Czerwony Brzeg”, gdzie uczestniczyła w programie wysyłania sygnałów w kosmos w poszukiwaniu obcych cywilizacji. Niespodziewanie to ona w końcu nawiązała pierwszy kontakt. Po latach naukowiec Wang Miao zostaje powołany w skład komisji badającej przyczyny samobójstw czołowych fizyków. W trakcie dochodzenia dociera do gry komputerowej o niestabilnym świecie Trzech Ciał. Okazuje się, że świat tej gry wcale nie jest fikcją, ale projekcją obcej cywilizacji, która wysłała ku Ziemi armadę wezwaną przez Ye Wenjie.

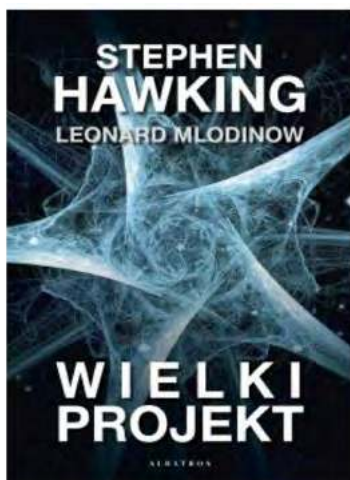
„Ciemny las” (chińskie wyd. 2008 r.) opisuje sytuację, gdy mieszkańcy Ziemi nie mogą otrząsnąć się z szoku po odkryciu, że za czterysta lat czeka ich inwazja kosmitów. Ruch na rzecz Ziemskiej Trisolaris został pokonany, ale obcy dzięki sofonom mają dostęp do wszystkich gromadzonych przez ludzi informacji. Tylko to, co się dzieje w ludzkich umysłach, pozostaje przed nimi ukryte. Staje się to bodźcem dla stworzenia programu „Wpatrujących się w Ścianę”, opracowania tajnych strategii, niemożliwych do rozszyfrowania zarówno dla Trisolarian, jak i dla Ziemian.

W trzecim tomie trylogii „Koniec śmierci”, pół wieku po bitwie w dniu Sądu Ostatecznego groźba powiadomienia Wszechświata o położeniu Trisolaris wciąż powstrzymuje kosmitów przed opanowaniem Ziemi. Natomiast dzięki zdobyciu trisolariańskiej wiedzy Ziemia przeżywa wyjątkowy okres dobrobytu. Ludzka nauka się rozwija, a Trisolarianie poznają ziemską kulturę, więc wydaje się, że obie cywilizacje będą mogły dalej współpracować. W tej epoce budzi się z hibernacji Cheng Xin, ekspertka techniczna z początków dwudziestego pierwszego wieku. Przynosi ze sobą wiedzę o zapomnianym programie z czasów kryzysu, który może na zawsze zburzyć równowagę między dwoma światami.

Popularyzacja w wykonaniu sławnych fizyków

Profesor Stephen Hawking, słynny brytyjski fizyk teoretyk i kosmolog, który w latach 1979-2009 był profesorem matematyki na Uniwersytecie Cambridge, a następnie dyrektorem Centrum Kosmologii Teoretycznej na tejże uczelni zajmował się także popularyzacją nauki. Wraz z Leonardem Młodinowem napisał kolejną po „Krótkiej historii czasu”, „Teorii wszystkiego”, „Wszechświecie w skorupce orzecha” książkę popularnonaukową „Wielki Projekt” (Wyd. ALBATROS, Warszawa, 2019).

„Wielki Projekt” okazał się dziełem, które rozpoczęło gorące dyskusje w środowisku naukowym, jak i wśród osób wierzących i ateistów. „Wielki Projekt” to dzieło wizjonerskie, stanowiące autorski przewodnik po odkryciach, które na nowo kształtują poglądy na istotę życia i mogą podważyć podstawowe założenia wiary. Hawking upublicznił w tej książce swoje poglądy na stworzenie świata: *Wszechświat nie stworzył ani Bóg, ani istoty nadprzyrodzone. Wszechświat powstał w sposób spontaniczny w wyniku działania fundamentalnych praw grawitacji. Nie trzeba przywoływać Boga, aby opisać proces stworzenia.* Wydawnictwo uważa, że Hawking daje odpowiedzi, których nie zdołał znaleźć Einstein, gdyż przedstawia ostateczną zagadkę życia i wszechświata. Natomiast „Publishers Weekly” tak zachwala koncepcję Hawkinga:



Rys. 3. Stephen Hawking, Leonard Mlodinow, „Wielki projekt”

Nikt w sposób równie przystępny jak Hawking nie potrafił odpowiedzieć na trzy podstawowe pytania filozofii i nauki: Dlaczego istnieje raczej coś niż nic? Dlaczego istniejemy my? Dlaczego Wszechświatem rządzi właśnie ten konkretny zbiór praw, a nie inny?

Odwwołanie do Einsteina przypomina znaną w swoim czasie książkę popularnonaukową „Ewolucja fizyki” – plon rozmów Leopolda Infelda (1898-1968) i Alberta Einsteina (1879-1955) prowadzonych podczas lat wspólnej pracy w Princeton. „Ewolucja fizyki” (wyd. polskie, Wydawnictwo Prószyński i S-ka), Warszawa 1998) jako pierwsza w historii jeszcze przed „Krótką historią czasu” Stephena Hawkinga gościła wiele tygodni na listach bestsellerów, dochodząc nawet do pierwszego miejsca. Do chwili obecnej ukazało się blisko 200 wydań „Ewolucji fizyki” w niemal wszystkich językach świata.

Wykorzystanie fizyki w reklamie

Fizyka jest wykorzystywana na afiszach filmowych czy w reklamach biznesowych, ale niestety w sposób wprowadzający zamieszanie w odbiorze. Na afiszach filmowych rozpowszechnianych na warszawskich przystankach komunikacji miejskiej, bohater filmu SAMSAM



Rys. 4. Afisz filmu „SAMSAM”



Rys. 5. Reklama projektu „Chmury krajowej”

miał być „szybszy od światła”, gdyż posiadał w sobie „supermoc” (to chyba jakaś parapsychologia).

Natomiast w reklamie „Chmury Krajowej” został wykorzystany zapis matematyczny drugiej zasady dynamiki i wizerunek Newtona „z jabłkiem” do prezentacji pseudonaukowego wzoru na przyspieszenie innowacji (m.in. reklama na billboardzie przy ul. Rzymowskiego w Warszawie, w pobliżu Toru Wyścigów Konnych na Służewcu).

Konkluzje – propozycje poprawy sytuacji

Z uwagi na to, że media, a zwłaszcza telewizja, mają obecnie ogromny wpływ na społeczeństwo, Polskie Towarzystwo Fizyczne powinno wymóc na redakcjach utrzymywanie właściwego poziomu merytorycznego artykułów i programów naukowych, np. poprzez korzystanie z pomocy konsultantów naukowych działających w PTF.

Na postrzeganie nauki przez społeczeństwo ma wpływ wiele czynników, jednak w efekcie wdrożenia nowego systemu edukacji absolwenci nie są przygotowani do dalszego pozyskiwania wiedzy w dorosłym życiu, w tym do selekcji pozyskiwanej wiedzy poprzez porównywanie informacji uzyskanych z różnych źródeł. Zbytne nakierowanie ucznia na posiadanie umiejętności pozbawiło go znajomości wiedzy ogólnej, a przez to utrudniło mu elastyczność w poszukiwaniu zatrudnienia. Mimo stworzenia możliwości pozyskiwania wiedzy pozaszkolnej, szkoła nie przygotowała absolwentów do samodzielnego pozyskiwania wiedzy naukowej w dorosłym życiu.

W aspekcie ogólnospołecznym państwo powinno zatrzymać rugowanie fizyki ze szkół, oraz wdrożyć narzędzia pomocne do zmiany opinii społecznej postrzegania fizyki jako przedmiotu trudnego i stresującego ucznia, a promować wśród młodzieży postawę intelektualisty, a nie ignoranta.

Edward Rydygier

fizyk jądrowy, dr nauk techn.

jest aktywistą Sekcji Nauczycielskiej PTF, posiada tytuł Fizyka Europejskiego (EurPhys), działa jako blogger zrzeszony w Stowarzyszeniu Polskich Mediów i posiada legitymację prasową.

Artykuł na podstawie plakatu z Sesji Posterowej 47 Zjazdu Fizyków Polskich w 2021 r. w Bydgoszczy

Międzyszkolny Interdyscyplinarny Konkurs „Bajki Lema”

Ewa Trybalska

Jako miłośniczka twórczości Stanisława Lema, od kilku lat zastanawiałam się, jak wykorzystać ją w praktyce szkolnej, ukazać uczniom jej piękno i bogactwo treści fizyko-chemicznych. Trudno w rzeczywistości szkolnej, w pogoni za realizacją podstawy programowej, chęcią przygotowania uczniów do matury, znaleźć czas na taką dodatkową aktywność. A jednak temat nie dawał mi spokoju. Zaproponowałam nauczycielom chemii, fizyki i języka polskiego w mojej szkole – V LO z Oddziałami Dwujęzycznymi im. Andrzeja Struga w Gliwicach zorganizowanie Międzyszkolnego Interdyscyplinarnego Drużynowego Konkursu „Bajki Lema”. Impreza ta wpisała się obchody roku 2021, ogłoszonego Rokiem Stanisława Lema w 100-letnią rocznicę urodzin tego wielkiego filozofa i futurologa.

Konkurs przygotowaliśmy w zespole, w skład którego wchodziły: nauczycielki języka polskiego, panie Ewelina Zygan i Ilona Kulisz, uczące fizyki - pani Beata Zimnicka oraz pani Dagmara Czerwińska-Wróbel, oraz nauczycielki chemii: pani Anna Partyka-Petrak i ja.

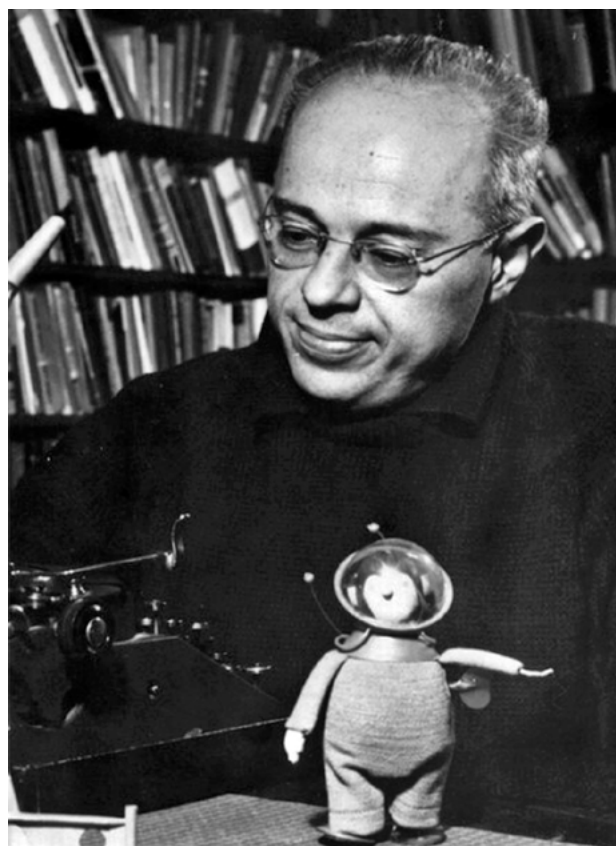
Do udziału w konkursie zaprosiliśmy uczniów gliwickich szkół ponadpodstawowych i ponadgimnazjalnych. Każda szkoła mogła wystawić maksymalnie dwie drużyny. W części szkół było więcej chętnych uczniów i trzeba było przeprowadzić eliminacje. Zadaniem uczniów było przeczytanie „Bajek robotów” przed konkursem i dobranie się w trzyosobowe zespoły, w skład których wchodziłi eksperci z języka polskiego, fizyki i chemii.

1. Cele konkursu:

- Kulturowanie roku Stanisława Lema.
- Zaznajomienie młodzieży z twórczością Stanisława Lema.
- Pobudzenie świadomości literackiej młodzieży.
- Rozpowszechnienie interdyscyplinarności przedmiotów humanistyczno-przyrodniczych.
- Integracja młodzieży i środowiska lokalnego.
- Ukazanie bogactwa treści fizyko-chemicznych w twórczości Stanisława Lema.

2. Przebieg konkursu:

- Każda drużyna otrzymała pełny tekst bajki „Uranowe uszy”, zadania z nią związane z trzema dziedzinami: językiem polskim, fizyką i chemią oraz maturalne tablice



danych fizyko-chemicznych. Uczniowie mogli korzystać z kalkulatorów.

- Został ustalony maksymalny czas rozwiązywania zadań to 45 minut.
- Uczniowie zostali poinformowani, że zwycięży zespół, który uzyska najwięcej punktów.
- W przypadku uzyskania równej ilości punktów zwyciężyć miała ta drużyna, która pierwsza odda arkusze konkursowe. Jury zapisywało godzinę oddania prac na arkuszach drużyn.

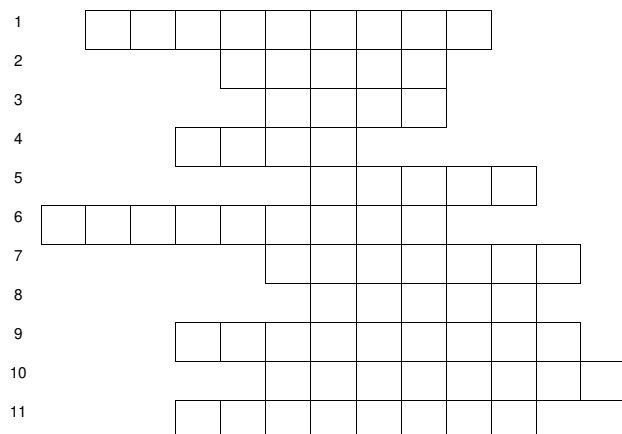
Duże znaczenie miało dla nas wprowadzenie odpowiedniej atmosfery by spotkanie nie przypominało nieprzyjemnego egzaminu czy też stresującego sprawdzianu. Miało to być święto - chęć wyrażenia uznania dla dorobku Stanisława Lema i zachęcenie uczniów by sięgnęli po „Solaris”, „Przygody kapitana Pirxa...” „Szpital Przemienienia”.

Zamysł ten powiódł się. Konkurs odbywał się w miłej atmosferze. Uczniom bardzo spodobała się jego formuła. Nie bez znaczenia było to, iż byli oni stęsknieni za takimi spotkaniami, których pozbawił ich długi okres pandemii koronawirusa. Uczestnicy ocenili pomysł konkursu i jego realizację bardzo wysoko, a co najważniejsze deklarowali, iż sięgną po kolejne książki z dorobku Stanisława Lema.

Konkurs zawierał zadania, które były zgrupowane w trzech częściach: część I – „Język polski”, część II – „Fizyka”, część III – „Chemia”. Dla zwiększenia komfortu pracy jury po konkursie, każda z tych części została wydrukowana na osobnej kartce. Za poprawne rozwiązanie każdej części drużyna mogła otrzymać maksymalnie 6 punktów.

Część 1. „Język polski”

Wpisz rozwiązania krzyżówki, podaj hasło i wyjaśnij jego znaczenie w odniesieniu do utworu.



1. Nazwa planety, na której żył Kosmogonik.
2. Wynalazca telegrafu na planecie Architora.
3. Materiał, z którego była zrobiona płytka przykrywająca dukat.
4. Z jakiej rudy Kosmogonik bił dukaty?
5. W co wrzucił uczeń puzderko Kosmogonika z niewidzialnym promieniem?
6. Z jakiej grupy pierwiastków składała się trzecia planeta utworzona przez Kosmogonika?
7. Miejsce bicia dukatów.
8. Kto otrzymał zadanie pilnowania gwiazdy od Kosmogonika?
9. Co Kosmogonik wykroił z blachy kadmowej?
10. Ile rąk miał Architor?
11. Kim był Kosmogonik?

HASŁO:

Wyjaśnij znaczenie hasła w odwołaniu do treści utworu:

.....

Część 2. „Fizyka”

Informacja do zadań 1-3

Załóżmy, że planeta Aktynuria stworzona przez Kosmogonika ma czterokrotnie mniejszą gęstość niż Ziemia, ale ma taki sam promień.

$$g_z \approx 10 \frac{m}{s^2}, \quad G \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}, \quad M_z \approx 6 \cdot 10^{24} kg,$$

$$R_z \approx 6,4 \cdot 10^6 m, \quad V_{Iz} \approx 7,9 \frac{km}{s}$$

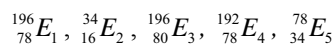
Zad. 1. Oblicz ciężar ucznia Kosmogonika, który znalazłby się na biegunie tej planety, załóż, że jego masa jest równa 80 kg.

Zad. 2. Oblicz, ile wynosiłaby wartość pierwszej prędkości kosmicznej dla tej planety.

Zad. 3. Oblicz, jaki byłby okres obiegu naturalnego satelity planety Aktynurii, gdyby znajdował się on w takiej samej odległości od planety co Księżyc od Ziemi. Okres obiegu Księżyca wokół Ziemi wynosi 28 dób

Część 3. „Chemia”

Zad. 1. Dane są nuklidy:



Które z poniższych nuklidów są izotopami tego samego pierwiastka? Podaj symbol i położenie tego pierwiastka w układzie okresowym.

Są to izotopy pierwiastka o symbolu i położeniu w układzie okresowym:

Zad. 2. Izobary, to atomy różnych pierwiastków o takich samych liczbach masowych, a izotony to atomy różnych pierwiastków o takich samych liczbach neutronów.

Nuklidy dwóch sąsiadujących ze sobą w układzie okresowym pierwiastków - wapnia i potasu – oznaczono w zadaniu literami X, Y i Z. Nuklidy Y i Z to izotopy, nuklidy X i Y to izobary, a nuklidy X i Z to izotony. Liczba masowa nuklidu X jest dwa razy większa od jego liczby atomowej, która wynosi 20.

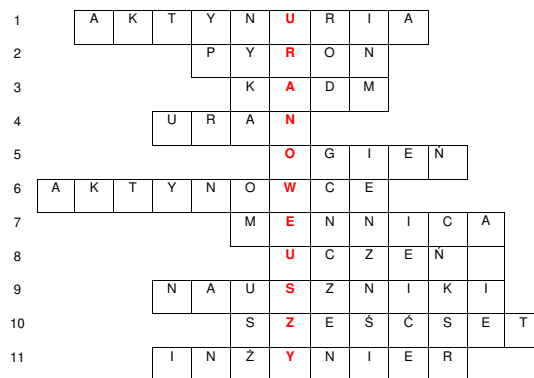
Uzupełnij poniższe pola liczbami atomowymi, masowymi i symbolami chemicznymi atomów X, Y i Z

X: -- Y: -- Z: --

Zad. 3. Oblicz masę jednego atomu ołowiu wyrażoną w gramach.

Rozwiązania:

Część 1. „Język polski”



Część 2 „Fizyka”

Zad. 1. 2p

$$F_{gz} = \frac{G \cdot M_z \cdot m}{R_z^2} \quad M_z = \rho_z \cdot V_z = \rho_z \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot R_z^3$$

$$F_{gz} = \frac{G \cdot \rho_z \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot R_z^3}{R_z^2} = G \cdot \rho_z \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot R_z$$

$$F_{gA} = G \cdot \rho_A \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot R_A = G \cdot 0,25 \cdot \rho_z \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot R_z = 0,25 F_{gz}$$

$$F_{gA} = 0,25 \cdot 80 kg \cdot 10 \frac{m}{s^2} = 200 N \quad 1p.$$

Zad. 2.

$$F_{gA} = 0,25 F_{gz} \Rightarrow g_A = 0,25 \cdot g_z \quad 1p.$$

$$V_{Iz} = \sqrt{\frac{G \cdot M_z}{R_z^2}} = \sqrt{g_z \cdot R_z} \quad 1p.$$

$$V_{IA} = \sqrt{g_A \cdot R_Z} = \sqrt{0,25 \cdot g_Z \cdot R_Z} = 0,5 \sqrt{g_Z \cdot R_Z}$$

$$= 0,5 \cdot V_{IZ} \approx 4 \frac{km}{s}$$

Zad.3

$$\frac{r_K^3}{T_K^2} = \frac{G \cdot M_Z}{4 \cdot \pi^2} \Rightarrow r_K^3 = \frac{G \cdot M_Z}{4 \cdot \pi^2} \cdot T_K^2$$

$$r_K^3 = r_A^3 \cdot \frac{G \cdot M_Z}{4 \cdot \pi^2} \cdot T_K^2 = \frac{G \cdot M_A}{4 \cdot \pi^2} \cdot T_A^2$$

$$\frac{G \cdot M_Z}{4 \cdot \pi^2} \cdot T_K^2 = \frac{G \cdot 0,25 \cdot M_A}{4 \cdot \pi^2} \cdot T_A^2$$

$$T_K^2 = 0,25 \cdot T_A^2$$

$$T_A = 2 \cdot T_Z = 56 \text{ dób}$$

Część 3. „Chemia”

Zad.1.

Izotopami są E_1 i E_4

Są to izotopy pierwiastka o symbolu Pt i położeniu w układzie okresowym: 6 okres, 10 grupa

Zad. 2.

X- ${}^{40}_{20}\text{Ca}$, Y- ${}^{40}_{20}\text{K}$, Z- ${}^{39}_{19}\text{K}$

Zad. 3.

$$\frac{207}{6,02^{23}} = \frac{x}{1} \quad x = 3,44 \cdot 10^{-22} \text{ g}$$

Co w fizyce piszczy

Nagroda Nobla z fizyki 2022

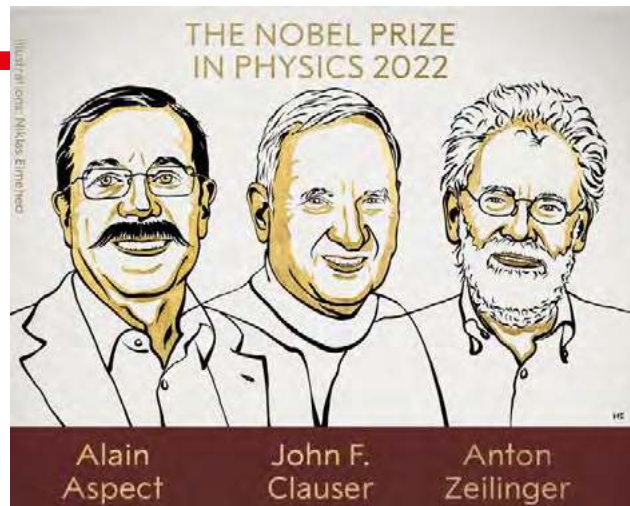
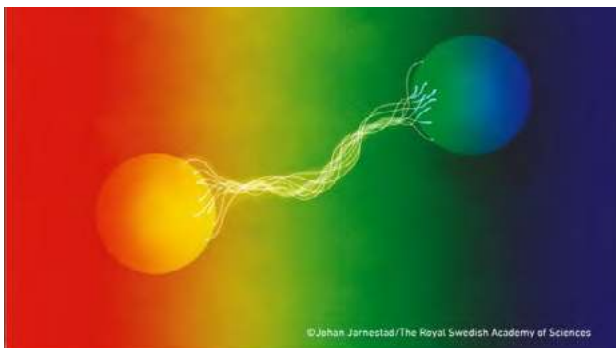
Tegoroczną Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki otrzymali Alain Aspect, John F. Clauser i Anton Zeilinger za pionierstwo w dziedzinie mechaniki kwantowej.

Laureaci przeprowadzili przełomowe eksperymenty z wykorzystaniem splątanych stanów kwantowych, w których dwie cząstki zachowują się jak pojedyncza jednostka, nawet gdy są rozdzielone. Ich wyniki uitorowały drogę dla nowej technologii opartej na informacjach kwantowych.

Obecnie istnieje duża dziedzina badań obejmująca komputery kwantowe, sieci kwantowe i bezpieczną szyfrowaną komunikację kwantową.

Jednym z kluczowych czynników w tym rozwoju jest sposób, w jaki mechanika kwantowa pozwala dwóm lub większej liczbie cząstek istnieć w tak zwanym stanie splątanych. To, co dzieje się z jedną z cząstek w splątanej parze, decyduje o tym, co dzieje się z drugą cząstką, nawet jeśli znajdują się od siebie daleko.

Przez długi czas pytanie brzmiało, czy korelacja wynika z tego, że cząstki w splątanej parze zawierają ukryte zmienne, instrukcje, które mówią im, jaki wynik mają dać w eksperymencie? W latach 60. John Stewart Bell rozwinął matematyczną nierówność, którą nazwano jego imieniem. Oznacza to, że jeśli istnieją ukryte zmienne, korelacja między wynikami dużej liczby pomiarów nigdy nie przekroczy pewnej wartości. Jednak mechanika kwantowa przewiduje, że pewien rodzaj eksperymentu naruszy nierówność Bella, powodując w ten sposób silniejszą korelację, niż byłaby możliwa w innym przypadku.



John Clauser, amerykański fizyk, przeprowadzając praktyczne eksperymenty dowiódł naruszenia nierówności Bella. Oznaczało to, że mechaniki kwantowej nie można zastąpić teorią wykorzystującą ukryte zmienne. Splątane cząstki tworzą jedną, niezakłóconą przez dzielącą je odległość, całość. Jeden stan kwantowy.

Francuski fizyk, Alain Aspect uzupełnił lukę w eksperymentach Clausera. Jego eksperymenty potwierdziły, że mechanika kwantowa działa bez zarzutu. Nie ma żadnych ukrytych zmiennych, które tłumaczyć by miały fenomen splątania.

Korzystając z udoskonalonych narzędzi i długich serii eksperymentów, austriacki fizyk Anton Zeilinger zaczął wykorzystywać splątane stany kwantowe. Jego grupa badawcza wykazała między innymi zjawisko zwane teleportacją kwantową, które umożliwia przenoszenie stanu kwantowego z jednej cząstki na drugą na odległość.

Alain Aspect, ur. 1947 w Agen we Francji. Doktorat 1983 z Paris-Sud University, Orsay, Francja. Profesor na Université Paris-Saclay i École Polytechnique, Palaiseau, Francja.

John F. Clauser, urodzony w 1942 r. w Pasadenie, Kalifornia, USA. Doktorat 1969 z Columbia University, Nowy Jork, USA. Fizyk Badawczy, J.F. Clauser & Assoc., Walnut Creek, CA, USA.

Anton Zeilinger, ur. 1945 w Ried im Innkreis w Austrii. Doktorat 1971 na Uniwersytecie Wiedeńskim, Austria. Profesor na Uniwersytecie Wiedeńskim, Austria.

Żywoty fizyków

William Sturgeon

(1783 – 1850)

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

Tadeusz Wibig



Jest chyba najjaskrawszym przykładem niesprawiedliwości historii, a historii fizyki w szczególności. Zaczniemy jednak od początku.

Miał ciężkie dzieciństwo, co nie było znów tak rzadkie. Przypominał w tym względzie trochę współczesnego mu Michela Faradaya, choć przy Sturgesonie Faraday mógł uchodzić za dziecko szczęścia. Urodził się w Carnford w Anglii jako syn Johna Sturgeona szewca, znanego w okolicy kłusownika. Do nielegalnych połowów łososi używał on małego Williama, który z pochodnią w rękę brodził w nocy po rzece Lune, podczas gdy jego ojciec zabijał wabione światłem ryby. Matka Williama zmarła, gdy miał on 10 lat.

William jako syn szewca miał zostać szwecem i został nawet oddany do terminu do Old Hutton. Jednak w 1802 roku postanowił zerwać z dotychczasową szewską egzystencją i zaciągnął się do milicji hrabstwa Westmorland, a dwa lata później wstąpił do 2-go Batalionu Artylerii Królewskiej z Woolwich. Mimo trudnego czasu wojen napoleońskich William nigdy nie trafił na front. Stacjonując na Nowej Funlandii obserwując gwałtowne burze zainteresował się zjawiskami elektrycznymi w atmosferze i w ogóle.

Niewytłumaczalny pęd do wiedzy sprawił, że William nauczył się czytać i pisać, co dotąd nie było mu do niczego potrzebne, a pewien sierżant, posiadacz kilku książek na różne tematy, pozwolił mu korzystać ze swej kolekcji. No i William, może też z nudów zaczął studia. Studiował matematykę, języki obce, optykę i ogólnie filozofie przyrody, czyli dziś fizykę.

Opuścił armię w 1820 roku w stopniu bombardiera (odpowiednik starszego szeregowca), gdy miał już 37 lat. Przez chwilę zarabiał na życie jako szewc w Lancaster, ale szybko przeniósł się do Woolwich i zajął się wyrobem przyrządów naukowych. Początkowo na potrzeby swoich własnych eksperymentów, a potem i na rozkwitający rynek londyński. Poznał wtedy wielu naprawdę mądrych ludzi związanych z Królewską Akademią Wojskową w Woolwich, wśród których należy wymienić przede wszystkim Petera Barlowa.

W roku 1823, zaledwie trzy lata po odkryciu Hansa Christiana Ørstedta, gdy pokazał on, że prąd elektryczny

płynący po drucie wytwarza wokół niego pole magnetyczne oddziałujące na igłę kompasu, Sturgeon zbudował pierwszy na świecie prawdziwy elektromagnes. Nawinął on na ćwierćkilogramowy pręt z miękkiego żelaza, który zagiął w kształt podkowy 16 zwojów drutu i przepuszczając przezeń prąd był w stanie utrzymać czterokilogramowy ciężar!

Trudno wyobrazić sobie dzisiejszy świat bez elektromagnesów. Mamy je małe w słuchawkach do smartfonów i wielkie w hutach do przerzucania ton stalowego złomu. Bez odkrycia Sturgeona Bell nie zbudowałby telefonu. Nie byłoby telegrafu, radia i w ogóle chyba niczego. A kto go dziś pamięta?

Ale to nie koniec. Aby uzyskać odpowiednio duże prądy w swoich elektromagnesach, Sturgeon istotnie udoskonalił ogniwo cynkowe przedłużając znacznie jego żywotność.

Jesienią 1932 roku Sturgeon przedstawił światu silnik elektryczny prądu stałego.

Może nie było to pierwsze urządzenie do zamiany energii elektryczną w energię ruchu obrotowego, bo pierwszy był Faraday ze swoim silnikiem homopolarnym i wspomniany już Barlow ze swoim kołem, ale one nie nadawały się zupełnie do jakiegokolwiek wykorzystania praktycznego.

Silnik Sturgeona wyposażony był w komutator. Ten mały drobiazg pozwalał w odpowiednich momentach zmieniać kierunek prądu w uzwojeniach przyciągających obracający się stały magnes, dzięki czemu obracał się on w kółko i w kółko. Kwestia, komy należy się pierwszeństwo w wynalezieniu komutatora nie jest tak naprawdę rozstrzygnięta do końca. Niektórzy uważają, że wynalazł go Anglik William Ritchie, inni, że Francuz Antoine-Hippolyte Pixii. W tym samym 1832 roku niezależnie od siebie zbudowali oni generatory zamieniające energię ruchu obrotowego w prąd (stały – Ritchie i zmienny – Pixii), ale tak w ogóle pierwszym mógł być Węgier Ányos István Jedlik, który miał zbudować pierwszy na świecie silnik elektryczny prądu stałego, z komutatorem rzecz jasna, już w roku 1827 (albo 1828). Kłopot w tym, że nikomu o tym nie powiedział publikując doniesienie o swoim wynalazku dopiero dziesięć lat później.

Dość tajemniczą jest sprawa innego wynalazku, którego autorem był, albo nie był Sturgeon. Jednym z ważniejszych problemów w eksperymentalnej nauce o elektryczności płynącej po drutach było zmierzenie tego, jak duży jest ten prąd. Dziś w ogóle się nad tym nie zastanawiamy i bierzemy do ręki amperomierz, ale w latach 30 XIX wieku nie było jeszcze sklepów z amperomierzami. Nie było nawet ampera, a André Ampère właśnie zszedł był z tego świata. Faraday, odkrywca znanego ze szkoły prawa elektrolizy ($m = k \cdot I \cdot t$) forsował metodę określania ilości ładunku, jaki przepłynął przez drut na podstawie ilości gazu wydzielanego przy elektrolizie wody (w ustalonych i kontrolowanych warunkach). Metoda ta była bardzo nieprecyzyjna i wysoce kłopotliwa. Można też było użyć obracającej się igły kompasu (Ørsted). Kłopot w tym, że magnesy stałe (igły kompasów) reagowały na wszelkie zewnętrzne pola magnetyczne i ich zaburzenia pochodzące nie tylko od prądu, jaki chcemy zmierzyć. Sturgeon opierając się na swoim bogatym doświadczeniu z badań siły oddziaływania elektromagnesów mógł zbudować, a może i zbudował urządzenie znane dziś jako „galwanometr z ruchomą cewką”. Zastosowanie ruchomej cewki, przez którą płynąć miał interesujący nas prąd i nieruchomych magnesów było pomysłem genialnym.

Dziś galwanometry z ruchomą cewką nazywa się galwanometrami D'Arsonvala/Westona (Jacques-Arsène d'Arsonval był Francuzem, Edward Weston Amerykaninem urodzonym w Anglii). Opracowali oni tę technologię w latach 80. Czy jest możliwe, aby Sturgeona wymyślił to tak naprawdę pół wieku wcześniej? Twardych dowodów brak.

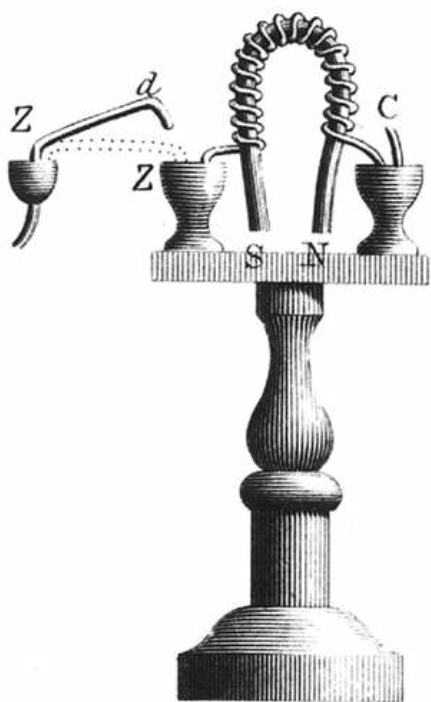
W roku 1837 zajął się na krótko tym, co wciągnęło go w świat elektryczności, a mianowicie elektrycznością atmosferyczną. Prowadził badania eksperymentalne wysy-

łając w niebo (przy ładnej pogodzie!) setki latawców i na podstawie tych badań stwierdził, że atmosfera jest względem ziemi naładowana dodatnio i to im wyżej, tym bardziej. Przy okazji rzucił swoim naukowym okiem na problem ochrony przed piorunami, także na morzu, a w domu zbudował coś, co było właściwie pierwowzorem wysokonapięciowej cewki indukcyjnej znanej jako cewka Ruhmkorffa, która stosował w przypadkach medycznych.

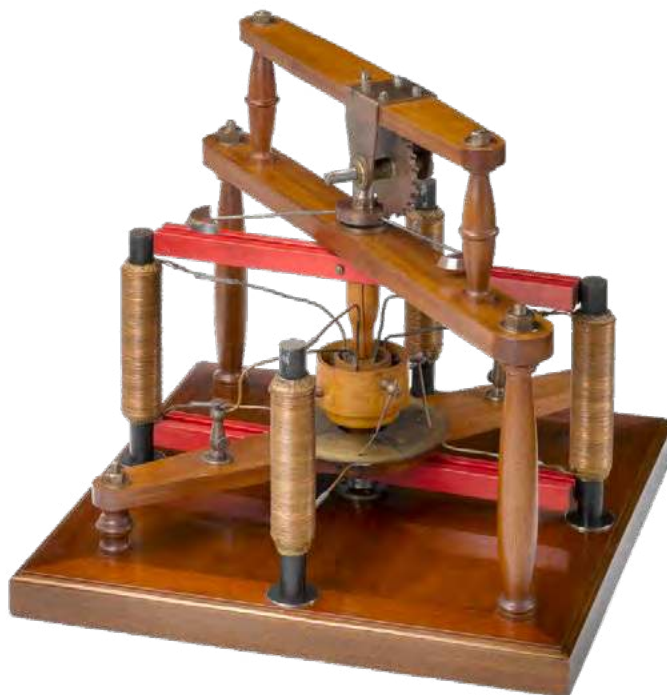
Sturgeon miał niewątpliwie trudny charakter. W roku 1836 po odmowie opublikowania artykułu o jego silniku elektrycznym w *Royal Society Philosophical Transactions*, obraził się na towarzystwo uznanych akademików. Założył wtedy za swoje prywatne pieniądze własny periodyk *The Annals of Electricity, Magnetism and Chemistry or the Guardian of Experimental Science* i już nigdy nie wysłał nic do *Philosophical Magazine*. W dziesięciu tomach *Annalów* opublikował on większość (69) swoich naukowych osiągnięć, ale były tam też drukowane prace innych autorów i tłumaczenia prac z kontynentu.

Annaly służyły też Sturgeonowi za świetne miejsce do krytykowania uznanych naukowych autorytetów. W pierwszym tomie już w pierwszym artykule Sturgeon skomentował rozważania Faradaya o różnych rodzajach elektryczności: „błędy, w jakie popadłeś w swoich eksperymentach voltaicznych, są zbyt oczywiste, by mogły umknąć uwadze nawet najskromniejszego badacza”. W odpowiedzi Faraday z godnością zamilczał. Pomysł Williama Snowa Harrisa (pseudonim: *Thunder-and-Lightning Harris*) proponującego umieszczanie piorunochronów na statkach nazwał „impotent productions”, co różnie można tłumaczyć.

W 1837 r. Sturgeon założył *London Eletrical Society*, rodzaj klubu, kółka naukowców amatorów eksperymentujących z elektrycznością. Został jego prezesem, ale chyba



Silnik Sturgeona (z komutatorem!)



nie miał dostatecznych zdolności organizacyjnych. Opuścił je z nieznanых oficjalnie powodów po roku, a samo Towarzystwo z przyczyn ekonomicznych zakończyło działalność niewiele później.

Zaproponowano mu objęcie stanowiska kuratora Królewskiej Wiktoriańskiej Galerii Nauk Praktycznych, założonej w Manchesterze w 1840 roku. Tam zaprzyjaźnił się z Jamesem Joule'em, razem prowadzili wykłady i pokazy w Galerii i wszystko wyglądało obiecująco, ale na horyzoncie widać już było oznaki zbliżającego się wielkiego kryzysu ekonomicznego. Finansowanie Galerii zmniejszyło się do zera i w roku 1842 została zamknięta. Na początku 1843 roku Sturgeon założył, znowu z własnych środków *Manchester Institute of Natural and Experimental Science*. Wygłosił w nim jeden wykład i Instytut upadł. Kłopoty finansowe zmusiły go do zaprzestania wydawania *Annals of Electricity*. Znalazł sposób na zarabianie jako wędrowny wykładowca wożąc swoją aparaturę do

pokazów na wozie po wsiach w okolicach Manchesteru. Pod koniec życia w 1849 roku Sturgeon otrzymał emeryturę w wysokości 50 funtów (dziś to około 6300 funtów), co pozwoliło mu na wydanie drukiem w 1850 roku zbioru swoich naukowych prac pod wspólnym tytułem „*Scientific researches experimental and theoretical, in Electricity, Magnetism, Galvanism, Electro-magnetism, and Electro-chemistry*”.

Po jej opublikowaniu zmarł w Prestwich 4 grudnia 1850 roku. W jego pogrzebie uczestniczyło wielu jego znamienitych przyjaciół, w wśród nich wymienić należy samego Jamesa Joule'a. Na płycie nagrobnej widnieje napis: „*William Sturgeon - The Electrician*”.

Sturgeon przez kilka miesięcy w 1847 roku przebywał w Kirkby Lonsdale, gdzie prowadził obserwacje atmosferyczne i wygłosił cztery wykłady z pokazami o elektryczności i optyce. Na tablicy pamiątkowej wmurowanej w kościele parafialnym napisano:

był synem skromnie żyjących rodziców i przez prawie 20 lat służył jako szeregowiec w Królewskiej Artylerii. Po zakończeniu służby z powodzeniem poświęcił się studiowaniu nauk fizycznych. Odznaczał się rzadko spotykaną oryginalnością i pomysłowością. Oprócz licznych prac, które wniósł do literatury naukowej swego kraju, był odkrywcą – elektromagnesu z miękkiego żelaza (the soft iron electro magnet) – amalgamowanej baterii cynkowej (the amalgamated zinc battery) – maszyny indukcyjnej z cewkami elektromagnetycznymi (the electro magnetic coil machine) – magnetycznej obrotowej maszyny elektrycznej (the reciprocating magnetic electrical machine) Wynalazków o wielkiej, najwyższej wartości, które wraz z wieloma innymi bezinteresownie przekazał światu. Jego imię będzie trwało tak długo, jak długo będzie istnieć nauka, którą tak cenił.

Pamiętajmy o Williamie Sturgeonie.

Doświadczenie domowe:

Elektromagnes

A. Potrzebne materiały

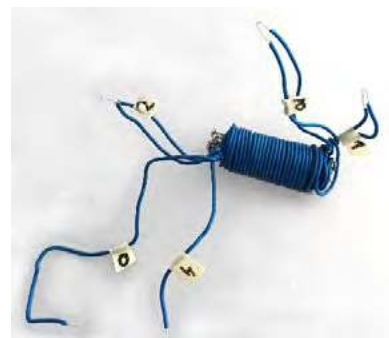
1. kilka (tuzin) dużych gwoździ
2. metr grubego drutu miedzianego (~0.5 mm średnicy) w izolacji
3. bateria R20
4. garść spinaczy biurowych, małych gwoździków albo szpilek
5. amperomierz (dla zaawansowanych)



B. Narzędzia – nożyk, nożyczki

C. Kolejność czynności

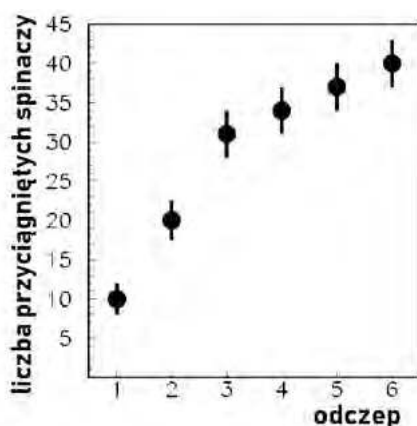
1. Nawinąć na gwoździe warstwę drutu (w izolacji) pozostawiając trochę dłuższy odcinek drutu do połączenia z baterią.
2. Na drugim końcu uzwojenia zrobić „odczep”, pętelkę.
3. Zdjąć izolację z odczepu i oznaczyć go kawałkiem taśmy klejącej, na którym najlepiej napisać cyfrę „1”.
4. Nawinąć drut na pierwszą warstwę drutu (pamiętając o tym, aby uzwojenie miało ten sam kierunek zwojów!).
5. Na końcu znów zrobić odczep i oznaczyć go odpowiednio inaczej niż poprzedni (np. taśmą i cyfrą „2”).
6. Powtarzać nawijanie i robienie odczepów jeszcze kilka razy.
7. Wysypać spinacze (gwoździki, szpili) na kupkę.
8. Połączyć baterię do początkowego końca uzwojenia i odczepu „1”.





9. Przysunąć do elektromagnes do kupki i unieść z niej tyle spinaczy, ile się doń „przyklei”.
10. Przesunąć elektromagnes z przyciągniętymi spinaczami na bok i odłączyć baterijkę.
11. Policzyc opadłe spinacze. Ich ilość odpowiada „sile przyciągania” elektromagnesu.
12. Powtórzyć operację przyciągania spinaczy (od punktu 9) połączwszy baterie nie do odczepu „1”, a do odczepu „2”.
13. Powtórzyć tę operację dla kolejnych odczepów.
14. Wszystkie pomiary powtórzyć co najmniej trzy, a lepiej pięć razy. Pozwoli to oszacować niepewności pomiarów.
15. Porządzić wykres pokazujący ilość przyciągniętych spinaczy w funkcji ilości uzwojeń (numeru użytego odczepu).

Wykres 1 pokazuje przykładowe wyniki tego eksperymentu. Jak widać początkowo, aż do trzech warstw uzwojenia mamy do czynienia z liniowym, szybkim wzrostem „siły przyciągania”. Potem jednak tak jakby efekt dokładania kolejnych uzwojeń nie przynosi już spodziewanego efektu. Dziwne! Niespodziewane wyniki eksperymentów rodzą pytanie:



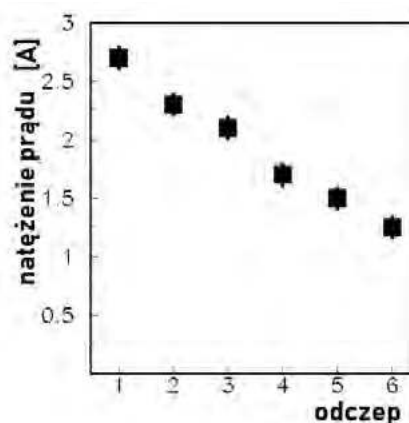
Wykres 1 „Siła przyciągania” elektromagnesu w zależności od tego z ilu uzwojeń korzystamy.

dlaczego tak jest?

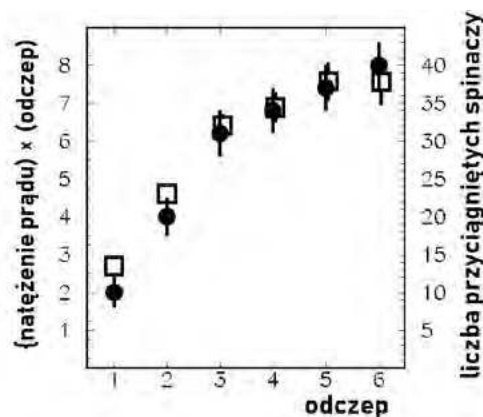
Możemy poszukać odpowiedzi w swoim rozumie, czyli na drodze teoretycznej. Ale, tak czy inaczej, aby mieć pewność, że znalezione rozwiązanie jest słuszne, albo wręcz poszukać rozwiązania metodą empiryczną, musimy wykonać dodatkowe pomiary.

Zaawansowanym badaczom proponujemy użycie w tym celu amperomierza. Dość łatwo, jeśli wie się, jak takie urządzenie działa, można zmierzyć prąd płynący w uzwojeniach elektromagnesu w przypadkach, gdy korzystamy z kolejnych „odczepów”. Przeprowadziliśmy taki pomiar z naszym elektromagnesem i nasze wyniki prezentuje Wykres 2. Jak widać, im więcej nawiniętego drutu, tym prąd jest mniejszy. W końcu tego należało się spodziewać, bo prawo Ohma tu oczywiście obowiązuje.

Wykres 2 jest jedynie wskazówką. A gdyby okazała się ona niewystarczającą, mamy jeszcze Wykres 3:



Wykres 2 Prąd płynący przez elektromagnes w zależności od liczby użytych uzwojeń.



Wykres 3 Kwadraty obrazują (lewa pionowa skala) natężenie prądu płynącego przez elektromagnes (Wykres 2) pomnożone przez liczbę uzwojeń („odczep”). Czarne kropki to „siła przyciągania” elektromagnesu (Wykres 1) liczona liczbą przyciągniętych spinaczy (prawa skala).

Jak widać po odpowiednim ustawieniu wartości na skalach pionowych kwadraty i kropki prawie się pokrywają. Iloczyn wartości natężenia prądu i ilości użytych uzwojeń, czyli właściwie ilości zwojów nawiniętych na nasz żelazny rdzeń, jest proporcjonalny do „siły przyciągania” elektromagnesu.

Dziwne? A może jednak nie.

Efekt Mojżesza i bąbelki w polu magnetycznym

Nazwy niektórych zjawisk i praw fizyki mają związek z wydarzeniami, które zaistniały w czasach starożytnych lub z żyjącymi wtedy uczonymi. Jedynym z takich interesujących i prawie zupełnie nieznanym zjawisk jest efekt Mojżesza.

Stanisław Bednarek

W burzliwej i dramatycznej historii Izraela często zachodziły niezwykle zdarzenia. Jedno z nich miało miejsce podczas ucieczki z niewoli w Egipcie, gdy Izraelici pokonywali przeszkodę wodną, którą było Morze Czerwone. To zdarzenie zostało opisane w „Księdze Wyjścia”, zaliczanej do ksiąg „Starego Testamentu”, w następujący sposób: „²¹ Mojżesz wyciągnął rękę nad morze, a Pan cofnął wody gwałtownym wiatrem wschodnim, który wiał przez całą noc i uczynił morze suchą ziemią. Wody się rozstąpiły, ²² a Izraelici szli przez środek morza po suchej ziemi, mając mur z wód po prawej i po lewej stronie” [1].

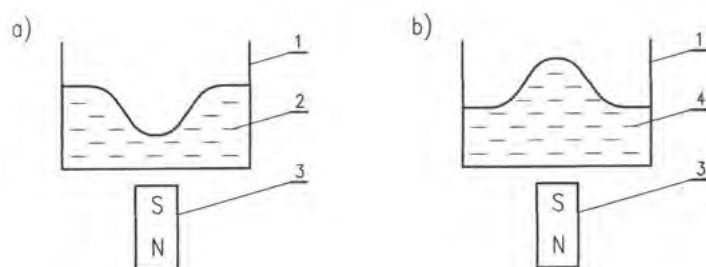
Czy jest to opis zdarzenia, które zaistniało w rzeczywistości, czy tylko w umyśle „natchnionego autora”? Czy uwzględniając warunki geofizyczne, takie zjawisko mogłoby nastąpić i jakie byłyby jego rozmiary? Czy ten opis należy traktować dosłownie i jaki jest jego sens? To na pewno interesujące pytania, ale nad odpowiedziami na nie niech pracują teologowie, egzegeci, czyli fachowcy od objaśniania Pisma Świętego i specjaliści od fizyki morza. Faktem jest, że ciecze oddziałują z polem elektrycznym i magnetycznym, a ich powierzchnia swobodna ulega z tego powodu odkształceniu i tworzy zagłębienie albo wzniesienie [2]. To zjawisko nazywa się efektem Mojżesza i będzie tematem niniejszego artykułu [3, 4].

Kształt powierzchni swobodnej cieczy

Pod względem właściwości magnetycznych ciecze dzielą się na diamagnetyki i paramagnetyki [5]. Analiza przyczyn mikroskopowych tych właściwości, znanych z łatwych dostępnych podręczników szkolnych, zostanie tutaj pominięta. Najbardziej charakterystycznym przejawem makroskopowym tych właściwości jest różnica w oddziaływaniu

obu rodzajów cieczy z niejednorodnym polem magnetycznym. Diamagnetyki są wypychane z obszaru silniejszego pola, natomiast paramagnetyki są w ten obszar wciągane [6]. Z tego powodu, po zbliżeniu silnego magnesu do cieczy diamagnetycznych tworzy się zagłębienie w ich powierzchni swobodnej, a po zbliżeniu takiego magnesu do cieczy paramagnetycznych na ich powierzchni pojawia się wzniesienie. Tę sytuację przedstawia rys. 1.

W przypadku utworzenia zagłębienia mówi się o prostym efekcie Mojżesza, a w przypadku wzniesienia o efekcie odwrotnym. Najczęściej używanymi parametrami, charakteryzującymi ilościowo właściwości magnetyczne ciał jest przenikalność magnetyczna względna μ_r , albo podatność magnetyczna χ . Między tymi wielkościami zachodzi zależność $\chi = \mu_r - 1$. Niestety, wartości χ dla obu rodzajów cieczy są bardzo małe. Dla cieczy diamagnetycznych te wartości są rzędu -10^{-8} , a dla paramagnetycznych rzędu 10^{-7} , przy czym dla cieczy diamagnetycznych są one ujemne. To właśnie utrudnia obserwację oddziaływania cieczy z niejednorodnym polem magnetycznym w warunkach szkolnej pracowni fizycznej lub w domu. Żeby pokonać tę trudność trzeba stosować silne pola magnetyczne, np. wytwarzane przez magnesy neodymowe, albo



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie efektu Mojżesza: a) efekt prosty, b) efekt odwrotny; 1 – otwarte przezroczyste naczynie, 2 – ciecz diamagnetyczna, 3 – magnes neodymowy, 4 – ciecz paramagnetyczna.

budować specjalne układy, np. z użyciem wiązki światła laserowego, do wykrywania małych zmian kształtu powierzchni swobodnej cieczy.

Przedmiotem rozważań będzie teraz kształt powierzchni swobodnej cieczy diamagnetycznej, umieszczonej w niejednorodnym polu magnetycznym (rys. 2). Ponieważ ciecze nie mają własnego kształtu, to warunkiem pozostawania ich w równowadze jest prostopadłość wypadkowego elementu różniczkowego siły $d\mathbf{Q}$, działającego na ciecz w dowolnym punkcie, do jej powierzchni swobodnej. W rozpatrywanym przypadku wybrano punkt A, natomiast siła $d\mathbf{Q}$ jest wypadkową pionowo skierowanego elementu różniczkowego siły ciężkości $d\mathbf{W}$ i poziomo skierowanego elementu różniczkowego siły odpychania magnetycznego $d\mathbf{F}$. Użycie tzw. „elementów różniczkowych”, czyli nieskończenie małych sił, działających na element różniczkowy objętości cieczy dV , umożliwi łatwe wyprowadzenie równania, opisującego kształt powierzchni swobodnej cieczy $h(r)$. Wartości obu elementów sił wyrażają się wzorami

$$dW = \rho g dV \quad (1)$$

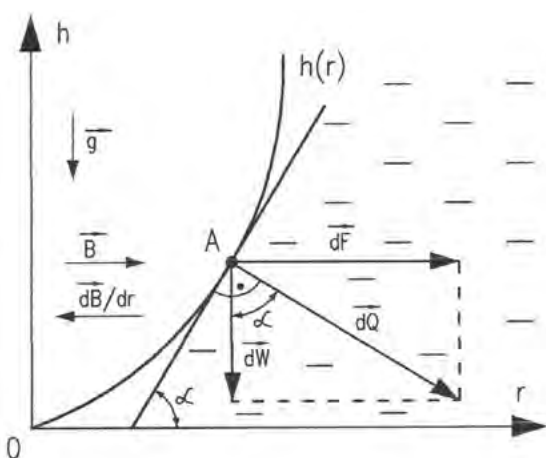
$$dF = -\mu_0(\mu_r - 1)B \frac{dB}{dr} dV \quad (2)$$

w których ρ oznacza gęstość cieczy, g – przyspieszenie ziemskie, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, zaś μ_0 przenikalność magnetyczną próżni, $\mu_0 = 12,56 \times 10^{-7} \text{ H/m}$. Wzór (2) na element różniczkowy siły magnetycznej jest znany z literatury [7]. Znak minus we wzorze (2) oznacza, że siła dF jest zwrócona w stronę malejących wartości indukcji pola magnetycznego B , czyli przeciwnie do zwrotu gradientu $d\mathbf{B}/dr$. Ponadto stosunek wartości obu sił spełnia warunek

$$\tan \alpha = \frac{dF}{dW} \quad (3)$$

Tangens kąta α można również wyrazić znanym z podstaw rachunku różniczkowego wzorem

$$\tan \alpha = \frac{dh}{dr} \quad (4)$$



Rys. 2. Siły działające w punkcie A na ciecz diamagnetyczną, umieszczoną w polu siły ciężkości i w niejednorodnym polu magnetycznym; g – przyspieszenie ziemskie, B – indukcja pola magnetycznego, dB/dr – składowa radialna gradientu indukcji pola magnetycznego, dF , dW , dQ – elementy różniczkowe odpowiednio: siły odpychania magnetycznego, siły ciężkości i siły wypadkowej, r – odległość od osi naczynia, h – wysokość słupa cieczy, α – kąt nachylenia stycznej do krzywej $h(r)$, opisującej kształt powierzchni swobodnej cieczy.

Po podstawieniu wzorów (1), (2) do równania (3) i porównaniu stronami równań (3) i (4), otrzymuje się równanie

$$\frac{dh}{dr} = - \frac{\mu_0(\mu_r - 1)B \frac{dB}{dr} dV}{\rho g dV} \quad (5)$$

które po uproszczeniu przyjmuje postać

$$dh = - \frac{\mu_0(\mu_r - 1)B dB}{\rho g} \quad (6)$$

Scałkowanie obu stron równania (6) przy użyciu elementarnych wzorów daje wynik

$$h(r) = - \frac{\mu_0(\mu_r - 1)B^2}{2\rho g} + C \quad (7)$$

Równanie (7) opisuje parabolę, natomiast C jest stałą całkowania. Ponieważ środek układu współrzędnych został tak przyjęty, że pokrywa się z wierzchołkiem tej paraboli, to $C = 0$. Ostatecznie więc otrzymuje się równanie powierzchni swobodnej cieczy w postaci

$$h(r) = - \frac{\mu_0(\mu_r - 1)B^2}{2\rho g} \quad (8)$$

Wiadomo, że dla cieczy diamagnetycznych $\mu_r < 1$, to $(\mu_r - 1) < 0$ i dlatego ramiona paraboli są skierowane ku górze, czyli taka parabola odpowiada zagłębieniu w powierzchni swobodnej cieczy, natomiast dla cieczy paramagnetycznych $\mu_r > 1$ i zachodzi sytuacja odwrotna. Otrzymany wzór jest identyczny, ze wzorem podanym na angielskojęzycznej stronie Wikipedii nt. efektu Mojżesza [4]. Polskojęzycznej wersji strony na ten temat nie udało się znaleźć w Wikipedii. Prawdopodobnie jeszcze jej nie opracowano. Trzeba jednak dodać, że wzór (8) odnosi się bardzo uproszczonego przypadku rozkładu przestrzennego pola magnetycznego, w którym indukcja pola i jego gradient mają ten sam kierunek poziomy.

W ogólniejszym przypadku na ciecz działa również siła magnetyczna skierowana pionowo i wtedy zamiast prostego równania (6) otrzymuje się skomplikowane równanie różniczkowe, które można rozwiązać tylko metodami numerycznymi. Choć warto o tym wspomnieć uczniom, to z oczywistych względów ten ogólniejszy przypadek nie będzie tutaj rozpatrywany.

Ciecze również oddziałują z polem elektrycznym i dlatego efekt Mojżesza pojawia się również po umieszczeniu cieczy w niejednorodnym polu elektrycznym. Niech ciecz zostanie umieszczona w niejednorodnym polu elektrycznym, którego wartość natężenia wynosi E , ma kierunek poziomy i taki sam kierunek ma jego gradient dE/dr . Wtedy łatwo jest podać przez analogię równanie dla powierzchni swobodnej cieczy dla tego przypadku. Takie równanie ma postać

$$h(r) = - \frac{\epsilon_0(\epsilon_r - 1)E^2}{2\rho g} \quad (9)$$

przy czym ϵ_0 , ϵ_r oznaczają odpowiednio przenikalność dielektryczną próżni, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ i względną przenikalność dielektryczną cieczy.

W przypadku wszystkich cieczy $\epsilon_r > 1$ i dlatego ramiona parabol opisanych wzorem (9) są skierowane w dół, czyli takie parabole zawsze odpowiadają wzniesieniu powierzchni swobodnej cieczy. Ponadto, wartości względnej przenikalności dielektrycznej cieczy ϵ_r są liczbowo znacznie większe niż wartości ich względnej przenikalności magnetycznej μ_r . Typowe wartości ϵ_r wynoszą od kilka, a dla wody, która jest dielektrykiem polarnym ta wartość wynosi ok. 79 w temp. 25°C.

W niektórych tablicach fizycznych, zamiast wartości μ_r lub χ są podawane podatności magnetyczne właściwe χ_w , zdefiniowane, jako stosunek χ/ρ i wyrażane w jednostkach m³/kg lub cm³/g, co nieco upraszcza obliczenia $h(r)$ na podstawie wzoru (8) [5]. Należy też dodać, że zarówno w przypadku pola magnetycznego jak i pola elektrycznego, wytworzenie zagłębienia, albo wzniesienia na powierzchni cieczy nie zależy od zwrotu i wektora **B**, albo **E**, tylko od tego, czy względne przenikalności cieczy μ_r lub ϵ_r są większe, czy mniejsze od 1, a ponadto wielkość tego odkształcenia powierzchni szybko rośnie, wraz ze wzrostem wartości B , albo E .

Możliwości obserwacji efektu Mojżesza

Jak wspomniano wcześniej, wartości podatności magnetycznej cieczy są małe i zmiany wysokości poziomu cieczy $h(r)$ w polu magnetycznym lub elektrycznym zależą od kwadratu natężeń tych pól. Te dwa czynniki są przyczyną trudności podczas obserwacji efektu Mojżesza. Do uzyskania dobrze widocznego efektu należałoby zastosować pola o dużych natężeniach i odpowiednio dobrane ciecz. W warunkach szkolnych lub domowych, dobór cieczy jest ograniczony, ponieważ z doświadczeń należy wykluczyć ciecz żrące, np. kwas siarkowy lub toksyczne węglowodory, jak np. N-metyloformamid, mające duże wartości μ_r oraz ϵ_r . W wyniku tych ograniczeń do doświadczeń pozostają praktycznie dwie ciecz – woda i alkohol etylowy.

Natężenia pól, które można wytworzyć też są ograniczone do pól magnetycznych, wytwarzanych przez magnesy neodymowe i pól elektrycznych, uzyskanych podczas elektryzowania ciał przez pocieranie, albo za pomocą maszyny elektrostatycznej i generatora Van de Graffa. Pojedyncze magnesy neodymowe o rozmiarach 2-3 cm wytwarzają w odległości ok. 1 cm od ich powierzchni pole o indukcji ok. $B = 0,3$ T, co odpowiada natężeniu $H = 240\,000$ A/m, natomiast maksymalne natężenia pól

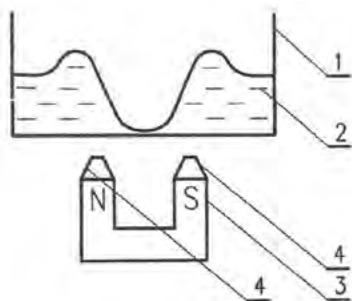
elektrostatycznych, wytwarzane przez wspomniane przyrządy wynoszą $E = 50\,000$ V/m.

Dla uzyskania wyraźnego efektu Mojżesza ważne są nie tylko duże wartości natężeń, ale również ich gradienty, czyli pola powinny być, jak najbardziej niejednorodne. Gradient pola występuje bowiem we wzorze (2) i chociaż w wyprowadzonym wzorze (8) nie jest widoczny w postaci jawnej, to wartość B powinna zależeć od r , żeby w dwóch punktach o różnych odległościach od osi otrzymać różne wysokości h .

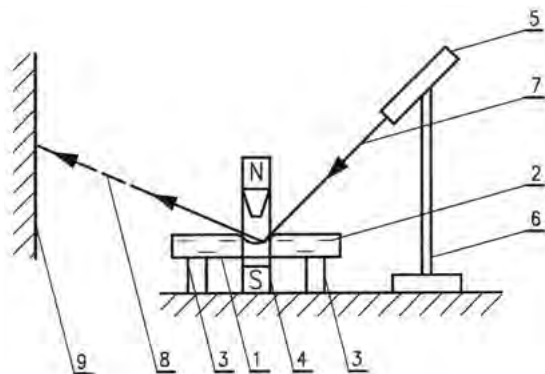
Średnie wartości gradientów można łatwo obliczyć mierząc natężenia pola w dwóch punktach, znajdujących się w znanej odległości od siebie, np. 5 mm i dzieląc różnicę wartości otrzymanych natężeń przez odległość między tymi punktami. W celu zwiększenia gradientu pola magnetycznego stosuje się nakładki na bieguny, tzw. nabiegunki, o specjalnych kształtach – graniastosłupów o przekroju trapezowym, ściętych ostrosłupów lub ściętych stożków.

Wartość natężenia pola magnetycznego zwiększy się, jeżeli zamiast pojedynczego magnesu będzie zastosowany układ magnesów tworzący kształt litery C i ciecz zostanie umieszczona w przewie między końcami ramionami tego układu, zaopatrzonymi w nabiegunki. Z kolei, żeby zwiększyć gradient pola elektrycznego używa się elektrod zakończonych ostrzami. W tabl. 1 zostały zebrane różnice wysokości poziomów wody i alkoholu etylowego Δh , obliczone na podstawie wzorów (8) i (9) dla rozpatrywanych wcześniej i możliwych do uzyskania parametrów pola magnetycznego i elektrycznego oraz parametrów charakteryzujących właściwości tych cieczy [5]. Różnice Δh obliczono jako zmianę wysokości w polach o podanej wartości natężenia w stosunku do poziomu cieczy w dużej odległości od miejsca przyłożenia pola, gdzie $H = 0$, $E = 0$ i $\Delta h = 0$, a powierzchnia cieczy jest pozioma.

Mimo, że otrzymane różnice wysokości wynoszą od kilku dziesiątych mm do kilku mm, to przy dołożeniu należytej staranności, m.in. zabezpieczeniem przed wstrząsami i zastosowaniu odpowiednich sposobów można te różnice zauważyć. Jeden z tych sposobów, polegający na obserwacji kształtu powierzchni cieczy w dużym powiększeniu za pomocą odpowiednio przystosowanego do tego celu mikroskopu, może okazać się zbyt trudny do realizacji w szkole.



Rys. 3. Sposób wytworzenia prostego efektu Mojżesza w cieczy paramagnetycznej: 1 – otwarte przezroczyste naczynie, 2 – ciecz paramagnetyczna, 3 – magnes neodymowy, 4 – nabiegunek.



Rys. 4. Schemat układu do obserwacji efektu Mojżesza za pomocą wiązki światła laserowego: 1 – otwarte przezroczyste naczynie z poczerzonym dnem, 2 – ciecz diamagnetyczna, 3 – wspornik, 4 – magnes neodymowy z nabiegunkiem, 5 – wskaźnik laserowy, 6 – statyw, 7 – wiązka światła laserowego padająca i odbita, 8 – ekran.

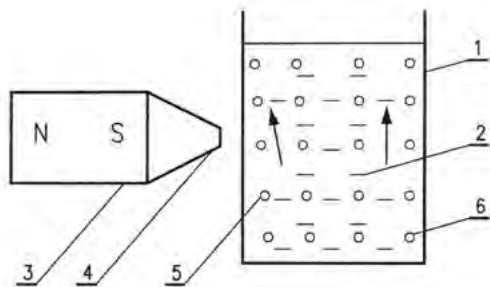
Tablica 1. Zestawienie zmian wysokości powierzchni Δh wody i alkoholu etylowego w polu magnetycznym i elektrycznym.

Parametry cieczy (w temp. 25°C) [5]		Natężenie pola	
		elektrycznego $H = 250\,000\text{ A/m}$	magnetycznego $E = 50\,000\text{ V/m}$
woda	$\rho = 998\text{ kg/m}^3$ $\chi_w = -0,905\text{ m}^3/\text{kg}$ $\epsilon_r = 78,9$	$\Delta h = -3,62\text{ mm}$	$\Delta h = 0,86\text{ mm}$
alkohol etylowy	$\rho = 7658\text{ kg/m}^3$ $\chi_w = -0,917\text{ m}^3/\text{kg}$ $\epsilon_r = 24,6$	$\Delta h = -3,67\text{ mm}$	$\Delta h = 0,34\text{ mm}$

Drugi sposób, to wykorzystanie odbicia wiązki światła ze wskaźnika laserowego, od powierzchni cieczy zakrzywionej przez pole magnetyczne lub elektryczne. Służący do tego celu układ jest pokazany na rys. 4. Wiązka światła po odbiciu pada na ekran lub ścianę umieszczoną w odległości kilku metrów od punktu odbicia. Dzięki temu, niewielka zmiana kąta odbicia spowodowana zakrzywieniem powierzchni cieczy, zostaje uwidoczniowana w postaci przesunięcia plamki świetlnej na ekranie o kilka centymetrów i zmiany jej kształtu. Żeby usunąć plamkę spowodowaną odbiciem wiązki od dna naczynia należy zastosować naczynie o czarnym dnie. W tym celu do dna naczynia można przykleić kawałek czarnej, matowej folii przy użyciu wodoodpornego kleju.

Zamiast obserwacji zakrzywienia powierzchni swobodnej cieczy, do obserwacji oddziaływania pola magnetycznego na płyny można wykorzystać oddziaływanie tego pola na unoszące się w wodzie pęcherzyki tlenu lub dwutlenku węgla. Bardzo prosty układ służący do tego celu przedstawia rys. 5. Zastosowano w nim wodę utlenioną, która stanowi nietrwały związek chemiczny i po lekkim ogrzaniu wydzielają się z niej pęcherzyki tlenu. Tlen jest pierwiastkiem, który wykazuje silne właściwości paramagnetyczne, szczególnie stanie ciekłym, ale jako gaz też nadaje się do tego rodzaju doświadczenia. Woda utleniona można być zastąpiona lekko gazowaną wodą mineralną i wtedy obserwowany będzie ruch pęcherzyków dwutlenku węgla.

W rozpatrywanych przypadkach zagłębienie lub wzniesienie powierzchni cieczy miało kształt okrągły. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie, żeby wytworzyć takie odkształcenie w formie podłużnego kanału. W tym celu,



Rys. 5. Schemat układu do obserwacji ruchu bąbelków tlenu, wypływających ku górze z wody utlenionej, umieszczonej w niejednorodnym polu magnetycznym, skierowanym poziomo; 1 – otwarte, przezroczyste naczynie, 2 – lekko podgrzewana woda utleniona, 3 – magnes neodymowy, 4 – nabiegunek, 5, 6 – pęcherzyki tlenu odpowiednio: odchylone i nie odchylone przez niejednorodne pole magnetyczne.

zamiast magnesu w kształcie walcowym, należy użyć magnesu sztabkowego, namagnesowanego w kierunku pionowym. Taki magnes powinien mieć nałożony od góry nabiegunek w postaci stalowej listwy, mającej pionowy przekrój poprzeczny w kształcie trapezu, który zwiększy gradient pola magnetycznego. Przy niewielkiej wysokości słupka cieczy w naczyniu i dostatecznie dużych wartościach parametrów pola magnetycznego może się udać uzyskać głębokość kanału sięgającego dna naczynia.

Efekt Mojżesza można też wytworzyć nie tylko przy użyciu pola niejednorodnych pól magnetycznego albo elektrycznego. Taki efekt pojawi się również po skierowaniu prostopadle na powierzchnię cieczy impulsu z światła z lasera o dużej mocy, wynoszącej ok. $5 \times 10^6\text{ W}$. Ponieważ promieniowanie padające na powierzchnię wywiera ciśnienie, to spowoduje ono zrównoważenie ciśnienia hydrostatycznego cieczy i odsłonięcie dna naczynia przy wysokości słupka cieczy ok. 3 mm. Oczywiście, lasery o takich mocach są używane tylko w specjalistycznych laboratoriach. Dla porównania, popularne wskaźniki laserowe mają moc kilka mW.

Inny sposób uzyskania efektu Mojżesza, dostępny w szkolnej pracowni fizycznej, to wytworzenie fali stojącej w płytce warstwie cieczy, umieszczonej w prostokątnym, otwartym naczyniu. Falę stojącą wytwarza się przez uderzanie z odpowiednio dobraną częstotliwością prostoliniowym kawałkiem listewki, ustawionym poziomo w kierunku prostopadłym do powierzchni cieczy i równoległym do ścianek naczynia.

Listewkę można wprawić w drgania za pomocą wibratora elektromagnetycznego, wykonanego z głośnika i zasilanego z generatora o regulowanej częstotliwości. W miejscach strzałek takiej fali, gdzie amplituda drgań jest największa, ciecz zostanie rozsunęta na boki. Jest sytuacja analogiczna, jak w przypadku wytwarzania fali stojącej na poziomej płycie, posypanej drobnymi ziarnkami piasku. Wtedy obserwuje się miejsca pozbawione pisaku i miejsca jego zagęszczenia, nazywane figurami Chładnego [6].

Jeszcze inny sposób uzyskania efektu Mojżesza to skierowanie prostopadle na powierzchnię cieczy strumienia powietrza, wydmuchiwane np. ze słomki do picia napojów. Jest to sposób najprostszy i najbardziej zbliżony do pierwowzoru, bo jak w Księdze Wyjścia napisano „Pan cofnął wody gwałtownym wiatrem”.

Stanisław Bednarek
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej UŁ

LITERATURA

- [1] Pismo Święte Starego i Nowego Testamentu, Biblia Tysiąclecia, Wydawnictwo Pallotinium, Poznań (2003), s. 82, (Księga Wyjścia, Rozdział 14, 21-22).
- [2] S. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, cz. III, Elektryczność i magnetyzm, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa (1969), s. 191.
- [3] E. Bormashenko, Moses effect: physics and application, „Advances in Colloid and Interface Science”, no. 269, p. 1-6, (2019).
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Moses_effect, [dostęp: 20.02.2022].
- [5] W. Mizerski, Tablice fizyczno-astronomiczne, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa (2013), s.187.
- [6] S. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, cz. I, Mechanika i akustyka, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa (1972), s. 438.
- [7] H. Rawa, Elektryczność i magnetyzm w technice, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa (1994), s. 396.

O pomiarach fizycznych i niepewności pomiarowej (Uwagi metodyczne)

Waldemar Reñda

Autorzy *Podstawy programowej* z fizyki dla szkół podstawowych zalecają, by na lekcjach fizyki zrealizować kilka doświadczeń pomiarowych – np. wyznaczanie wartości prędkości w ruchu jednostajnym poprzez wielokrotny pomiar czasu trwania badanego ruchu.¹ Przy czym analiza wyników sprowadzać się ma jedynie do obliczenia wartości średniej przyjętej jako najbardziej prawdopodobna wartość zmierzonej wielkości. Tą średnią będzie oczywiście średnia arytmetyczna wyników pomiaru.

Nie może to jednak być średnia liczona wg wzoru:

$$t_{\text{sr.}} = (t_{\text{max}} - t_{\text{min}}) : 2$$

ale tak:

$$t_{\text{sr.}} = (t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i + \dots + t_n) : n$$

W szkole średniej należy dokonać już pełną analizę wyniku pomiaru łącznie z obliczeniem jego bezwzględnej i względnej niepewności. Dodam, że autorzy *Podstawy* zalecają, **by uczniowie uczestniczyli nie tylko w samym pomiarze, ale i w jego projektowaniu.**

Zwykle wyniki poszczególnych pomiarów umieszcza się w takiej tabeli, przy czym wstępnie ma ona tylko pierwsze dwa wiersze.

Pomiar	1	2	3	...
w (jedn.)				
Δw (jedn.)				

Następnie obliczamy średnią wartość pomiaru:

$$\bar{w} = \sum_{i=1}^n w_i$$

Gdzie n to liczba pomiarów przyjętych jako poprawne.

Wartość ta to **najbardziej prawdopodobny wynik pomiaru.**

Wiemy jednak, że każdy pomiar obarczony jest niepewnością. Jak ją obliczyć w tym przypadku?

W podręcznikach szkolnych widziałem taki wzór:

$$\Delta w_{\text{sr.}} = (w_{\text{max}} - w_{\text{min}}) : 2$$

Nie należy go stosować, choćby dlatego, że daje za wyższą wartość tej niepewności. Natomiast metodyka pomiaru fizycznego zaleca, by ową niepewność obliczać ze wzoru:

$$\Delta \bar{w} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta w_i)^2}{n(n-1)}}$$



Foto – Dreamstime

Jak widać, dla $n = 1$ wzór ten daje nieokreśloną wartość niepewności, co sugeruje, że należy wykonać wiele pomiarów, by uzyskać poprawną wartość owej niepewności.

Zauważmy, że dla dużych wartości n (powyżej 10) wzór ten przechodzi w prostą postać:

$$\Delta \bar{w} = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta w_i|}{n}$$

W naszym przypadku tak właśnie można obliczać ową niepewność.

Aby to zrobić, musimy jednak uzupełnić tabelę o trzeci wiersz, do którego wpisujemy kolejne różnice: $\Delta w_i = w_i - w_{\text{sr.}}$

Możemy już zapisać wynik pomiaru jako:

$$w = w_{\text{sr.}} \pm \Delta w_{\text{sr.}}$$

Dodam, że dla obu wartości w nawiasie podajemy liczby z taką samą dokładnością – np. z dokładnością do 2 cyfr po przecinku.

Porównując wartości niepewności obliczone innymi metodami, możemy stwierdzić, że otrzymaliśmy najkorzystniejszy wynik.

O dokładności pomiaru decyduje jednak **niepewność względna**, którą zwykle podajemy w procentach:

$$\Delta w_{\text{wzgl.}} = (\Delta w_{\text{sr.}} : w_{\text{sr.}}) \cdot 100\%$$

W pomiarach szkolnych wartość ta nie powinna przekraczać 5%.

Jeżeli wykonujemy pojedynczy pomiar, to za niepewność pomiaru przyjmuje się wartość odpowiadającą jednej działce przyrządu pomiarowego. Natomiast w pomiarach wielokrotnych niepewność pomiaru należy ustalać tak, jak opisałem to wyżej, a nie przyjmować niepewność pomiaru równą wartości najmniejszej działki przyrządu pomiarowego.

W przypadku wielkości złożonych, czyli takich, w których należy mierzyć kilka wielkości składowych, jak np. okresu drgań wahadła matematycznego, obliczmy niepewności każdej ze zmierzonych wielkości, a następnie korzystamy ze stosownego wzoru.² O tym, jak uzyskać te wzory bez stosowania rachunku różniczkowego, pisałem w artykule *Niepewność pomiarowa bez pochodnych*, Fizyka w szkole, 1/2014.

Na koniec dodam, że wykonując doświadczenia pomiarowe, nie powinniśmy korzystać z urządzeń, które wyręczają uczniów w działaniu. Uczniowie powinni móc śledzić cały proces badawczy i **na każdym etapie** aktywnie w nim uczestniczyć.

Waldemar Reñda
Olkuś, lipiec 2022

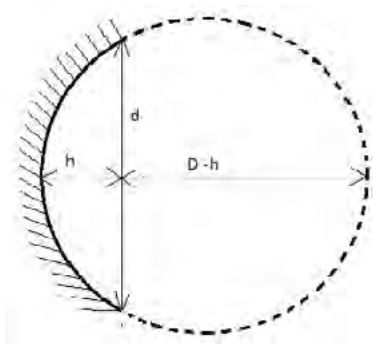
¹ Polecam tu doświadczenie z rurką napełnioną gliceryną, w której znajduje się pęcherzyk powietrza. Przy jej różnym nachyleniu do pionu można uzyskiwać różnicowane wartości prędkości. Rurka ta pozwala też na badanie właściwości ruchu jednostajnego.

² Zob.: *Podstawa programowa z fizyki – zakres rozszerzony*

Wyznaczanie ogniskowej zwierciadła kulistego wklęsłego na podstawie jego geometrycznych wymiarów

Czesław Surowiec

Mając do dyspozycji zwierciadło kuliste wklęsłe, w celu zapoznania uczniów z zależnością ogniskowej tego zwierciadła od jego geometrycznych wymiarów, możemy rozwiązać to zadanie doświadczalnie. Ze względu na ograniczony czas na realizację tego tematu na lekcji, można polecić teoretyczną część rozwiązania tego zagadnienia jako zadanie domowe, a na następnej lekcji omówić jego rozwiązanie i dokonać pomiarów i obliczeń. Można również wykorzystać ten temat na zajęciach pozalekcyjnych prowadzonych dla uczniów przygotowujących się do konkursów fizycznych.



Oznaczamy przez D – średnicę powierzchni sferycznej zwierciadła, przez d – średnicę płaszczyzny zwierciadła (rys.), h – wysokość zwierciadła (odległość wierzchołka zwierciadła od płaszczyzny zwierciadła).

Z geometrii wiadomo, że iloczyn odcinków cięciw jest równy iloczynowi odcinków średnic, więc możemy zapisać $\frac{d^2}{4} = (D - h)h$, stąd otrzymujemy

$$D = \frac{d^2 + 4h^2}{4h}$$

Ponieważ dla promieni biegnących blisko osi optycznej $f = \frac{r}{2} = \frac{D}{4}$ podstawiając za $D = 4f$ otrzymujemy

$$4f = \frac{d^2 + 4h^2}{4h}$$

i ostatecznie

$$f = \frac{d^2 + 4h^2}{16h}$$

Jeśli do otrzymanej zależności na f podstawimy $d = 250 \text{ mm}$ i $h = 40 \text{ mm}$ otrzymujemy

$$f = \frac{(250 \text{ mm})^2 + 4 \cdot (40 \text{ mm})^2}{16 \cdot 40 \text{ mm}} = 108 \text{ mm}$$

Jeśli przyjmiemy, że dokładność odczytu odległości za pomocą linijki z podziałką mm wynosi 0,5 mm, to możemy obliczyć niepewność względną pomiaru z zależności

(której wyprowadzenie pozostawiam zainteresowanemu czytelnikowi):

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{2\Delta d}{d} + \frac{2\Delta h}{h} + \frac{\Delta h}{h}$$

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{2\Delta d}{d} + \frac{3\Delta h}{h}$$

podstawiając za $d = 250 \text{ mm}$, $h = 40 \text{ mm}$, $\Delta d = \Delta h = 0,5 \text{ mm}$

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{2 \cdot 0,5 \text{ mm}}{250 \text{ mm}} + \frac{3 \cdot 0,5 \text{ mm}}{40 \text{ mm}}$$

otrzymujemy

$$\frac{\Delta f}{f} = 0,04 = 4\% \quad \text{stąd} \quad \Delta f = 108 \text{ mm} \cdot 0,04 = 4 \text{ mm}$$

Otrzymany wynik możemy zapisać następująco

$$f = 108 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$$

Aby uzyskać dokładniejszy wynik możemy do pomiarów wymiarów zwierciadła zastosować suwmiarkę.

Po wykonaniu doświadczenia uczniom powinno się dać kilka zadań jakościowych i obliczeniowych.

1. Czy zmieni się ogniskowa zwierciadła wklęsłego, jeśli zanurzymy go do wody?
2. Czy można otrzymać obraz w postaci świecącego punktu na osi optycznej zwierciadła wklęsłego między ogniskiem i wierzchołkiem zwierciadła?
3. Świecący punkt przemieszcza się wzdłuż osi optycznej zwierciadła wklęsłego do jego powierzchni. Na jaką odległość od zwierciadła przemieści się wzdłuż osi optycznej rzeczywisty i pozorny obraz tego punktu?
4. Promień świetlny pada na kuliste wklęsłe zwierciadło o promieniu R równoległe do osi optycznej w odległości a od niej i po odbiciu przecina oś optyczną w punkcie F . Oblicz odległość punktu F od zwierciadła f .

$$\text{Odp. } f = R \left(1 - \frac{1}{2\sqrt{1 - \left(\frac{a}{R}\right)^2}} \right)$$

5. W oku rozmówcy można zobaczyć swój prosty i pomniejszony obraz. Wyjaśnij to.
6. Czy można za pomocą kulistego wypukłego zwierciadła otrzymać zbieżną wiązkę światła?
7. Po odbiciu od kulistego wypukłego zwierciadła promienie biegną równoległe do osi optycznej zwierciadła. Jak biegły przed odbiciem promienie padające na zwierciadło?
8. Jaką wysokość h powinno mieć zwierciadło wypukłe o promieniu R , żeby człowiek o wysokości H zobaczył siebie całego, jeśli znajduje się w odległości x od niego?

$$\text{Odp. } h = \frac{H}{2} \frac{R}{R + x}$$

Doświadczenia fizyczne w praktyce szkolnej

(Miniatura dydaktyczna)

Waldemar Reńda

W encyklopedii fizyki czytamy:¹ „Fizyka to podstawowa nauka przyrodnicza badająca za pomocą metod ilościowych ogólne właściwości materii i zjawiska w niej zachodzące. Fizyka dzieli się na doświadczalną (eksperymentalną) i teoretyczną. Celem fizyki doświadczalnej jest obserwacja i wykrywanie zjawisk fizycznych, wykonywanie doświadczeń i **pomiarów**² wielkości fizycznych, szukanie związków między różnymi wielkościami fizycznymi,³ czyli tak zwanych praw empirycznych. Zadaniem fizyki teoretycznej jest konstruowanie, na podstawie **wyników doświadczeń** i przy użyciu aparatu matematycznego, teorii fizycznych opisujących jak najszersze klasy zjawisk, a także wyprowadzanie metodą dedukcji wniosków z tych teorii.”

Należy zauważyć, że zakres tych badań jest niezwykle szeroki, bo rozciąga się od wnętrza atomów po „krańce” Kosmosu, a motorem owych badań była i jest ciekawość poznawcza człowieka. To ważna cecha i należy ją wykorzystywać w dydaktyce. Psychologia zapamiętywania wskazuje na to, że im więcej zmysłów bierze udział w procesie poznawczym, tym skuteczniejsze jest zapamiętywanie treści nauczania. A to właśnie doświadczenia fizyczne najbardziej angażują wzrok, słuch, dotyk i mowę oraz zmuszają do działania. Jeżeli dodamy do tego zainteresowanie tym, co robimy oraz związane z tą działalnością emocje, to mamy optymalne warunki do skutecznego działania dydaktycznego.

A jak jest w praktyce szkolnej? Niestety, nie najlepiej. Brak pracowni przedmiotowych i należytego ich wyposażenia, brak czasu na realizację tematów doświadczalnych, brak chęci, a nawet umiejętności eksperymentatorskich nauczycieli sprawia, że dominującą metodą nauczania jest wykład, a podstawowym środkiem dydaktycznym – tablica i kreda.⁴ I stan ten – niestety – się pogłębia.

W programach nauczania fizyki z lat osiemdziesiątych zarówno dla szkół podstawowych jak i liceów zwracano szczególną uwagę na rolę doświadczeń w nauczaniu fizyki. Był to również okres, w którym wykuwała się współczesna dydaktyka fizyki.

Warto przypomnieć nazwiska osób, które rekomendowały ówczesne programy nauczania fizyki. Oto one: prof. dr hab. G. Białkowski, doc. dr B. Bończak, dr R. Subieta, doc. dr K. Badziąg, dr H. Chrupała, dr K. Chyla, prof. dr hab. J. Ginter, dr K. Hercman, doc. dr hab. T. Pniewski, doc. dr I. Stępniewski, dr Jadwiga Salach, prof. dr hab. M. Subotowicz, a także wielu nauczycieli praktyków jak choćby mgr J. Greupner z VIII liceum w Katowicach, który w swojej szkole zorganizował wzorcową pracownię fizyczną.

Były to osoby, które miały znaczący wpływ na rozwój współczesnej dydaktyki fizyki; K. Badziąg był autorem jednej z dwóch metodyk nauczania fizyki jakie dotąd wydano;⁵ J. Ginter i K. Hercman byli autorami nowoczesnych podręczników do szkoły podstawowej, K. Chyla napisał podręcznik do szkoły średniej i popularny zbiór zadań, J. Salach była współautorką cyklu podręczników wydawanych przez wydawnictwo ZamKor. Inni konsul-

¹ Fizyka, *Ilustrowana encyklopedia dla wszystkich* pod redakcją doc. dra hab. Andrzeja Januszajtisa i doc. dra hab. Jerzego Langer, Wydanie drugie, WN T Warszawa 1987, s. 84.

² Podkreślenia moje (W.R.).

³ Wielkością fizyczną nazywamy mierzalną cechę ciała, zjawiska lub procesu fizycznego. (Przyp. autora.)

⁴ Warto tu zauważyć, że biały napis lub rysunek na czarnej i matowej tablicy jest lepiej widoczny niż napis mazakiem na białej tablicy. Jest to wynik radiacji bieli. Dlatego np. klawiatury komputerowe są czarne, a litery i cyfry na nich białe.

tanci tego programu to albo wykładowcy uczelni wyższych, albo pracownicy Instytutu Kształcenia Nauczycieli (IKN)⁶, jak również pracownicy Wojewódzkich Ośrodków Metodycznych, a także nauczyciele-praktycy.

Krótki rys historyczny

Zanim przejdę do uwag metodycznych odnośnie organizacji lekcji z pokazem lub z doświadczeniami pomiarowymi, pozwolę sobie na krótki rys historyczny.

Napisałem wyżej, że motorem zarówno badań doświadczalnych, jak i dociekań teoretycznych, jest przede wszystkim ciekawość poznawcza. Zapewne owa ciekawość skłoniła Eratostenesa (275-194 p.n.e.) do podjęcia próby ustalenia wielkości Ziemi. I próba ta okazała się udana. Zanim o tym napiszę, parę słów o samym uczonym. Był filozofem, geografem i astronomem. Ok. 235 r. p.n.e. został powołany przez Ptolemeusza III na stanowisko dyrektora słynnej biblioteki w Aleksandrii.⁷ Funkcję tę piastował do późnej starości.

A teraz o jego pomiarze: Po pierwsze: wiedział, że Ziemia ma kształt kuli.⁸ Po drugie: jako astronom, wiedział, jak zmienia się położenie Słońca w zależności od odległości punktu obserwacji od równika Ziemi. Następnie stwierdził, że gdy w czasie górowania Słońca w mieście Syene (dzisiejszy Asuan) promienie słoneczne padają pionowo, to tego samego dnia w czasie górowania Słońca w Aleksandrii promienie te padają pod kątem ok. 7° do pionu. Znając odległość do owego Syene, mógł stwierdzić, że obwód Ziemi (w tym przypadku długość południka) jest tyle razy dłuższy od odległości Aleksandria-Syene,⁹ ile razy kąt pełny jest większy od tych 7 stopni. Podobno uzyskał długość odpowiadającą w przybliżeniu dzisiejszym 39 tysiącom km.¹⁰ Zatem był to bardzo dobry wynik. Następny tego typu pomiar wykonano we Francji dopiero w 1520 roku.

Nie wiemy, czy i jakie doświadczenia wykonywali starożytni uczeni, ale zapewne Archimedes doszedł do swego prawa nie tylko korzystając ze swej intuicji.

Na rolę doświadczeń w procesie poznawczym po raz pierwszy zwrócił uwagę angielski franciszkanin filozof Roger Bacon (ok. 1214-1294). Głosił on program oparcia nauki na eksperymencie oraz matematycznych metodach dowodzenia. W związku z tym postulował zmianę sytemu nauczania, co jednak nie spotkało się z przychylnym przyjęciem Kościoła. I tu warto zauważyć, że apostoł Paweł w 53 r. n.e. w liście do Tesaloniczan napisał: „Wszystko badajcie, a co szlachetne przyjmujcie”.¹¹ Dziwić więc może późniejszy negatywny stosunek Kościoła do badań naukowych. Pamiętamy przecież obawy Mikołaja Ko-

pernika związane z publikacją swojego dzieła czy proces Galileusza.¹²

Pozwolę zatrzymać się przy tych dwóch uczonych. Krótko o Galileuszu: Stwierdził on, że w przypadku, gdy możemy pominąć opór powietrza, to czas spadania ciała z tej samej wysokości jest taki sam, bez względu na ich masę.¹³ Dziś mówimy, że spadają z jednakowym przyspieszeniem. Zakwestionował on w ten sposób wydawałoby się nienaruszalny autorytet wielkiego Arystotelesa. Dodam, że Galileusz stanął przed sądem Inkwizycji za pamflet ośmieszający przeciwników kopernikańskiego heliocentryzmu.

A Kopernik? Tym razem zakwestionował on autorytet Ptolemeusza, a przy okazji niektóre zapisy zawarte w Starym Testamencie. Na czym jednak polegał ów problem? Otóż Ptolemeusz, a w zasadzie jego poprzednicy, obserwowali niebo, przyjmując, że układem odniesienia jest Ziemia. A w tym opisie ruch ciał niebieskich jest niezwykle skomplikowany. Przeniesienie układu odniesienia z Ziemi na Słońce radykalnie uprościło ten opis. Nic dziwnego, że tak wielka prostota tego opisu musiała zachwycić Kopernika. Przyjął więc, że powinien to być opis prawdziwy. Potem J. Kepler zamienił wprawdzie okręgi orbit na elipsy,¹⁴ ale opis naszego Układu Planetarnego pozostał taki sam.

Jeżeli chodzi o Izaaka Newtona, to wiemy, że eksperymentował ze zjawiskiem rozszczepienia światła słonecznego, natomiast wydaje się, że do swoich zasad doszedł poprzez rozumowanie dedukcyjne. W przypadku prawa powszechnego ciążenia wykonał obliczenie sprawdzające jego słuszność. Jest to tak zwany „rachunek księżycowy” Newtona. A rozumowanie było następujące: jeżeli siły grawitacyjne maleją z kwadratem odległości, to i przyspieszenie ciał wywołane przez te siły powinno też maleć z kwadratem odległości od ciała centralnego. Wystarczyło zatem porównać wartości przyspieszenia swobodnie spadających ciał w pobliżu Ziemi z przyspieszeniem dośrodkowym ruchu orbitalnego Księżyca. Pierwsze obliczenia nie dały zadowalającego wyniku, ale gdy ustalono dokładniejszą odległość Księżyca od środka Ziemi, wówczas Newton ponownie wykonał te obliczenia, które tym razem potwierdziły w pełni jego hipotezę. Mógł więc opublikować ją już jako obowiązujące w przyrodzie prawo.

Dla osób, które pragną powtórzyć ów rachunek, podaję, iż wartość przyspieszenia dośrodkowego w ruchu orbitalnym Księżyca jest równa 0,0027 m/s² oraz że promień orbity Księżyca z dobrym przybliżeniem jest 60 razy większy od promienia Ziemi.

Zatem: $60^2 = 3600$, a $0,0027 \text{ m/s}^2 \cdot 3600 = 9,72 \text{ m/s}^2$, co jest bliskie wartości 9,8 m/s². Dodam, że przed opublikowaniem tego prawa Newton sprawdził przy użyciu

⁵ Ukazała się ona w 1973 r. Wcześniejsza to metodyka autorstwa Cz. Fotymy i Cz. Ścisłowskiego z 1961 roku.

⁶ Późniejszy Centralny Ośrodek Doskonalenia Nauczycieli (CODN).

⁷ Miasto w delcie Nilu założone przez Aleksandra wielkiego w 332 r. p.n.e.

⁸ Dziwić więc może to, że są jeszcze osoby, które twierdzą, że Ziemia jest płaska.

⁹ Powinno to być odległość, mierzona po południku. Niestety oba te miasta nie leżą dokładnie na tym samym południku, zatem ta odległość powinna być mierzona pomiędzy równoleżnikami, na których leżą miasta.

¹⁰ Promień kuli mógł obliczyć, gdyż wiadano wówczas, że stosunek obwodu koła do długości jego promienia ma się tak, jak 22 do 7 (dzisiejsza liczba π).

¹¹ 1. Tes. 5 w. 21.

¹² Dopiera Jan Paweł II przeprosił za wyroki wydane przez Inkwizycję.

¹³ Doświadczenie to wiąże się z krzywą wieżą w Pizie.

¹⁴ Swoje prawa oparł na wieloletnich obserwacjach i pomiarach położenia planet na sferze niebieskiej.

analizy matematycznej, że ciała rozciągle o symetrii kuli-
stej będą oddziaływać grawitacyjnie tak samo jak punkty
materialne. Przy okazji wymyślił podstawy dwóch rodza-
jów rachunku, które dziś nazywamy rachunkiem różnic-
kowym i całkowym.

Bywa, że przy okazji wykonywanych badań odkrywa
się nowe, dotąd nieznanne zjawisko fizyczne lub nową
właściwość materii. I tak, badając promienie katodowe,
Roentgen odkrył nowy rodzaj promieniowania. Podobnie
było z odkryciem promieniowania radioaktywnego przez
Becquerela. Natomiast Maria Skłodowska-Curie, gdy
zauważyła, że ruda uranu promieniuje bardziej niż czy-
sty uran, wysunęła słuszną hipotezę, że ruda ta powinna
zawierać jakieś nieznanne dotąd pierwiastki o silniejszym
promieniowaniu niż znany dotąd uran. Jak wiemy skoń-
czyło się to odkryciem dwóch nowych pierwiastków pro-
mieniotwórczych polonu i radu, i... nagrodą Nobla.

Szkolne doświadczenia fizyczne

Dawniej odkryć dokonywali pojedynczy uczeni, samo-
dzielnie wykonując przedmioty potrzebne do badań, a obec-
nie stosuje się coraz potężniejsze urządzenia i zatrudnia set-
ki uczonych. Niech przykładem będzie pierwszy cyklotron
Lawrence'a, którego średnica nie przekraczała średnicy ta-
lerza, a dziś są to urządzenia o promieniu kilku kilometrów.

Ale wróćmy do szkolnych doświadczeń fizycznych.
Można tu wyróżnić doświadczenie pokazowe (demonstra-
cję) oraz doświadczenie pomiarowe.¹⁵ Nie będę omawiał
metodyki wykonywania owych doświadczeń, co można
znaleźć chociażby w wyżej wymienionych książkach, ale
stwierdzę tylko, że pokaz lub doświadczenie pokazowe
ilustrujące dane treści nauczania powinny pojawiać się **na
każdej lekcji** poświęconej wprowadzaniu nowego materia-
łu. Można je wykorzystywać zarówno w części wstępnej jako
wprowadzenie do tematu lekcji, w części głównej – jako
podstawowa metoda opracowania tematu lekcji, czy też
w jej części końcowej jako podsumowanie ew. przykład
występowania lub zastosowania omawianego zjawiska.

¹⁵ Zob.: *Metodyka nauczania fizyki w szkole średniej* pod redakcją K. Badziąga, PZWS, Warszawa 1973; T. Dryński, *Doświadczenia pokazowe z fizyki*, PWN
Warszawa 1964 oraz D. Tokar, B. Tokar, B. Pedzisz, *Doświadczenia z fizyki dla szkoły podstawowej*, WSiP, 1990.

W przypadku, gdy dany problem dydaktyczny nie może
być zilustrowany doświadczeniem pokazowym, wówczas
można użyć np. animacji komputerowej. Jednakże żywe
postrzeganie jest znacznie korzystniejsze dydaktycznie.
Nie rezygnujemy z niego tylko dlatego, że wiąże się z tym
pewien wysiłek włożony w jego przygotowanie i przepro-
wadzenie. Dodam tylko, że znacznie korzystniejsze jest np.
wykonanie rysunku na tablicy z równoczesną jego interpre-
tacją, niż pokazanie gotowego na planszy lub na ekranie.

We wspomnianym programie nauczania fizyki dla szkół
zalecono, by w klasie 6 wykonać pokaz ruchów Browna.
Uważam, że ów pokaz powinien być wykonany na począt-
ku lekcji o energii wewnętrznej ciał w szkole podstawowej
a obowiązkowo w szkole średniej. A jak go przeprowadzić?

Do zlewki nalewamy ok. 50 ml zimnej wody, dodaje-
my kroplę mleka, mieszamy i jedną kroplę tej miesza-
niny przenosimy na szkiełko preparacyjne, przykrywamy
szkiełkiem nakrywkowym i kładziemy na stolik mikro-
skopu pod jego obiektyw. Dobieramy powiększenie od
150 do 200x i obserwujemy ruch maleńkich kuleczek
tłuszczu zawieszonych w roztworze wodnym. By zwięk-
szyć kontrastowość obserwowanego obrazu warto zasto-
sować filtr niebieski. Mam nadzieję, że potrzebny do tego
doświadczenia mikroskop znajduje się w każdej pracowni
biologicznej. Oczywiście korzystnym byłoby wykonanie
tego pokazu przy użyciu mikroskopu projekcyjnego (mia-
łem taki w pracowni fizycznej już 50 lat temu!) lub z moż-
liwością projekcji na ekran komputera.

Przykład doświadczenia pomiarowego.

Będzie to pomiar przyspieszenia i tak wykonywany, by
brali w nim udział wszyscy uczniowie danej klasy czy gru-
py. Skorzystam przy tym z sugestii autorów poprzedniego
programu, by do doświadczeń wykorzystywać dostępne
przedmioty codziennego użytku. Na lekcji poprzedzającej
tę lekcję proszę, by uczniowie postarali się o tzw. resoraki,¹⁶
w liczbie takiej, ile jest stolików w pracowni (ew., w sali
lekcyjnej), bo będą nam potrzebne do doświadczeń.¹⁷



Lekcję tę rozpoczynam od przypomnienia definicji ruchu jednostajnie przyspieszonego, sposobu obliczania wartości przyspieszenia i drogi w ruchu jednostajnie przyspieszonym bez prędkości początkowej. Wstępnie demonstruję swobodny zjazd samochodziku z ustawionej równi pochyłej na stole demonstracyjnym. **Wspólnie** zastanawiamy się, jak wykonać pomiar przyspieszenia w tym ruchu. Nie możemy skorzystać ze wzoru: $a = v_k/t$, bo trudno będzie zmierzyć prędkość końcową.¹⁸ Możemy jednak łatwo zmierzyć długość równi jako drogę (s) tego ruchu. W ruchu tym można ją obliczyć ze wzoru:

$$s = v_{sr.} \cdot t = \frac{1}{2} v_k \cdot t \Rightarrow v_k = 2s/t$$

Łącząc ten wzór ze wzorem na przyspieszenie, otrzymamy: $a = 2s/t^2$

Dochodzimy do wniosku, że chcąc zmierzyć przyspieszenie resorka na równi pochyłej, należy zmierzyć długość równi (s) i czas zjazdu tego samochodziku (t).¹⁹ Na tablicy ustalamy postać tabeli pomiarów. A jak zrobić równię ze stolika uczniowskiego? Należy podłożyć dwa jednakowe przedmioty pod prawą parę nóg stolika. Wystarczy w tym przypadku niewielki przedmiot, by kąt nachylenia tak sporządzonej równi nie przekraczał 5° i by uzyskać możliwie długi czas trwania ruchu. Zaznaczamy na blacie stołu linię startu i linię mety odległą o ok. 1m od linii startu oraz wykonujemy próbny start. Pierwszy pomiar również powinien być pomiarem próbnym. Ustalamy liczbę pomiarów. Pomiary wykonujemy w grupach. Wyniki uzyskane przez jedną z grup zapisujemy w tabeli na tablicy, odrzucając wynik pomiaru, który znacznie odbiega od pozostałych.²⁰

Pomiar	1	2	3	...
t (s)				
Δt (s)				

Następnie obliczamy **średni czas** ruchu modelu ze wzoru:

$$t_{sr.} = (t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i + \dots + t_n) : n$$

Gdzie n to liczba pomiarów przyjętych jako poprawne. Uzyskana wartość to najbardziej prawdopodobny czas trwania ruchu samochodziku.

Wiemy jednak, że każdy pomiar obarczony jest niepewnością.

Jak ją obliczyć w tym przypadku?

W podręcznikach szkolnych widziałem taki wzór:

$$\Delta t_{sr.} = (t_{max.} - t_{min.}) : 2$$

Nie należy go stosować, choćby dlatego, że daje zawyżoną wartość tej niepewności. W pomiarze jednostkowym

niepewność pomiaru równa jest wartości najmniejszej działki przyrządu pomiarowego. W przypadku pomiaru wielokrotnego owa niepewność jest średnią arytmetyczną bezwzględnych²¹ odchyleń kolejnych pomiarów od wartości średniej:

$$\Delta t = |t - t_{sr.}|$$

Zatem:

$$\Delta t_{sr.} = (\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_i + \dots + \Delta t_n) : n$$

Możemy już zapisać wynik pomiaru:

$$t = (t_{sr.} \pm \Delta t_{sr.})s.$$

Należy przy tym pamiętać, by liczby odnoszące się do wymienionych wielkości we wzorze były napisane z tą samą dokładnością – np. do dwóch zer znaczących, a zaokrąglamy je zgodnie z wcześniej poznanymi zasadami.

Umiejętności obliczania tej niepewności nie wymaga program nauczania fizyki w kl. VII, ale warto to zrobić. Przy okazji pokaże ono, która z grup wykonała pomiar najdokładniej.²² A wiemy, że staranne wykonywanie doświadczeń fizycznych jest warunkiem ich powodzenia, a także badawczej satysfakcji. Natomiast na pytanie, dlaczego w poszczególnych grupach uzyskano różne wyniki średniej wartości mierzonego czasu, uczniowie bez trudu odpowiedzą, że przyczyną są różne kąty nachylenia stołów.

Do obliczenia wartości uzyskanego przyspieszenia potrzebny jest jeszcze pomiar drogi w badanym ruchu. Ponieważ pomiar wykonano prawdopodobnie z dokładnością do 1cm (np. przymiarem krawieckim), zatem błąd względny tego pomiaru jest prawdopodobnie mniejszy od 1%, co możemy uznać, że jest to pomiar wystarczająco dokładny.²³

Teraz możemy już obliczyć wartości uzyskanych przyspieszeń.

Dlaczego tak szczegółowo omówiłem to doświadczenie pomiarowe? Otóż po pierwsze dlatego, że program nauczania przewiduje tego typu zajęcia, po drugie: chciałem pokazać, że takie doświadczenie można przeprowadzić bez zaawansowanego wyposażenia pracowni fizycznej i wreszcie dlatego, że mierzenie wielkości fizycznych jest podstawową metodą badawczą stosowaną w fizyce i nie wolno nam z niej rezygnować.

Na koniec dodam, że wykonując doświadczenia pomiarowe, nie powinniśmy korzystać z urządzeń, które wyręczają uczniów w działaniu. Uczniowie powinni móc śledzić cały proces badawczy i na każdym etapie w nim aktywnie uczestniczyć.

Waldemar Reñda
Olkusz, lipiec 2022

¹⁶ Modele samochodów, którymi chętnie bawią się dzieci.

¹⁷ Taką lekcję można przeprowadzić zarówno w kl. VII szk. podst. jak i w kl. I liceum lub technikum.

¹⁸ Jest to możliwe, badając dalszy ruch samochodziku po poziomym blacie stołu.

¹⁹ Można użyć stoperów szkolnych. Niektóre współczesne zegarki elektroniczne i smartfony umożliwiają tego rodzaju pomiar.

²⁰ Uwaga! Trzeci wiersz dodajemy, gdy chcemy obliczyć średnią niepewność pomiaru czasu $\Delta t_{sr.}$.

²¹ Suma tych różnic z uwzględnieniem znaków będzie równa zero.

²² Należałoby w tym przypadku obliczyć niepewność względną w procentach. Program tego nie przewiduje, ale nic nie stoi na przeszkodzie, by takie obliczenie wykonać, jeżeli uczniowie znają pojęcie procentu. O ile wiem, to temat ten jest w programie matematyki w kl. VII.

²³ Obliczenie niepewności wielkości złożonych realizuje się w licealnym programie rozszerzonym fizyki.

Technika Feynmana w edukacji fizycznej, czyli od wyjaśnienia do zrozumienia

Istnieje potrzeba, a wręcz konieczność, nabycia umiejętności uczenia się. To ważne, gdy nie tylko wskazane jest nauczyć się, ale przede wszystkim by realizować zainteresowania w poznawaniu świata, także tego opisanego przez fizykę.

Kazimierz Mikulski

Przypominamy sobie, jak to trudno uczyć się na pamięć jakiejś niezrozumiałej definicji, także z fizyki. Wystarczyło, że umknęło jedno słówko i nie potrafimy dokończyć reguły lub całego prawa. Dzieje się tak, gdy nie rozumiemy danego zagadnienia. Okazuje się, że informacje „wykute na blachę” bardzo szybko ulatują z naszej pamięci. Wielu się przekonało w trakcie przygotowania do egzaminu z nie lubianego przedmiotu. Wszystkim jest znana zasada „trzech Z”, czyli zakuć, zdać i zapomnieć. Fakt ten wykorzystał Richard Phillips Feynman¹, który wskazał, że skuteczna nauka natychmiast zaczyna się od zrozumienia.

W przekonaniu dużej liczby uczniów, a także dorosłych, przedmiot fizyka kojarzy się z nudnymi i niestety z skomplikowanymi definicjami i wzorami. Mimo, że to prawa fizyki, jak żadne inne, są obecne w naszym życiu codziennym. Feynman uważał, że wyjaśnienie najbardziej skomplikowanego pojęcia i zjawisko należy dokończyć możliwie prostymi słowami. Uważał on, że jeśli nie potrafimy tego zrobić, to znaczy, że sami nie rozumiemy dostatecznie danego pojęcia, czy też koncepcji.

Istota „Techniki Feynmana”

Technika uczenia się nazwana na cześć Feynmana, który ją stosował, polega na użyciu prostej **analogii**² lub **metafory**³ do wytłumaczenia dowolnego zagadnienia. Głównym celem jest zidentyfikowanie pytań, na które nie potrafimy odpowiedzieć. Pozwala to znaleźć braki we własnej wiedzy i można dobrze poznać to, czego się uczymy.

*Metafory i analogie, poprzez zestawienie razem różnych kontekstów, prowadzą do powstawania nowych sposobów patrzenia. Prawie wszystko to, co wiemy, łącznie z poważną nauką, opiera się na metaforze. I dlatego nasza wiedza nie jest absolutna.*³

Joseph Weizenbaum⁴

Idea „Techniki Feynmana” jest nawiązaniem do słów, które w literaturze przedmiotu, często przypisywane są Albertowi Einsteinowi, często wspominane przy omawianiu tej techniki:

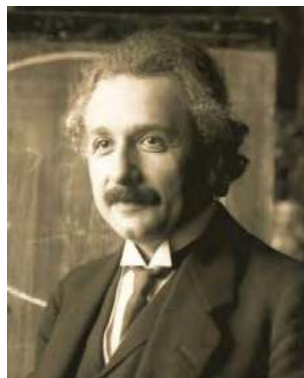
„Jeśli nie możesz czegoś prosto wytłumaczyć, to znaczy, że sam nie rozumiesz tego dostatecznie dobrze.”

¹ Richard Phillips Feynman (1918-1988) – amerykański fizyk teoretyk; uznany w 1999 roku za jednego z dziesięciu najwybitniejszych fizyków wszech czasów. Jeden z głównych twórców elektrodynamiki kwantowej, laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w 1965 r. za stworzenie relatywistycznej elektrodynamiki kwantowej. https://pl.wikipedia.org/wiki/Richard_Feynman https://philosophynow.org/issues/114/Richard_Feynmans_Philosophy_of_Science

² <https://pl.wikipedia.org/wiki/Analogia>

³ <https://pl.wikipedia.org/wiki/Metafora>

⁴ https://pl.wikipedia.org/wiki/Joseph_Weizenbaum



Fotografia 1, 2, 3, 4. Richard Phillips Feynman (1918-1988), Albert Einstein (1879-1955), Charles Robert Darwin (1809-1882) oraz Joseph Weizenbaum (1923-2008) – emerytowany prof. informatyki w Massachusetts Institute of Technology. W 1966 r. stworzył program o nazwie ELIZA, który umożliwiał prowadzenie prostej rozmowy z komputerem (algorytm umożliwiał budowanie zdań-odpowiedzi na zadawane pytania w języku naturalnym).

Źródło: <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/3900638#prettyPhoto>, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/af/Einstein1921_by_F_Schmutzer_2.jpg, https://pl.wikipedia.org/wiki/Charles_Darwin#/media/Plik:Charles_Darwin_seated_crop.jpg, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/17/Joseph_Weizenbaum.jpg



Fotografia 5, 6, 7. Shin'ichirō Tomonaga (1906-1979) japoński fizyk, Julian Seymour Schwinger (1918-1994) – amerykański fizyk oraz Richard Phillips Feynman (1918-1988)
Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Julian_Schwinger
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1a/RichardFeynman-PaineMansionWoods1984_.copyrightTamikoThiel_bw.jpg

Podobną technikę stosował Charles Darwin, który wyobrażał sobie, że ktoś wszedł do jego pracowni i musiał mu wyjaśnić to, nad czym aktualnie pracował. Więcej do poznania w opracowaniu Barbara Oakley.⁵

Technika (metoda) Feynmana, by szybciej się uczyć

Odczuwamy czasami, że nie robimy postępów, kiedy się uczymy. Zastanawiamy się, dlaczego tempo uczenia się jest tak powolne, szczególnie po kilku nieudanych próbach zapamiętania definicji. Okazuje się, że zapamiętywanie informacji czasami nie jest takie proste. Pomocą w tym aspekcie jest właśnie **technika Feynmana**. Jak działa technika Feynmana, która jest oparta na słowach A. Einsteina? Spróbujmy to zrozumieć! A także kilka słów o jej twórcy.

Richard Phillips Feynman był amerykańskim fizykiem teoretycznym. Powszechnie znany jest z prac w dziedzinie mechaniki kwantowej, teorii elektrodynamiki kwantowej i fizyki nadciężkości schłodzonego helu oraz fizyce cząstek elementarnych. Szczególnie warto poznać *Diagramy Feynmana*.⁶ W 1965 r. Feynman otrzymał Nagrodę Nobla wspólnie z Japończykiem Shin'ichirō Tomonagą i Amerykaninem Julianem Schwingerem. Uczonych uhonorowano za stworzenie relatywistycznej elektrodynamiki kwantowej. Feynman wynalazł metodę upraszczania obliczeń, przy rozwiązywaniu zagadnień oddziaływania cząstek, przez rysowanie diagramów obrazujących proces (tzw. diagramy Feynmana, 1948) i przypisywanie im odpowiednich wyrażeń matematycznych.

Zgodnie z ankietą brytyjskiego czasopisma *Physics World* z roku 1999, spośród 130 czołowych światowych fizyków, Feynman został uznany za jednego z dziesięciu największych fizyków wszech czasów. Jak sam stwierdza:

„Nie wiem, co dzieje się z ludźmi: nie uczą się ze zrozumieniem; uczą się poprzez powtarzanie lub w inny sposób. Jakże krucha jest ich wiedza”

Na czym polega technika Feynmana? a może „Metoda Feynmana”?

W wielu opracowaniach wymieniana „Metoda Feynmana” jest w zasadzie „Techniką Feynmana” albowiem sekwencja 5 kroków powinna być nazywana techniką, którą wyjaśnił jego biograf James Gleick w książce *Genius: The Life Science of Richard Feynman*. Korzystając z tej techniki, każda osoba może skutecznie zdobywać nową wiedzę, jeśli tylko ma chęci. Jest to również **potężne narzędzie, które może pomóc przygotować się do każdego egzaminu oraz do rozwiązania problemu zrozumienia konkretnego zagadnienia**.

Feynman pisał: „Nie rozumiem tego, czego nie mogę stworzyć”. James Gleick opowiada, jak Feynman otworzył swój nowy notes i napisał na okładce „**Rzeczy, których jeszcze nie umiem**”. Fizyk zawsze starał się dotrzeć do sedna wszystkiego, czego się uczył. Zamierzał zapisać w tym zeszycie wszystkie wyjaśnienia, które rozwijały się w trakcie jego badań.

Możemy zrobić to samo w stosunku do przyjaciół, opowiadając im, czego się nauczyłem. Lepiej to zapamiętam i zrozumieć, w miarę jak im to wyjaśniamy. Jednak nie zawsze mamy tak pomocnego i cierpliwego przyjaciela.⁷ Feynman opracował równie skuteczną technikę: **uczenie się poprzez wyjaśnianie**. Podstawą tej techniki jest zapoznanie się z materiałem do nauki, a następnie próba wyjaśnienia go w prosty sposób, tak jakbyśmy zwracali się do osoby o mniejszej wiedzy niż my mamy (na dany temat).

Ta forma uczenia się jest nazywana aktywną. Wyjaśniając materiał musimy używać innego języka i różnych strategii. Znacznie łatwiej wyłapiemy błędy, co powoduje uczenie się bardziej efektywnie. *Technika Feynmana* składa się z kilku prostych kroków (działań). W literaturze czasami jest ich więcej. Zobaczmy, na czym one polegają.

Na początek **należy na pustej kartce napisać nazwę koncepcji**,⁸ której się uczymy. Na przykład, jeśli uczymy się danego twierdzenia, zapisujemy je na górze kartki.

⁵ Barbara Oakley: Głowa do liczb. Gliwice, Grupa Wydawnicza Helion, 2016 r. <https://pieknoumyslu.com/technika-feynmana-szybciej-sie-uczy/>

⁶ Diagram Feynmana – sposób graficznego zapisu pewnych równań fizycznych wymyślony przez Feynmana. To przedstawienie graficzne rozwiązywania równań kwantowej teorii pola metodą perturbacyjną; linie przedstawiają swobodny ruch cząstek, oddziaływania obrazuje punkt (wierzchołek), w którym spotyka się kilka linii; metodzie perturbacyjnej odpowiada włączanie kolejnych diagramów o coraz większej liczbie wierzchołków; ten sam diagram może opisywać wkład do różnych procesów fizycznych. <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/3900639>. https://pl.wikipedia.org/wiki/Diagram_Feynmana

⁷ Pomoc przyjaciela, czyli nie walcz sam z problemami, <https://pieknoumyslu.com/pomoc-przyjaciela-nie-walcz-sam/>

⁸ Bertrand Russell i jego koncepcja szczęścia, <https://pieknoumyslu.com/bertrand-russell-koncepcja-szczescia/>

Warto pamiętać o wskazaniach B. Russella:

„Mądry myśli o swoich problemach tylko wtedy, gdy widzi w tym jakiś sens; w innym przypadku myśli o innych rzeczach.“

Bertrand Russell⁹

Jednak Bertrand Russell odkrył, że wiedza poprowadziła go na ścieżkę spełnienia. Także filozofia i logika pozwoliły mu wejść głębiej w swoje własne życiowe doświadczenia. Spowodowały, że poczuł się częścią czegoś większego. Podniosły go na duchu i przezwyciężyły cierpienie w życiu osobistym. Według Russella stanowi to część hipotezy o tym, jak być szczęśliwym. Po napisaniu tytułu, powinniśmy opisać zagadnienie własnymi słowami i prostym językiem, tak jakbyśmy tłumaczyli to innej osobie.

Trzecim krokiem jest sprawdzenie wszystkiego, co napisaliśmy, w celu zidentyfikowania części, które nie są wyjaśnione poprawnie lub zawierają błędy. Powracamy do notatek lub poszukujemy nowych informacji na dany temat. Wskazane jest stosowanie przykładów wzmacniających wiedzę. Nauczmy się myśleć krytycznie o informacjach i stosować swoją wiedzę. To pierwsze kroki do stania się również lepszy w nauczaniu. Działa to również bez względu na temat, którego próbujesz się nauczyć. Znajdźmy słowo (słowa, definicje, ...), które potrzebujemy lub chcemy poznać w kilku słownikach, przestudujmy jego znaczenie i użycie, a następnie napiszmy i wyjaśnijmy je sobie, a nawet przyjacielowi.

Kolejnym krokiem jest dokonanie ostatecznej korekty zebranych danych w wersji pisemnej. Możemy skorygować tekst, aby był prostszy i bardziej zrozumiały. Do tego możemy użyć wspomnianych powyżej metafor lub porównań. Upewniamy się, że tekst jest zrozumiały przez każdego.

Wskazane jest pamiętanie o stworzeniu własnych, przykładowych zdań tego słowa, pamiętając, że prawdopodobnie może ono być używane na różne sposoby lub mieć różne znaczenia. Wykonujemy działania tak długo, aż pocujemy się pewni, że dobrze rozumiemy jego znaczenie i jak go używać.

Należy teraz upewnić się, że nasze notatki nie posiadają żadnych pozostałości trudnego do zrozumienia żargonu i naukowej nowomowy. Notatki muszą być również zupełnie czytelne. Następnie cały zestaw notatek musimy połączyć w prostą, łatwo płynącą opowieść. Czytamy ją na głos, sprawdzając, czy na każdym etapie jest zrozumiała. Jeśli gdziekolwiek pojawiają się niejasności, wiemy, nad którym fragmentem musimy jeszcze popracować. Jeśli opowieść płynie gładko, prawdopodobnie opanowaliśmy temat. Jeśli po wykonaniu tych czterech prostych kroków

nasze wyjaśnienia nadal nie są zrozumiałe, być może nie zrozumieliśmy w pełni tego, czego się uczyliśmy. W takim przypadku powinniśmy rozpocząć proces od nowa.

Jak przedstawia się opis techniki (metody)?

Interesująca nas *Technika* składa się z wymienianych etapów¹⁰: wybierz koncepcję; wyjaśnij tę koncepcję pisemnie, używając prostego języka; zidentyfikuj swoje braki w wiedzy oraz zastosuj analogię, aby wyjaśnić tę koncepcję.

Słowa Einsteina można odwrócić, a wskazany cytat, będzie bardzo potężnym narzędzie do nauki: „**Jeśli chcesz się czegoś dobrze nauczyć, wyjaśnij to komuś**”.

Podobnie uważa John Hattie, będący autorem i współautorem ponad 600 publikacji obejmujących uczenie się i nauczanie, koncepcje nauczania matematyki oraz ram widzialnego uczenia się. Jego książki stanowią syntezę wyników ponad 900 badań obejmujących miliony uczniów. Ukazują, co faktycznie wpływa na uczenie się. W tym szeroko zakrojonym projekcie badawczym łączy dotychczasowe strategie nauczania z praktycznym ich zastosowaniem podczas zajęć. Na szczególną uwagę zasługuje opracowanie *<Uczniowskie wzajemne nauczanie>* o wskaźniku 0,55.¹¹

Z badań Hattiego wynika, że ta idealna sytuacja – widoczne uczenie się – występuje wówczas, gdy nauczyciele widzą proces nauczania oczami swoich uczniów i pomagają uczniom **stawać się nauczycielami samych siebie**, czyli lepiej, skuteczniej uczyć się. Wśród czynników, które mogą mieć największy wpływ na osiągnięcia ucznia w nauce, znalazły się: samoocena, ewaluacja formatywna ucznia, odpowiednie komunikowanie się nauczyciela z uczniem, **wzajemne nauczanie, dialog (ang. reciprocal teaching)**, informacja zwrotna, relacje nauczyciela z uczniem, strategie metakognitywne (myślenie o czymś myśleniu), samowerbalizacja (*zadawanie sobie pytań*), rozwój zawodowy nauczyciela oraz nauczanie problemowe (ang. problem-solving teaching).¹²

Uważa się, że „*Feynman był tak dobry w wyjaśnianiu trudnych pojęć za pomocą prostego języka, że stał się również znany jako doskonały nauczyciel. Aby sprawdzić, czy jego koledzy z pracy rozumieją koncepcje, które wyjaśnił, kazał im wyjaśniać je z powrotem w ich własnym prostym języku. Wierzył, że skoro mogli to zrobić, to rzeczywiście dobrze zrozumieli.*”¹³

Technika uczenia się Feynmana okazała się skuteczną metodą uczenia się czegoś nowego lub pogłębiania zrozumienia tego, co już wiesz.

Niejednokrotnie powtarzałem moim uczniom, a także moim studentom, że „**jeśli potrafisz coś komuś wyjaśnić, to prawdopodobnie dobrze o tym wiesz.**”

⁹ <https://pieknoumyslu.com/bertrand-russell-koncepcja-szczescia/>

¹⁰ Peter Hollins: *Sztuka Samodzielnej Nauki. Jak zdobyć dowolną umiejętność w krótszym czasie i jak pokierować własną edukacją*. Gliwice: onepress, 2020

¹¹ Interesowały go różne strategie i działania podejmowane w nauczaniu, zwykle w dążeniu do poprawy wyników. Wyniki analizy ułożył na jednej skali, aby w ten sposób zbadać, co tak naprawdę ma wpływ na osiągnięcia uczniów.

¹² Ponieważ prof. Hattie sukcesywnie uzupełnia listę czynników wpływających na uczenie się, najaktualniejsza wersja (2009) wygląda już nieco inaczej i można ją znaleźć na stronie: <http://visible-learning.org/hattie-ranking-influences-effect-sizes-learning-achievement/> <http://visible-learning.org/hattie-ranking-influences-effect-sizes-learning-achievement/>. Więcej na stronie internetowej <http://visible-learning.org/visible-learning.org>, <https://www.edunews.pl/badania-i-debaty/badania/2832-osiem-zasad-istotnych-w-pracy-nauczyciela>

¹³ Głęboka nauka poprzez wyjaśnianie – technika Feynmana <https://morksensei.com/learning-deeply-by-explaining-the-feynman-technique>



Fotografia 8, 9, 10. Bertrand Arthur William Russell (1872-1970), w 1950 r. otrzymał nagrodę Nobla w dziedzinie literatury „w uznaniu jego różnorodnych i znaczących pism, w których bronił ideałów humanitarnych i wolności myśli”, chociaż sam utrzymywał, że nagrodę otrzymał za książkę „Mażeństwo i moralność” (ang. *Marriage and Morals*), w której opowiedział się za „wolną miłością” i swobodą seksualną; oraz John Allan Clinton Hattie (1950) z 2014 r. Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/Portrait_of_Bertrand_Russell_in_1893.jpg, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/John_Hattie.jpeg, <https://au.corwin.com/en-gb/ocel/author/hattie-john>

Technika Feynmana — podsumowanie

Ucząc innych utrwalamy bowiem zdobytą wiedzę i po części sami się uczymy. Podobnie jest w przypadku metody Feynmana. Tutaj, stajesz się swoim nauczycielem. Odczarujesz skomplikowane definicje i przekładasz je z „polskiego na nasze”.¹⁴

Jak podkreślał Feynman: „*Wiedzieć, jak się rzeczy nazywają jest czymś zupełnie innym niż wiedza o tym, czym naprawdę coś jest*”.

Aby skutecznie zapamiętać informacje, czyli zakodować je w pamięci długotrwałej, warto wspomagać się: powtarzaniem informacji; świadomym łączeniem zapamiętywanych informacji z wcześniejszymi informacjami; zapamiętywaniem informacji zorganizowanych w świadome „struktury”, które łatwiej są kodowane w mózgu; używaniem różnych zmysłów (wzrok, słuch, węch, dotyk); korzystaniem z bycia w ruchu oraz świadomym odpoczywaniem, włączaniem przerw, ze spaniem wystarczającą liczbę godzin.

Jako profesor cieszył się niezwykłą popularnością wśród studentów. Był w stanie wytłumaczyć im nawet najbardziej skomplikowane teorie z zakresu fizyki, używając przy tym prostego¹⁵ i zrozumiałego języka. Dzięki temu jego studenci doskonale rozumieli wszystkie zagadnienia. Doprowadziło to do powstania techniki Feynmana, metody przyswajania wiedzy, która nadaje się zarówno do samodzielnego uczenia się, jak i nauczania innych osób.

„Jest różnica między rozumieniem czegoś a знaniem jego nazwy. Aby coś zrozumieć, musimy być w stanie wytłumaczyć to w zwięzły i precyzyjny sposób.”

Pełne zrozumienie osiąga się jedynie wtedy, gdy jest się w stanie wytłumaczyć dane zagadnienie w zwięzły i precyzyjny sposób.

Jak się uczyć stosując metodę Feynmana oraz by uniknąć „pułapek”?

Jeśli uczysz się z techniką pomodoro, wybierz temat, który możesz powtórzyć właśnie w 25 minut. Jeśli uważam, że znam i rozumiem jakieś zagadnienie, a nie jestem w stanie opowiedzieć o nim własnymi słowami, to niestety oznacza tylko jedno – nie rozumiem tego zagadnienia.

W tym miejscu czas na wyliczenie „dołów” tej metody lub jak wskazuje się w literaturze „pułapek”. Każda metoda i technika uczenia się w jednych warunkach spraw-

dza się lepiej, w innych gorzej. Pułapka pierwsza: „skoro technika Feynmana jest tak wychwalana, to może jedna wystarczy, by się nauczyć wszystkiego”? Niestety nie nauczymy się robiąc to samo, czyli wypisując i sprawdzając cały czas. Uważa się, że zabraknie przede wszystkim testowania nowej wiedzy w praktyce, w realnym świecie, urozmaicenia procesu uczenia się, a nasze głowy szybko się rozleniwiają. Technika Feynmana nie jest wystarczająca, by w pełni opanować jakieś zagadnienie na zawsze.

Pułapka druga dotyczy zbyt szerokiego określania tematu, a w związku z tym, zakresu naszej nauki tą metodą. Jeśli wiemy na dany temat bardzo dużo, wtedy w działaniach 2 i 3 będziemy pisać i pisać. Wypisuję wszystko, czas płynie, minuty lecą, a końca nie widać. Można by pomyśleć, że przecież tą metodą nie da się uczyć. Jest bardzo czasochłonna. Miesiąca, czy nawet 2 tygodni nauki metodą Feynmana powtórzyć się nie da. Zatem pytaniem otwartym jest – jak się uczyć efektywnie?

W pułapce trzeciej można by stwierdzić: nie mam z czym zweryfikować wiedzy? Nie o to chodzi, żeby w przez kilka dni przekopywać Internet oraz dokumenty, kursy, biblioteczki, by sprawdzić, czy nasza wiedza z głowy jest poprawna. Ważne jest poza określeniem odpowiedniego zakresu, z jakiego źródła będę czerpał ten zakres. Punktem odniesienia może być rozdział podręcznika, moduł kursu, materiały szkoleniowe, albowiem nauka metodą Feynmana jest zdecydowanie mniej efektywna niż mogłaby być.

Zauważalna jest pułapka, gdy stwierdzimy posiadanie odpowiednio długiego czasu i w konsekwencji planujemy zrobić tylko połowę kroków. Czując, że czas ucieka, to być może spokojne zastanawianie się, zapisywanie, parafrazowanie nie jest aktualnie najlepszą metodą. Lepiej sprawdzi się tworzenie pytań do przeczytanego tekstu oraz robienie sesji pytań i odpowiedzi ucząc się z techniką pomodoro¹⁶ w 25-minutowych odstępach. Ale jeśli czujesz, że możesz poświęcić te 25 minut właśnie na przegląd mniejszej porcji wiedzy, wtedy metoda Feynmana jest wskazana. Pozwoli sprawdzić, ile przychodzi do głowy informacji bez żadnych pytań uszczegóławiających, więc sprawdzasz swoją wiedzę w inny sposób, również pomocny, jak w przypadku sposobu z pytaniami.¹⁷

Myślę, że warto spróbować w edukacji fizycznej, a efekty pozytywne same przyjdą.

dr Kazimierz Mikulski
Maksymilianowo

¹⁴ <https://igimag.pl/2017/11/metoda-feynmana-czyli-noblisty-sposob-na-nauke-wszystkiego/>

¹⁵ <https://jestes mama.pl/zdrowie/psychologia/psychologia-dziecka/technika-feynmana-czy-to-jest-pomocna-metoda-nauczania/>

¹⁶ Dziuba-Wisniewska J., Na czym polega, kiedy warto ją stosować i jak się uczyć efektywnie z techniką pomodoro? <https://dziubawisniewska.pl/jak-sie-uczyz-efektywnie-z-technika-pomodoro/>

¹⁷ Więcej na stronie <https://dziubawisniewska.pl/jak-sie-uczyz-z-metoda-feynmana/>

Projekt edukacyjny w szkole podstawowej

Arleta Biegańska

Czym jest projekt edukacyjny, na czym polega nauczanie z wykorzystaniem tej metody?

Projekt edukacyjny jest metodą nauczania, którego istotą jest samodzielna praca uczniów. Realizacja projektu trwa dłużej niż wykonanie tradycyjnego zadania domowego. Nie jest to łatwa metoda pracy. Wymaga od nauczyciela kreatywności, zaangażowania i czasu. Jednak efekty uzyskane tą metodą potwierdzają skuteczność projektów i może dlatego niektórzy metodę projektów edukacyjnych nazywają „królową metod”.

Projekt edukacyjny w gimnazjach

Projekt edukacyjny na szeroką skalę zaistniał w szkołach wraz z powstaniem gimnazjów. W gimnazjach uczniowie mieli obowiązek uczestniczenia w projekcie edukacyjnym. Przepisy prawa¹ definiowały projekt edukacyjny oraz określały zadania dyrektora, wychowawcy i nauczycieli opiekujących się zespołami uczniów realizujących projekt. Określone były warunki zwolnienia ucznia z uczestniczenia w projekcie edukacyjnym. Fakt uczestniczenia ucznia w projekcie odnotowywany był na świadectwie ukończenia gimnazjum. Udział gimnazjalisty w realizacji projektu edukacyjnego uwzględniano w kryteriach oceniania zachowania ucznia gimnazjum zawartych w ocenianiu wewnątrzszkolnym.

Osobiście byłam zwolenniczką tej metody nauczania. Opiekowałam się projektami edukacyjnymi z zakresu fizyki². Pełniąc rolę dyrektora wspierałam nauczycieli realizujących projekty z innych przedmiotów³. Projekty edukacyjne cieszyły się dużą popularnością w moim gimnazjum. Na realizację niektórych z nich pozyskiwaliśmy z różnych źródeł dotacje finansowe, co pozwalało zwiększyć zakres i atrakcyjność projektów. Niektóre projekty wpisały się na stałe w kalendarz wydarzeń lokalnych i są kontynuowane do dziś, ale już w szkołach podstawowych.

Projekty edukacyjne w szkołach podstawowych.

Czy obecnie w szkołach podstawowych istnieje obowiązek realizacji projektów edukacyjnych? Po reformie zadania szkoły w zakresie projektu edukacyjnego określa Rozporządzenie w sprawie podstawy programowej⁴. We wstępie do podstawy programowej dla szkoły podstawowej podkreśla się znaczenie udziału uczniów w projektach zespołowych i indywidualnych dla jego rozwoju, w szczególności dla rozwijania kompetencji społecznych, komunikacyjnych.

W tym dokumencie zapisano m.in. „Zastosowanie metody projektu (...) pomaga również rozwijać u uczniów przedsiębiorczość i kreatywność oraz umożliwia stosowanie w procesie kształcenia innowacyjnych rozwiązań programowych, organizacyjnych lub metodycznych”. W przywołanym akcie prawnym opisano warunki realizacji projektu edukacyjnego.

¹ § 8 Rozporządzenia MEN z 10 Czerwca 2015 R. w sprawie szczegółowych warunków i sposobu oceniania, klasyfikowania i promowania uczniów i słuchaczy w szkołach publicznych (Dz. U. Poz. 843, z 2016 r. poz. 1278, z 2017 r. poz. 1651 oraz z 2019 r. poz. 372)

² Arleta Biegańska „Wykorzystanie metody projektu edukacyjnego w realizacji nauki o prądzie elektrycznym w gimnazjum”, Fizyka w Szkole nr 5 z 2007, strona 44.

³ Arleta Biegańska „Czym jest projekt edukacyjny?”, Dyrektor Szkoły nr 7-8z 2005, strona 67

⁴ Rozporządzenie MEN z dnia 14 lutego 2017 r. w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz podstawy programowej kształcenia ogólnego dla szkoły podstawowej, (...) Dz. U. poz. 356, ze zmianami

Uczniowie realizujący projekt edukacyjny pracują samodzielnie. Mogą pracować w grupach lub indywidualnie. Zadaniem nauczyciela opiekującego się projektem jest dokonanie samodzielnie lub w porozumieniu z uczniami wyboru treści podstawy programowej kształcenia ogólnego, które będą realizowane metodą projektu. Nauczyciel może dokonać podziału na grupy, ale z praktyki wiem, że lepiej jak uczniowie sami dobrać się w grupy.

Nauczyciel opiekun projektu może zindywidualizować techniki pracy, może również zróżnicować wymagania stawiane uczniom. Zgodnie z zapisami w podstawie programowej przy realizacji projektu wskazane jest wykorzystywanie technologii informacyjno-komunikacyjnych. Czas trwania projektu może być bardzo zróżnicowany od tygodnia do całego roku szkolnego. Jednak, moim zdaniem, zbyt długi okres realizacji projektu nie sprzyja systematycznej pracy.

Zgodnie z zapisami prawa możliwe są również zmiany w organizacji pracy szkoły polegające na tym, że w określonym czasie w szkole nie są prowadzone zajęcia z podziałem na poszczególne lekcje, lecz są one realizowane metodą projektu. Projekty swoim zakresem mogą obejmować jeden lub więcej przedmiotów. Realizacja projektów pozwala na współdziałanie szkoły ze środowiskiem lokalnym oraz na zaangażowanie rodziców uczniów w działalność szkoły.

Zapisy nowego rozporządzenia nie nakazują uczestnictwa uczniów w projekcie edukacyjnym ani wpisywania informacji o ich uczestnictwie w projekcie na świadectwach uczniowskich, nie określają na jakim poziomie nauczania mają być realizowane projekty. Czy nauczyciel ma obowiązek wykorzystania metody projektu w nauczaniu, jeśli tak to w której klasie, na jakich przedmiotach?

Zapisy dotyczące stosowania projektu edukacyjnego zamieszczono we wstępie do podstaw programowych, a więc dotyczą wszystkich nauczycieli, bez względu na przedmiot i poziom nauczania. Metodę projektu można i należy stosować już od najmłodszych klas i na każdym przedmiocie. Warto podkreślić, że pozornie bardzo ogólne zapisy w aktach prawnych mogą być interpretowane jako obowiązek wdrożenia projektów edukacyjnych. Czy w ramach nadzoru pedagogicznego nauczyciele mogą być „rozliczani” z realizacji projektów edukacyjnych?

Należy również zwrócić uwagę na zmiany przepisów prawa dotyczących innowacji pedagogicznych. Regulacje prawne dotyczące działalności innowacyjnej szkoły przeniesiono na poziom ustawy. Zostały one zawarte w Ustawie z dnia 14 grudnia 2016 r. Prawo oświatowe⁵. Wcześniej innowacje regulowało rozporządzenie ministra edukacji. Ustawa znosi wymogi formalne, co ma ułatwić wdrażanie innowacji. Nie ma potrzeby zgłaszania innowacji do kuratorium. Oznacza to, że szkoła samodzielnie podejmuje decyzję, jakie innowacje będzie prowadziła, realizowała i w jaki sposób dokumentowała.

W ustawie *Prawo oświatowe* znajdziemy wiele zapisów dotyczących innowacji, co podnosi ich rangę. Innowacje mają być integralnym elementem działalności szkoły. Zapisy dotyczące innowacji również obowiązują na każdym

etapie kształcenia i dotyczą wszystkich nauczycieli. Projekty edukacyjne sprzyjają realizacji tego wymogu. Praktycznie większość projektów to innowacje pedagogiczne.

Jak okres pandemii wpłynął na stosowanie tej metody nauczania i wychowania?

Przekształcenie szkół podstawowych w szkoły ośmioletnie wiązało się z wieloma trudnościami zwłaszcza w małych środowiskach. Szkoły musiały zakupić pomoce do nauczania nowych przedmiotów zwłaszcza fizyki, chemii, biologii. Największym wyzwaniem okazało się zapewnienie kadry pedagogicznej. Nie zawsze dało się wprost przenieść nauczycieli z gimnazjów do szkół podstawowych. Choćby z tego powodu, że w gminach wiejskich zazwyczaj funkcjonowało jedno duże gimnazjum i 3-4 szkoły podstawowe.

Ledwo szkoły podstawowe zaczęły funkcjonować w nowych warunkach organizacyjnych pojawiły się problemy związane z pandemią. Zmiany organizacyjne pracy szkół oraz wprowadzenie nauki zdalnej nie sprzyjały nauczaniu metodą projektów edukacyjnych.

Projekty edukacyjne na lekcjach fizyki

Wykorzystując doświadczenie w pracy z projektem edukacyjnym w gimnazjum postanowiłam wdrożyć tę metodę pracy w szkole podstawowej. W gimnazjum przez wiele lat realizowaliśmy, ciesząc się dużym powodzeniem, projekt „Szopki bożonarodzeniowe”. Był to projekt międzyprzedmiotowy realizowany przez nauczycieli fizyki, techniki i plastyki. Wystawa prac uczniowskich odbywała się podczas organizowanych dla publiczności jasełek. Prezentacja szopek wywoływała wiele pozytywnych emocji. Rodzice młodszych dzieci oglądali szopki i jak mi powiedział jeden z ojców „podglądaliśmy pomysły innych i szukamy inspiracji do zrobienia szopki przez moje dziecko w przyszłości”.

W ósmej klasie zaproponowałam podobny projekt „Instalacje elektryczne”. Ze względu na rozkład nauczania projekt ten rozpoczął się wczesną wiosną. Uczniowie pracowali w grupach, ale dopuszczałam możliwość realizacji indywidualnych. Zadanie polegało na zaprojektowaniu i wykonaniu dowolnego obwodu elektrycznego. Prace były oceniane słownie jak i w szkolnej skali ocen. Ocena była wypadkową oceny wykonanej instalacji jak i załączonej dokumentacji.

Przy ocenie obwodu uwzględniane były: trwałość połączeń, wygoda i bezpieczeństwo użytkowania, zgodność wykonanego obwodu z zaprojektowanym schematem, złożoność obwodu oraz efekty takie jak światło, ruch, dźwięk. W dokumentacji uczniowie przedstawili schemat obwodu, zestawienie potrzebnych do zbudowania elementów oraz ewentualne poniesione koszty.

W opisie uczniowie przedstawiali kolejność czynności, podział zadań, opis trudności oraz wskazywali osoby pomagające. Do dokumentacji niektórzy dołączali fotografie. Uczniowie mieli za zadanie dokonać niektórych pomiarów na przykład natężenia prądu czy napięcie. Wykonali

⁵ Ustawa z dnia 14 grudnia 2016 r. Prawo oświatowe. (Tekst jednolity ustawy (Dz. U. z 2021 r. poz. 1082 oraz z 2022 r. poz. 655 i 1079).

obliczenia wybranych wielkości fizycznej np. mocy czy oporu całkowitego. Mogli również niektóre parametry odczytać z tabliczek znamionowych np. napięcie wyjściowe baterii ogniw czy użytych zasilaczy.

Realizacja tego projektu była przygodą zarówno dla uczniów, jak i dla mnie opiekuna projektu. Nie wiedziałam czy uczniowie szkoły podstawowej (a więc młodszy od gimnazjalistów) poradzą sobie z zadaniem. Jednak przedstawione projekty przeszły moje oczekiwania. Uczniowie bardzo zaangażowali się w realizację zadania odbiegającego od typowych zadań domowych. Sami dobrali się w grupy, choć były przypadki pracy indywidualnej. Ponieważ projekt realizowany był po raz pierwszy w szkole podstawowej nie wymagałam od uczniów budowy np. makiet. Dużym zaskoczeniem dla mnie było wykorzystanie obwodów do dekoracji tym razem stroików wielkanocnych. Grupa dziewcząt przedstawiła wieniec dekorowany pisankami, zajączkami i oświetlony kolorowymi wirującymi lampionami. Inne dziewczęta wmontowały obwód w maskotkę. Zajączek miał świecące oczka. Był oświetlony domek z dzwonkiem u drzwi. Inna grupa zbudowała dużą makietę, która miała wmontowaną pompkę pompującą wodę na szczyt góry, woda zaś spływała jako potok. Uczniowie ze śmiechem zauważyli, że mają efekt światła, ruchu, ale również dźwięku – szmer płynącej wody.

Podczas podsumowania projektu uczeń i uczennica, którzy budowali swoje obwody indywidualnie jednogłośnie stwierdzili, że „szkoda, że nie połączyliśmy swoich obwodów, byłby lepszy efekt i byłoby łatwiej opracować dokumentację. Samemu trudniej”. Uczniowie na własnej skórze przekonali się, że współpraca daje lepsze efekty i w grupie jest po prostu łatwiej. To jest wartość dodana.

Uczniowie w swoich sprawozdaniach wskazywali na trudności i sposób ich pokonywania. Na przykład „lutować pomagał wujek”, „tato przyciął deseczki”. Budowanie wokół siebie grupy wsparcia to ważna umiejętność społeczna. Do realizacji projektu włączyli się rodzice. Jedna z matek opowiadała z zadowoleniem o dużym zaangażowaniu grupy chłopców „Całe popołudnie spędzali w garażu majsterkując, wreszcie oderwali się od komputerów”.

Jak wspominałam wcześniej zakończeniem projektu powinna być publiczna prezentacja jego efektów. Może to być wystawa czasowa, artykuł w szkolnej gazecie, zaproszenie gości na podsumowanie projektu. Obecnie mamy większe możliwości. Uczniowie zrobili małą wystawę prac i zaprosili do ich obejrzenia wychowawcę, dyrektora szkoły, nauczycieli i uczniów z młodszych klas. Oprócz tego zdjęcia zamieszczone zostały na szkolnej wirtualnej gazecie.

Wirtualna Gazetka Szkolna to system wyświetlania różnych informacji np. komunikatów, zdjęć, filmów, treści edukacyjnych, za pomocą elektronicznych ekranów montowanych na korytarzach. W szkołach, w których uczę są takie gazetki a prezentowane instalacje wzbudzały duże zainteresowanie nie tylko uczniów, ale i rodziców czy gości odwiedzających szkołę. Uczniowie zamieścili własnoręcznie wykonane zdjęcia na szkolnej stronie internetowej oraz na Facebooku.

Innym projektem był projekt „Energetyczne śledztwo”. Celem projektu było zainteresowanie uczniów zużyciem

energii elektrycznej w domach, ocena kosztów i zaproponowanie sposobów oszczędności. Z rozmów z uczniami okazało się, że uczniowie nie bardzo są świadomi ponoszonych kosztów zużycia energii elektrycznej w gospodarstwie domowym, nie potrafią odczytywać i interpretować danych zawartych w „fakturze za prąd”.

Projekt realizowany był indywidualnie. Uczniowie przez tydzień odczytywali zużycie energii elektrycznej w domach, następnie obliczali średnie dobowe zużycie energii elektrycznej. W swoich sprawozdaniach wyjaśniali, dlaczego w danym dniu zużycie było wyższe niż średnia. Tym samym wskazywali urządzenia pobierające dużo energii. Przykłady podawane przez uczniów: „było pieczenie ciasta w piekarniku elektrycznym”, „w tym dniu przygotowaliśmy paszę na cały tydzień dla zwierząt”, było „śrutowanie owsa”, „było dużo prania”.

Propozycje oszczędności prądu były bardzo różne. Niektórzy wskazywali na konieczność wymiany sprzętu np. żarówek na energooszczędne. Były też propozycje z przymrużeniem oka „mniej się myć to wtedy bojler elektryczny mniej zużyje energii”. Projekt był pretekstem do analizy faktury za energię elektryczną. Uczniowie odczytywali zużycie w danym okresie, obliczali średnie dzienne zużycie, porównywali średnią z faktury ze średnią ze swoich odczytów.

W klasie VII proponuję projekt „Maszyny stare i nowe w naszej okolicy”. Jest to projekt międzyprzedmiotowy. Łączy fizykę, technikę i historię. Uczniowie w trakcie wędrowek poszukują ciekawych urządzeń wykorzystujących różne formy energii do wykonywania pracy. Efektem projektu jest dokumentacja fotograficzna. Uczniowie mogą na mapie zaznaczyć lokalizacje starych wiatraków, kieratów, żurawi przy studniach, studni z kołowrotkiem, czy zdjęcia elektrowni wodnej, która zlokalizowana jest na sztucznym zbiorniku w Jeziorsku.

W czasie spotkań z nauczycielami szkół podstawowych zauważyłam, że wielu jest zaskoczonych, zdziwionych tym, że powinni stosować metodę projektu edukacyjnego. Z drugiej strony wielu stosuje metodę projektu nie zdając sobie z tego sprawy. Przecież jeżeli wychowawca powierza uczniom wykonanie i aktualizowanie klasowej gazetki, a uczniowie samodzielnie dzielą się na grupy, dzielą się tematami gazetki i samodzielnie pracują, to takie działanie spełnia wymogi projektu edukacyjnego. Może trzeba niewielkich modyfikacji metod naszej pracy i je nazwać? Pamiętajmy „nie nazwane nie istnieje”.

Analizując podstawy programowe warto zaplanować, które wymagania będziemy realizować metodą projektu edukacyjnego. Zachęcam do wymiany pomysłów, doświadczeń w zakresie projektów edukacyjnych i wdrażanych innowacji. Niektóre kuratoria na swoich stronach publikują przykłady dobrych praktyk, w tym wdrażanych projektów i innowacji⁶. Może to być inspiracją dla nas lub sposobem promocji naszych działań.

Arleta Biegańska

Nauczyciel fizyki w szkole podstawowej

⁶ Przykłady dobrych praktyk – rok szkolny 2021/2022 – Kuratorium Oświaty w Poznaniu

Astronomiczna rachuba czasu

cz. 2

W drugiej części artykułu poświęconego astronomicznej rachubie czasu przedstawione zostały przedstawione przykładowe zadania rachunkowe wraz z ich rozwiązaniami, które dotyczą rachuby czasu.

Marcin Wesołowski

Zadanie 1.

Gwiazda o rektascensji $\alpha = 14^h 13^m$ i deklinacji $\delta = +19^\circ.5$ wschodzi w pewnej miejscowości o godzinie $S_w = 5^h 40^m$ miejscowego czasu gwiazdowego. Obliczyć momenty górowania i zachodu gwiazdy w miejscowym czasie gwiazdowym oraz szerokość geograficzną miejsca obserwacji.

Uwaga: dla ułatwienia rozważań wpływ refrakcji atmosferycznej można pominąć.

Rozwiązanie:

Aby rozwiązać to zadanie skorzystajmy z definicji czasu gwiazdowego S , którą możemy wyrazić jako:

$$S = t + \alpha, \quad (1.1)$$

gdzie t oznacza kąt godzinny a α jest rektascensją. Załóżmy, że w momencie kulminacji górnej kąt godzinny $t = 0$, wówczas równanie (1.1) przyjmuje postać:

$$S = \alpha. \quad (1.2)$$

Oznacza to, że w momencie kulminacji górnej czas gwiazdowy S jest równy rektascensji α . Dlatego dla momentu górowania czas gwiazdowy wynosi $S_g = 14^h 13^m$.

Od momentu wschodu do momentu górowania upływa:

$$\Delta S = S_g - S_w = 8^h 33^m. \quad (1.3)$$

Ponieważ momenty wschodu i zachodu są symetryczne względem górowania, zatem:

$$S_z = S_g + \Delta S = 22^h 46^m. \quad (1.4)$$

Aby wyznaczyć szerokość geograficzną miejsca obserwacji wykorzystajmy następującą zależność:

$$\cos t = -\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \varphi, \quad (1.5)$$

gdzie δ i φ oznaczają odpowiednio deklinację i szerokość geograficzną miejsca obserwacji. Z równania (1.5) łatwo można pokazać że, szerokość geograficzna miejsca obserwacji dana jest jako:

$$\varphi = \arctg \left(-\frac{\cos t}{\operatorname{tg} \delta} \right). \quad (1.6)$$

Ponieważ wschód rozważanej gwiazdy miał miejsce o $S_w = 5^h 40^m$ czasu miejscowego, zatem możemy zapisać, że:

$$S_w = \alpha + t_w. \quad (1.7)$$

Przekształcając równanie (1.7) łatwo możemy policzyć że w momencie wschodu kąt godzinny t_w dany jest jako:

$$t_w = S_w - \alpha = -8^h 37^m. \quad (1.8)$$

Podstawmy teraz równanie (1.8) do równania (1.6) i wówczas poszukiwana szerokość geograficzna miejsca obserwacji jest równa $\varphi \approx 60^\circ 14'$.

Odpowiedź:

Moment górowania gwiazdy ma miejsce o $14^h 13^m$, moment zachodu gwiazdy ma miejsce o $22^h 46^m$ a szerokość geograficzna miejsca obserwacji wynosi $\varphi \approx 60^\circ 14'$.

Zadanie 2.

Kąt godzinny rozważanej gwiazdy jest równy $t = 2^h 51^m 02^s$. Lokalny czas gwiazdowy wynosi $S = 4^h 17^m 20^s$. Obliczyć ile wynosi rektascensja rozważanej gwiazdy?

Uwaga: Przypomnijmy naszym czytelnikom że rektascensja (wnoszenie proste α) – jest to kąt dwuścienny pomiędzy płaszczyzną koła wielkiego przechodzącego przez oś świata i dane ciało niebieskie a płaszczyzną przechodzącą przez oś świata i punkt Barana γ – równonocy wiosennej (liczony od punktu Barana w kierunku z zachodu na wschód i wyrażany w mierze czasowej; godzinach, minutach, sekundach).

Rozwiązanie:

Aby rozwiązać to zadanie wykorzystajmy ponownie definicję czasu gwiazdowego (zadanie 1, równanie 1.1):

$$S = t + \alpha, \quad (2.1)$$

gdzie t oznacza kąt godzinny a α jest rektascensją. Przekształćmy teraz równanie (2.1) w taki sposób aby można było na jego podstawie wyznaczyć poszukiwaną rektascensję naszej gwiazdy. Wówczas możemy zapisać:

$$S - t = \alpha. \quad (2.1)$$

Po podstawieniu odpowiednich wartości otrzymujemy, że rektascensja naszej gwiazdy wynosi $\alpha = 1^h 26^m 18^s$.

Odpowiedź:

Rektascensja rozważanej gwiazdy jest równa $\alpha = 1^h 26^m 18^s$.

Zadanie 3.

Jaki interwał czasu gwiazdowego upływa od dołowania Kapelli ($\alpha_1 = 5^h 15^m$) do górowania Węgi ($\alpha_2 = 18^h 36^m$).

Uwaga: Poprzez dołowanie danej gwiazdy (np. Słońca) należy rozumieć moment czasu w którym gwiazda (Słońce) znajduje się najniżej nad horyzontem. Natomiast górowanie gwiazdy (Słońca) oznacza sytuację przeciwną tzn. gwiazda w danym momencie czasu znajduje się najwyżej nad horyzontem.

Rozwiązanie:

W przypadku dołowania gwiazdy możemy zapisać, że:

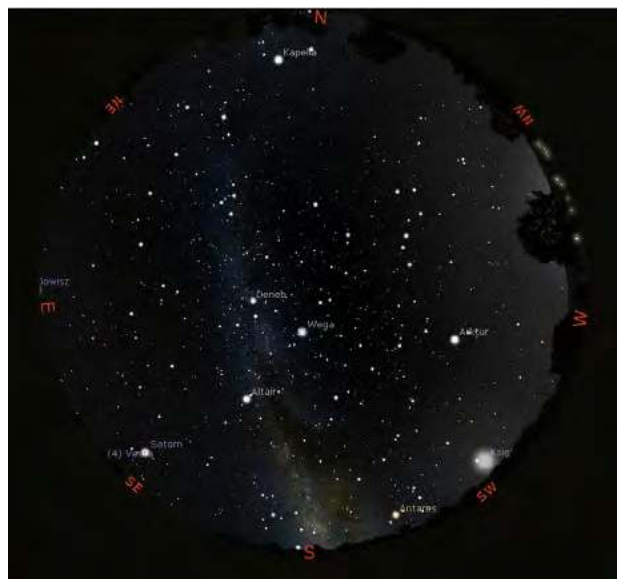
$$T_{g1} = t_1 + \alpha_1, \quad (3.1)$$

gdzie $t_1 = 12^h$.

Natomiast w przypadku górowania możemy zapisać, że:

$$T_{g2} = t_2 + \alpha_2, \quad (3.2)$$

gdzie $t_2 = 0^h$.



Rys. 1. Wzajemne położenie Węgi i Kapelli (obraz wygenerowano z programu Stelarium na dzień 1.09.2022 godzina 20:00). Gwiazda Kapella znajduje się w górnej części rysunku a Węga w środkowej jego części.

W oparciu o powyższe zależności możemy określić poszukiwany interwał czasu gwiazdowego:

$$\Delta T_g = T_{g2} - T_{g1} = (t_2 + \alpha_2) - (t_1 + \alpha_1) = 1^h 21^m. \quad (3.3)$$

Odpowiedź:

Interwał czasu gwiazdowego od dołowania gwiazdy Kapelli do górowania Węgi wynosi $\Delta T_g = 1^h 21^m$.

Zadanie 4.

Udowodnić, że w dniach równonocy na całej kuli ziemskiej, z wyjątkiem biegunów, dzień trwa 12^h .

Uwaga:

Równonoc określa moment kiedy nasza dzienna gwiazda (Słońce) przechodzi przez jeden z dwóch punktów, w których ekliptyka przecina równik niebieski, czyli koło wielkie leżące w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu sfery niebieskiej. Z taką sytuacją mamy do czynienia dwa razy do roku:

- 20/21 marca w tym czasie Słońce przechodzi przez punkt Barana. Wówczas na półkuli północnej rozpoczyna się równonoc wiosenna, a w przypadku południowej równonoc jesienna.
- 22/23 września w tym czasie Słońce przechodzi przez punkt Wagi. Wówczas na półkuli północnej rozpoczyna się równonoc jesienna, a w przypadku południowej równonoc wiosenna.

Rozwiązanie:

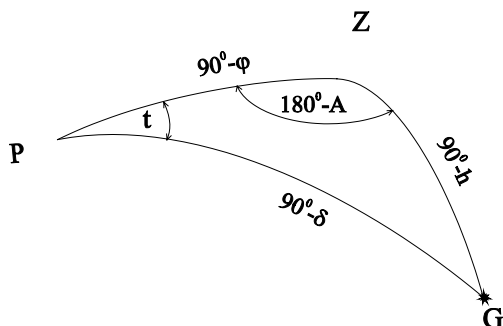
Aby udowodnić, że dzień na całej kuli ziemskiej (z wyjątkiem biegunów) trwa 12^h skorzystajmy z trójkąta paralaktycznego przedstawionego na rys.2.:

W omawianym przypadku słuszne jest więc następujące równanie:

$$\cos z = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos t. \quad (4.1)$$

Jeżeli założymy że:

$$\delta = 0^\circ, \quad -90^\circ < \varphi < 90^\circ, \quad z = 90^\circ.$$



Rys. 2. Trójkąt paralaktyczny – inaczej mówiąc trójkąt który położony jest na sferze niebieskiej, w którym są ustalone wierzchołki takie jak: zenit (Z), biegun niebieski (P) oraz obiekt (np. gwiazda – G). Natomiast kąty wierzchołkowe to: azymut ($180^\circ - A$), kąt godzinny (t) oraz kąt paralaktyczny. Zauważmy, że kąt który jest położony przy obiekcie (gwiazda – G) nie został zaznaczony na rysunku, gdyż w znacznej większości przypadków jest on niepotrzebny do obliczeń.

Wówczas równanie (4.1) przyjmuje następującą postać:

$$\cos 90^\circ = \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \cos t. \quad (4.2)$$

Ponieważ wartość funkcji $\cos 90^\circ = 0$ wówczas otrzymujemy:

$$0 = \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \cos t. \quad (4.3)$$

Przekształćmy równanie (4.3) w taki sposób aby wyznaczyć $\cos t$:

$$\cos t = -\frac{\sin(\phi) \sin(\delta)}{\cos(\phi) \cos(\delta)}. \quad (4.4)$$

Po podstawieniu powyższych wartości mamy:

$$\delta = 0, \quad \cos t = 0, \quad \text{wówczas } t = \pm 90^\circ.$$

Ponieważ 1^h to 15° wówczas $t = 6^h$.

Zatem poszukiwana długość dnia wynosi: $D = 2t = 12^h$.

Odpowiedź:

Długość dnia na całej kuli ziemskiej z wyjątkiem biegunów trwa 12^h .

Zadanie 5.

Wyznacz godzinę mierzoną czasem gwiazdowym w chwili, gdy kąt godzinny gwiazdy górującej na dwie godziny przed punktem Barana, wynosi 22^h .

Rozwiązanie:

Rozpatrywana gwiazda góruje:

$$T_{g1} = t_g + \alpha_g, \quad t_g = 0^h. \quad (5.1)$$

Punkt Barana góruje:

$$T_{g2} = t_g = 0^h. \quad (5.2)$$

Wówczas

$$T_{g2} - T_{g1} = 2^h. \quad (5.3)$$

Zatem, po podstawieniu

$$\alpha_g = -2^h, \quad (5.4)$$

$$-2^h + 24^h = 22^h. \quad (5.5)$$

Tak więc górowanie rozpatrywanej gwiazdy wynosi:

$$T_g = \alpha_g + t, \quad t = 22^h. \quad (5.6)$$

$$T_g = 22^h + 22^h = 44^h + 20^h = 20^h. \quad (5.7)$$

Odpowiedź:

Otrzymany wynik oznacza, że jest następna doba gwiazdowa.

Zadanie 6.

Wyznaczanie daty Wielkanocy jako przykład astro-nomicznej rachuby czasu.

Z astronomiczną rachubą czasu związane jest między innymi poprawne wyznaczenie daty Wielkanocy. Podczas Soboru Nicejskiego w 325 roku n.e. ustalono, że Wielkanoc należy obchodzić w pierwszą Niedzielę po pierwszej wiosennej pełni Księżyca (tzw. paschalna pełnia Księżyca). Ta zasada jest przełożeniem na solarny w swej naturze kalendarz juliański daty „14 nisan” z religijnego kalendarza hebrajskiego, który jest kalendarzem lunarno – solarnym. Data 14 nisan w kalendarzu hebrajskim oznacza początek święta Paschy, wokół którego miały miejsce wydarzenia zbawcze. Zatem Wielkanoc jest świętem ruchomym. Może ona wypaść najwcześniej 22 marca, a najpóźniej 25 kwietnia.

Istnieje wiele różnych algorytmów służących do wyznaczania daty Wielkanocy, jednak najczęściej stosuje się dwa podejścia. Pierwszym podejściem jest algorytm Gaussa a drugim algorytm Meeusa. Pierwszy algorytm (Gaussa) został już opisany w jednym z naszych poprzednich artykułów (Gronkowski P., Wesołowski M., 2017, Dlaczego Wielkanoc nie ma ustalonej daty?, *Fizyka w Szkole z Astronomią*, nr 3, str. 9 - 13). Dlatego też w tym artykule skupimy się na analizie podejścia zaproponowanego przez Meeusa, który został opisany w 1991 roku w *Astronomical Algorithms*.

Schemat algorytmu:

1. Rok dzielimy przez 19 i wyznaczamy resztę a .
2. Rok dzielimy przez 100, a wynik zaokrąglamy w dół (odcinamy część ułamkową) i wówczas otrzymujemy liczbę b .
3. Rok dzielimy przez 100 i wyznaczamy resztę c .
4. Obliczamy: b dzielimy przez 4, wynik zaokrąglamy w dół i wówczas otrzymujemy liczbę d .
5. Obliczamy: b dzielimy przez 4 i wyznaczamy resztę e .
6. Obliczamy: $(b + 8)$ dzielimy przez 25, wynik zaokrąglamy w dół i wówczas otrzymujemy liczbę f .
7. Obliczamy: $(b - f + 1)$ dzielimy przez 3, wynik zaokrąglamy w dół i wówczas otrzymujemy liczbę g .
8. Obliczamy: $(19 \cdot a + b - d - g + 15)$ dzielimy przez 30 i wyznaczamy resztę h .
9. Obliczamy: c dzielimy przez 4 i wynik zaokrąglamy w dół i otrzymujemy cyfrę i .
10. Obliczamy: c dzielimy przez 4 i wyznaczamy resztę k .
11. Obliczamy: $(32 + 2 \cdot e + 2 \cdot i - h - k)$ dzielimy przez 7 i otrzymujemy resztę l .
12. Obliczamy: $(a + 11 \cdot h + 22 \cdot l)$ dzielimy przez 451, wynik zaokrąglamy w dół i otrzymujemy liczbę m .
13. Obliczamy: $(h + l - 7 \cdot m + 114)$ dzielimy przez 31 i otrzymujemy resztę p .
14. Dzień Wielkanocy = $p + 1$.
15. Miesiąc = Zaokrąglenie w dół dzielenia $(h + l - 7 \cdot m + 114)$ przez 31.

Wykorzystując schemat algorytmu Meeusa napisz w dowodnym języku (środowisku) program wyznaczający datę Wielkanocy w latach 2020 – 2050.

Rozwiązanie:

W tym miejscu zachęcamy wszystkich naszych czytelników do samodzielnej pracy. Jako przykładowe rozwiązanie przedstawiamy schemat algorytmu Meeusa napisany z wykorzystaniem programu Mathematica.

Powyższy algorytm został zapisany w formie listy:

```
In[1] =
z = 0;
lista = {};
For[rok = 2020, rok <= 2050, rok += 1,
|dla
a = Mod[rok, 19];
|modulo
b = Quotient[rok, 100];
|część całkowita ilorazu
c = Mod[rok, 100];
|modulo
d = Quotient[b, 4];
|część całkowita ilorazu
e = Mod[b, 4];
|modulo
f = Quotient[b + 8, 25];
|część całkowita ilorazu
g = Quotient[b - f + 1, 3];
|część całkowita ilorazu
h = Mod[19 * a + b - d - g + 15, 30];
|modulo
j = Quotient[c, 4];
|część całkowita ilorazu
k = Mod[c, 4];
|modulo
s = Mod[32 + 2 e + 2 j - h - k, 7];
|modulo
u = Quotient[a + 11 h + 22 s, 451];
|część całkowita ilorazu
x = Quotient[h + s - 7 u + 114, 31];
|część całkowita ilorazu
yn = Mod[h + s - 7 u + 114, 31]; (*dzień Wielkanocy-1*)
|modulo
miesiac = If[x == 3, marca, kwietnia];
|operator warunkowy
If[x == 3, z = z + 1, z];
|operator warunkowy
AppendTo[lista, {N[rok], miesiac, yn + 1}]]
|dołącz na końcu do war... |przybliżenie numeryczne
MatrixForm[lista]
|postać macierzy
```

Po wywołaniu programu otrzymujemy poszukiwane rozwiązanie:

2020.	kwietnia	12
2021.	kwietnia	4
2022.	kwietnia	17
2023.	kwietnia	9
2024.	marca	31
2025.	kwietnia	20
2026.	kwietnia	5
2027.	marca	28
2028.	kwietnia	16
2029.	kwietnia	1
2030.	kwietnia	21
2031.	kwietnia	13
2032.	marca	28
2033.	kwietnia	17
2034.	kwietnia	9
2035.	marca	25
2036.	kwietnia	13
2037.	kwietnia	5
2038.	kwietnia	25
2039.	kwietnia	10
2040.	kwietnia	1
2041.	kwietnia	21
2042.	kwietnia	6
2043.	marca	29
2044.	kwietnia	17
2045.	kwietnia	9
2046.	marca	25
2047.	kwietnia	14
2048.	kwietnia	5
2049.	kwietnia	18
2050.	kwietnia	10

Odpowiedź:

W powyższej liście wyznaczone zostały daty Wielkanocy w latach 2020-2050 w oparciu o algorytm Meeusa.

dr hab. Marcin Wesołowski, prof. UR

Uniwersytet Rzeszowski, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Instytut Nauk Fizycznych, Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy Techniczno-Przyrodniczej Uniwersytetu Rzeszowskiego.

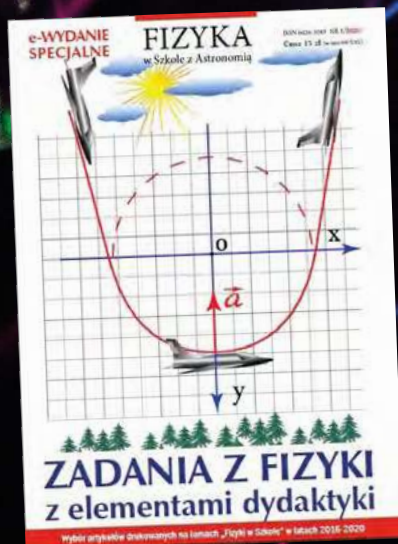
W następnych wydaniach polecamy m.in.

- Na drodze do kwantowego komputera, czyli w 100-lecie eksperymentalnego odkrycia spinu
- Jowisz prawdopodobnym kandydatem na gwiazdę Betlejemską w 2022 roku
- Żywoty fizyków – Joseph Henry, Jr. (1797-1878)



WYDANIA SPECJALNE „Fizyki w Szkole”

Wersje elektroniczne – pliki PDF



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

eprasa.pl e06743a8b

PRENUMERATA 2023

PRZEDŁUŻ
LUB
ZAMÓW!

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



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

eprasa.pl e06743af8b