

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

397 (LXV) indeks 35810X Nr 2 marzec/kwiecień 2025 CENA 50,00 zł (w tym 8% VAT)

AERODYNA

Wstęp do fizyki lotu

POMIAR I EGZYSTENCJA

Dwa filary fizyki: teoria i pomiar

14 ciekawych
właściwości materii

POLARYZACJA LINIOWA ŚWIATŁA

Klasyfikacja fal, sposoby polaryzacji

MUZYKA SFER

Kepler i muzyka z Kosmosu

ŻYWOTY FIZYKÓW

James Clerk Maxwell

ASTROFIZYKA

GWIAZDOWA

eprasa.pl/8fc99a0df7

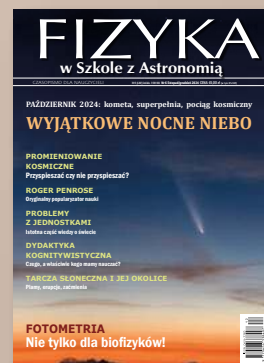


Za pół ceny i taniej!

ROCZNIK 2024 6 wydań – 135 zł!

PAKIET ARCHIWALNY 6 różnych wydań – 30 zł!

(w cenie są koszty wysyłki)
(oferta ważna do wyczerpania zapasów)



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

eprasa.pl 8fc99a0df7

Drodzy Czytelnicy!

Oddajemy wam drugi w tym roku egzemplarz Fizyki w Szkole. Niestety rola pomiarów została znacząco zredukowana w fizyce szkolnej. To widoczny znak, że obecnie politykę oświatową kształtują humaniści. Tymczasem pomiar jest istotą fizyki i praktyczne każdej nauki technicznej. Na szczęście istota pomiaru nie uległa zmniejszeniu w praktyce akademickiej, każdy student kierunków technicznych będzie musiał przejść laboratorium fizyki. Na niektórych wydziałach są nawet trzy elementy laboratoriów fizyki: fizyka 1, fizyka 2, fizyka 3. W każdym z tych laboratoriów dokonuje się pomiarów. Ale co tak naprawdę znaczy mierzyć i kiedy wynik pomiaru można uznać za poprawny? Jest to niezwykle ważne zagadnienie z punktu widzenia poprawności wykonywania eksperymentów w laboratorium, metrologii i filozofii.

Problem, co to znaczy mierzyć odgrywa też znaczącą rolę w fizyce kwantowej. Najbardziej znanym problemem teorii pomiarów w fizyce kwantowej jest problem kota Schroedingera. Co ciekawe w pewnym sensie wykonano eksperymenty realizujące te zagadnienie. Na szczęście zamiast kota użyto tu atomów berylu. Problem istoty pomiarów jest niejednoznaczny nie tylko w przypadku fizyki kwantowej, lecz np. w przypadku astronomii. Osobom zainteresowanym wspomnianymi zagadnieniami polecam artykuł Jerzego Kuczyńskiego – „Pomiar i egzystencja”.

We współczesnej fizyce, bardzo często narzędziem pomiarowym jest strumień spolaryzowanego światła, ale w tym momencie pojawia się pytanie, czym jest światło, zwłaszcza światło spolaryzowane. Temu zagadnieniu z kolei poświęcony jest artykuł Jana Kurzyka – „Polaryzacja liniowa światła”.

Innym wielkim problemem trapiącym ludzkość przez stulecia było czy obiekt cięższy od powietrza może latać. Oczywiście wszyscy wiemy, że może, ale dlaczego i jak to w sposób ciekawy pokazać na lekcji? Jeśli ktoś chciałby wzbogacić zajęcia z mechaniki płynów o interesujący pokaz to może poszukać inspiracji w artykule Stanisława Bednarka – „Wstęp do fizyki lotu aerodynamicznego”.

Tradycyjnie wszystkim Państwu życzę miłej lektury!

Redaktor Prowadzący

Zbigniew Wiśniewski

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

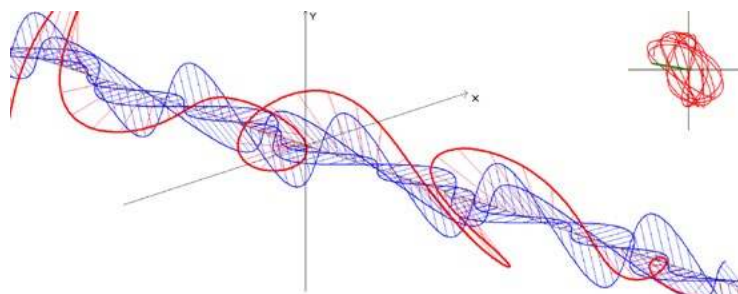
4 Pomiar i egzystencja ■ Jerzy Kuczyński

Fizyka jest wprawdzie nauką empiryczną i bez pomiarów nic sensownego o rzeczywistości nie da się powiedzieć. Jednak bez założeń teoretycznych, żaden pomiar nie jest możliwy.

8 Ciekawe właściwości materii ■ Maciej Panczykowski

10 Polaryzacja liniowa światła ■ Jan Kurzyk

Omawiając polaryzację fali elektromagnetycznej (lub jej brak) ograniczamy się zwykle do opisu zachowania pola elektrycznego, gdyż ta część fali elektromagnetycznej zdecydowanie silniej niż część magnetyczna oddziałuje z materią.



17 Wstęp do fizyki lotu aerodynamicznego ■ Stanisław Bednarek

Obiekty latające, stworzone przez człowieka są nazywane ogólnie „statkami powietrznymi”. Taka nazwa jest używana m.in. w Prawie Lotniczym i podręcznikach przeznaczonych do szkolenia personelu lotniczego.

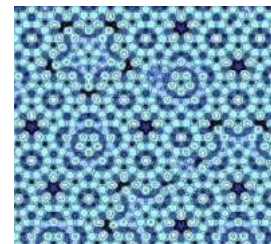
22 Fizyka i humanistyka – esej dydaktyczny ■ Grzegorz Karwasz

24 Roger Penrose – badacz czarnych dziur i kafelkowania ■ Edward Rydygier

Tematykę czarnych dziur (w jęz. ang. *Black holes*) przybliżali czytelnikom w swojej działalności popularyzatorskiej najwybitniejsi uczeni, jak Einstein, Hawking, czy Penrose.

30 Żyoty fizyków. James Clerk Maxwell ■ Tadeusz Wibig

33 Batko Marian Piotr. Niezwykły nauczyciel fizyki i matematyki ■ Rafał Simon, Marta Wąsik



Z naszych lekcji

34 Wykorzystanie wiedzy ucznia o funkcjach matematycznych na lekcjach fizyki ■ Andrzej Sokołowski

38 Powtórz, utwórz, poszerz wiedzę. Zadania z fizyki. Cz. 5. ■ Waldemar Reńda

40 Praca domowa z fizyki ■ Arleta Biegańska

Astronomia dla każdego

44 Muzyka sfer ■ Krzysztof Kowalczyk

46 Wybrane zagadnienia astrofizyki gwiazdowej. Cz. I ■ Marcin Wesołowski

Podstawowym źródłem informacji o gwiazdach jest ich widmo, które charakteryzuje się rozkładem natężenia poszczególnych linii widmowych.



FIZYKA
w Szkole z Astronomią

NUMER 2 MARZEC/KWIECIEŃ 2025
397 (LXV) indeks 35810X ISSN 0426-3383

CENA 50,00 zł
(w tym 8% VAT)

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: Adobe Stock

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



Pomiar i egzystencja

Jerzy **Kuczyński**

Nie jest niczym oryginalnym stwierdzenie, że długo zachowujemy poglądy i zwyczaje jakie nabyliśmy w młodości. Podobnie bywa z tymi modami, które towarzyszyły wyjątkowo ważnym dla nas momentom. A przynajmniej zachowujemy sentyment dla modnych wówczas poglądów. Nie inaczej jest z grupami ludzi. Dlatego gdy jakaś grupa czy środowisko miało w pewnym okresie świetne sukcesy to często, nawet jeżeli tylko przypadkowo towarzyszące im mody, pozostają żywe w tych środowiskach. Zwłaszcza gdy potem jest już mniej korzystne.

Szczęśliwe lata fizyków

Dla nas fizyków niewątpliwie „szczęśliwe lata” to pierwsze dekady XX wieku. Nie jest więc niczym dziwnym, że klimat intelektualny tych czasów jest dla nas sympatyczny. Konkretnie chodzi o ówczesną filozofię przyrody. Warto przypomnieć co dominowało w tej dziedzinie na początku XX wieku. Oczywiście to empiriokrytycyzm i Koło Wiedeńskie. I te kierunki odcisnęły na fizyce ogromny wpływ.

Czytając biografie ówczesnych liderów fizyki dość często znajdziemy odniesienia do tych kierunków. Jak się wydaje, zwłaszcza Albert Einstein był pod silnym wpływem filozofii. Ale nie tylko on. Pozostali wielcy twórcy fizyki początku dwudziestego wieku też respektowali w swej pracy klimat filozofii pozytywistycznej. Niewąt-

pliwie towarzyszyło to niesamowitym wręcz sukcesom fizyki. Nic więc dziwnego, że mimo upływu wieku te poglądy wydają się być niemal zrośnięte z naszą nauką i ... wydają się być jej integralną częścią.

Jednak od tamtych czasów upłynął prawie wiek. Zmieniło się bardzo wiele. Przede wszystkim fizyka przestała uzyskiwać olśniewające sukcesy. Jest nawet wprost przeciwnie. Nowych sukcesów jest niewiele a przynajmniej nie są zbyt medialne. Może trochę lepiej jest z astronomią. Tu jest trochę sukcesów i co w XXI wieku nawet istotniejsze, przebijają się do mediów. Ale można zauważyć, że dzieje się tak bo odkrycia astronomiczne są zwykle dość proste do przetłumaczenia na język niefachowca.

Empiryzm

Zupełnie inaczej jest z fizyką. Nawet czysto eksperymentalne wyniki są dość trudne do zrozumienia przez ludzi nie znających aparatu matematycznego fizyki. A już zrozumienie znaczenia tych eksperymentów bez znajomości teorii w zakresie znacznie przekraczających wiedzę typowego inżyniera¹ jest zupełnie niemożliwe.

Zadziwiające jest też, że współczesny człowiek niespecjalnie kojarzy z fizyką takie urządzenia jak komputer czy odtwarzacz muzyki. Ale to już wina nas nauczycieli i programu szkolnego z którego zniknęły tematy dotyczące fizyki ciała stałego².

Wróćmy jednak do „złotego wieku fizyki” i ówczesnej filozofii. A filozofia tego okresu to zdeklarowany

¹ Nie mówiąc o licealiście. Warto dodać, że ucząc przyszłych inżynierów zauważam kompletny brak zainteresowania fizyką. Tak w ogóle fizyki uczy się trudno. I nie tylko z powodu nikłego wymiaru zajęć. Istotniejsze jest to, że fizyka wymaga sporego zakresu pojęć, bez których nauczanie czegokolwiek jest trudne. O ileż przyjemniejsze jest nauczanie matematyki, gdzie ciąg: definicja, twierdzenie, dowód i przykłady jest wewnętrznie spójny i nie wymaga znajomości czegokolwiek spoza tego ciągu. Stąd łatwo nauczyć a i zadowolenie studenta z opanowania problemu też jest zauważalne. No może pojawia się jedynie sugestia by w tym ciągu opuścić dowód, bo nie jest do niczego potrzebny. Ale to chyba jest obecny znak czasu – argumenty nie wydają się istotne i króluje wiedza pamięciowa. W sumie, w zakresie fizyki, od współczesnego inżyniera za wiele oczekiwać nie należy.

² Kilkakrotnie już zauważałem, recenzując podręczniki szkolne, że autorom programu szkolnego, najwyraźniej wydają się bardziej istotne bomby i reaktory atomowe niż elektronika, mimo że właśnie ta ostatnia w drastyczny sposób zmieniła naszą codzienność.

i bezkompromisowy empiryzm, czas, gdy próbowano całą działalność naukową sprowadzić do wyników pomiarów, czyli do tzw. „zdań protokolarnych”. Te ostatnie to czyste stwierdzenia faktów empirycznych pozbawiane wszelkiej „metafizyki”. Przykładem takiego zdania³ jest „wskazówka pokrywa się z liczbą 2”. Nie jest nim natomiast, dotyczące tego samego zdarzenia, zdanie „amperomierz wskazuje, że przez przewodnik płynie prąd 2 amperów”. Jak widać różnica polega na tym, że w tym drugim zdaniu użyto „metafizycznych”⁴ pojęć takich jak prąd, amper czy amperomierz.

W Kole Wiedeńskim (głównie w osobie Otto Neuratha) usiłowano sprowadzić naukę do wspomnianych zdań protokolarnych. Nietrudno zauważyć, że tak daleko idące próby forsowania empiryzmu nie miały szans na powodzenie i dość szybko zostały zarzucone. Tu warto wymienić nazwiska Karla Poppera oraz Imre Lakatosa⁵. Zwłaszcza ten pierwszy autor jest, jeżeli nie czytany, to przynajmniej często cytowany, ze względu na związaną z jego nazwiskiem zasadę falsyfikacjonizmu⁶. Ale to już dokonania filozofii, które nie wpłynęły na „złoty wiek” fizyki.

Pierwsze wydanie „Logiki...” to rok 1934, a więc czas, gdy główne prace dotyczące mechaniki kwantowej zostały już zrobione. Dlatego w kursowych wykładach mechaniki kwantowej pobrzmiewają echa Koła Wiedeńskiego a nie falsyfikacjonizm.

Mówiąc krótko skrajny empiryzm sprowadzający np. do twierdzenia, że nie ma sensu fizycznego wielkość, której nie można zmierzyć. Co gorsza, my ludzie mamy tendencję do uogólnień, a zwłaszcza do mało sensownego przyjmowania, że twierdzenie odwrotne do twierdzenia prawdziwego jest też prawdziwe. A jeżeli nawet jest spory sens w twierdzeniu, że podejrzan jest coś czego nie da zmierzyć to twierdzenie, że jeżeli coś daje się zmierzyć to jest od razu prawdziwe, czyli istnieje w sensie fizycznym jest jawnie nieprawdziwe. I właśnie temu problemowi chciałbym poświęcić resztę tego tekstu.

Pomiary

Najpierw kilka ogólnych uwag. Nie bez powodu ze zdania protokolarnego usuwano takie pojęcia jak amperomierz czy prąd elektryczny. Prąd to pewne pojęcie teoretyczne. Aby go zdefiniować trzeba wprowadzić pojęcie ładunku czy pola magnetycznego⁷. Jeszcze gorzej jest z amperomierzem. Aby poznać jego sposób działania trzeba znać, przynajmniej w elementarnym stopniu, teorię elektromagnetyzmu. Na tyle by w danej konstrukcji



Foto – Adobe Stock

amperomierza wiedzieć jak „teoretyczne pojęcie” prądu elektrycznego oddziałuje z elementem urządzenia powodującym wskazanie przyrządu. I to niestety jest całkowicie ogólna własność pomiarów.

Jak dokładnie rzecz przeanalizować to okazuje się, że zawsze pomiar wymaga założeń teoretycznych umożliwiających konstrukcję przyrządu. W praktyce okazuje się, że konstrukcja niekoniecznie musi mieć realizację materialną. Wprost przeciwnie, najczęściej pomiar polega na pewnych konstrukcjach intelektualnych a część materialna składa się z dość standardowych elementów, choć zwykle zmontowanych w pewien specyficzny sposób. Wynika z tego dość zadziwiająca dla empirystów własność polegająca na tym, że wynik pomiaru zależy od założeń teoretycznych. Z tego względu bywa, że wielkość mierzona może nawet całkowicie zniknąć, jeżeli założenia leżące u jego podstawy okażą się błędne. A mówiąc jeszcze inaczej pomiar jakiejś wielkości nie stanowi dowodu istnienia tej wielkości.

Wyjątkowo brutalnym przykładem tego zjawiska są czarownice⁸. Współcześnie jest oczywiste, że spalenie w Europie kilkudziesięciu tysięcy czarownic wcale nie jest argumentem, że istniały i czarowały. Podobnie fakt przeprowadzenia poprawnego pomiaru nie stanowi dowodu, że uzyskana wartość w pełni odpowiada rzeczywistości.

Tu bardzo podoba mi się przykład Olympus Mons, największej góry Układu Słonecznego. Otóż w czasach mojej młodości góra miała około 27 kilometrów wysokości. Obecnie podawana wysokość wulkanu to 21287,4 metra, czyli niewiele ponad 21 kilometrów. Oczywiście przez pół wieku nie zniknęło ponad pięć kilometrów skał. Powodem zmiany wysokości jest nowa elipsoida stanowiąca „średnią powierzchnię Marsa”⁹.

³ T. Pabjan „Odczytywanie sensu. Wstęp do filozofii nauki”, Copernicus Center Press, Kraków 2023, s. 84.

⁴ M.in. przez próbę wprowadzenia ograniczeń używania słów wprowadzających metafizykę p. np. J. Życiński „Elementy filozofii nauki”, Copernicus Center Press, Kraków, 2015, s. 53.

⁵ K. R. Popper „Logika odkrycia naukowego”, PWN. I. Lakatos, „Pisma z filozofii nauk empirycznych”, PWN 1995.

⁶ Czyli poglądu, że należy dążyć nie tyle do potwierdzenia poglądu, ale do jego obalenia. W gruncie rzeczy to prosty wniosek z praw de Morgana, prowadzący do koncepcji, że o sile modelu naukowego świadczy fakt, że nie udało się znaleźć argumentów przeciwko niemu. Oczywiście historia nauki świadczy o tym, że pogląd jest fałszywy. Bardziej rozbudowane i mniej naiwne podejście do falsyfikacjonizmu p. prace I. Lakatosa i samego Poppera cytowane w ⁵.

⁷ Jak pamiętamy jednostka prądu definiowana jest przez pole magnetyczne a coś co rzeczywiście jest związane z prądem to pole magnetyczne.

⁸ J. Kuczyński, „Kolory, czyli „fizyczna egzystencja””, Wszechświat t.120, nr 10-12 (2019), s. 238.

⁹ W pobliżu wulkanu jest nieco niżej niż powierzchnia wspomnianej elipsoidy więc względna wysokość góry może być uważana za większą od bezwzględnej. Nie zmienia to faktu, że wysokość gór zależy od założenia teoretycznego o poziomie odniesienia. Jak wiemy na Ziemi poziom morza też nie jest jeden i w zależności od wybranego wodowskazu góry też rosną lub maleją. Zwłaszcza przy zmianie granic państwowych i związanej z tym zmianie wodowskazu odniesienia.

Tu wielu mogłoby zaprotestować, że nowa elipsoida miała wpływ na wartość wysokości a nie na rzeczywistą wysokość. Jeżeli jednak przyjrzymy się innym podobnym przykładom to zobaczymy, że różnica polega jedynie na tym, że w tym przypadku wszystko jest łatwo zrozumiałe, ale mechanizm jest taki sam – założenia teoretyczne wpływają na wielkości fizyczne.

Ilustruje to problem pomiarów eteru. Tym razem chodzi o dość już odległy w czasie pomiar własności ośrodka, w którym miało rozchodzić się światło. Tu warto przypomnieć pojęcie eteru, bo dość wstydliwie zniknęło z fizyki. Otóż pod koniec XIX wieku powszechnie uważano, że fale to drgania ośrodka. Gdy okazało się, że światło ma charakter falowy to naturalnie pojawiła się koncepcja, że musi istnieć ośrodek będący jego nośnikiem, czyli właśnie eter, co do współczesności przetrwało już tylko w lekko poetyckim określeniu radia jako działającego „na falach eteru”. Nie było trudno określić własności tego ośrodka. Znając wartość prędkości światła, w analogii do obliczeń akustycznych¹⁰ da się wyliczyć własności mechaniczne eteru. I oczywiście to zrobiono. Np. De Volson Wood w 1885 roku opublikował wartość „masy cząsteczki eteru” (ok. $2 \cdot 10^{-45}$ g) i jego ciepła właściwego ($4,6 \cdot 10^{12}$ kal/gram)¹¹.

Problem z ciemną materią

Dziś uważamy, że eter nie istnieje więc wyznaczone przy pomocy pomiarów prędkości światła, jego własności okazały się dotyczyć czegoś nieistniejącego¹². Ktoś mógłby powiedzieć, że tego rodzaju sytuacje dotyczą dawno minionej przeszłości. To jednak nieprawda. Nawet byłbym skłonny twierdzić, że najbardziej drastyczne przykłady zależności fizycznej egzystencji od założeń teoretycznych dotyczą właśnie współczesności. Wynikają z astronomii a konkretnie z badań kosmologicznych.

Z tych badań już w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku zaczęło być widoczne, że istnieje jakiś gruby błąd w naszej wiedzy o Wszechświecie. Można to przedstawiać na wiele sposobów, ale chyba najprostszy (i najbardziej stan-



dardowy polega na zwróceniu uwagi, że w dynamice galaktyk istnieje niemal uniwersalna stała prędkości gwiazd w galaktykach. Stała ta wynosi około 200 km/s a zjawisko stałości nazywamy „płaską krzywą rotacji” – prędkość gwiazd w galaktyce prawie nie zależy od odległości od centrum.¹³

Oczywiście w niektórych galaktykach to nieco więcej (np. dla Słońca to 230 km/s) a w niektórych nieco mniej (raczej rzadko). Zależy to słabo od odległości od centrum galaktyki i wysokości ponad płaszczyznę galaktyki. Jeżeli tak to łatwo uzyskać gęstość masy galaktycznej w funkcji promienia. Z oczywistego „szkolnego” wzoru

$$v^2/r = G \cdot M(r)/r^2$$

wynika, że

$$M(r) = v^2 \cdot r / G \quad (1),$$

czyli masa zawarta wewnątrz orbity gwiazdy jest proporcjonalna do promienia jej orbity.

Z drugiej strony jasność powierzchniowa galaktyki maleje jak $\exp(-\alpha \cdot r)$, co oznacza to, że na obrzeżach galaktyki znajduje się sporo masy, którą nazywamy ciemną materią. Dokładniejsze rachunki pokazują, że jest tego w galaktykach około dziesięciokrotnie więcej od materii świecącej (gwiazd).

Wracając do sposobu pomiaru to trzeba stwierdzić, że to wynik założenia, że prawo grawitacji Newtona, czyli wzór (1) obowiązuje na odległościach rzędu kilkadziesiąt kiloparseków. Oczywiście to dość odważne założenie. Wystarczy dość niewielka modyfikacja tego prawa zwana MOND (modyfikowana grawitacja newtonowska) pierwotnie zaproponowana przez M. Milgroma. W celu uzyskania poprawnego opisu dynamiki galaktyk bez wprowadzania nieobserwowanej ciemnej materii Milgrom zmodyfikował II zasadę dynamiki do postaci¹⁴

$$m \cdot a \cdot \mu(a/a_0) = F \quad (2)$$

gdzie $\mu(a/a_0)$ jest funkcją modyfikującą dynamikę a a_0 jest stałą o wartości około 10^{-10} m/s².

Przyjmując „standardową” postać $\mu = [1 + (a_0/a)^2]^{-0,5}$ otrzymujemy, że

$$v^2 = G M a_0$$

co powoduje, że ciemna materia znika.

MOND nie uzyskał zbyt dużej popularności ze względu na to, że modyfikacja nie została „zakotwiczona” w standardowych teoriach grawitacji (newtonowskiej i OTW). Dodatkowo mówiąc językiem Lakatosa program się degenerował mając problemy z wytłumaczeniem dynamiki gromad galaktyk. Tym niemniej jest prostym przykładem tego, że przez modyfikację teorii (wyjątkowo prymitywną!) można wyeliminować mniej więcej pięciokrotnie więcej materii od tej bezpośrednio znanej z fizyki jądrowej.

¹⁰ P. np. F. C. Crawford, „Fale”, PWN Warszawa, 1972 s. 174 -178.

¹¹ H. Kragh „Wielkie Spekulacje”, Copernicus Center Press, Kraków 2019 (dodruk), s. 71.

¹² Trochę szkoda zniknięcia z edukacji pojęcia eteru, bo nie da się bez niego zrozumieć, dlaczego tak istotny był eksperyment Michelsona-Morleya.

¹³ B.W Carroll, D. A. Ostlie „Wstęp do astrofizyki”, PWN, 2024 s. 735.

¹⁴ Internet – wystarczy kliknąć MOND. Ze względu na to, że ten model nie uzyskał znaczącego poparcia w środowiskach naukowych nie szukałem dokładniejszych odnośników choć pamiętam, że pierwszy raz czytałem o tym modelu w jakimś preprintcie Peeblsa z lat osiemdziesiątych. W internecie cytowano m.in. M. Milgrom, „A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis”. Astrophysical Journal. 270. s. 365–370.



Tu warto przypomnieć, że współcześnie (najczęściej!) przyjmowany, skład materii Wszechświata to w około 5% to co znamy z laboratoriów fizycznych, czyli materii barionowej, 25% to wspomniana zimna ciemna materia tzw. CDM (cold dark matter). Nie miejsce tu by omówić, dlaczego materia ta ma być „zimna”¹⁵. Jednak ciemna materia stanowi ogromny kłopot dla współczesnej fizyki. Po prostu mimo wielkich wysiłków nie udało się znaleźć tej materii zarówno obserwacyjne (metodami astronomicznymi) ani laboratoryjnie.

Ekspansja Wszechświata

Omawiając skład materii Wszechświata celowo pominięto najistotniejszy ilościowo składnik, czyli ciemną energię. To około 70 % masy Wszechświata. Powodem jej wprowadzenia jest opublikowana w 1998 roku własność, którą z niezrozumiałych dla mnie powodów interpretuje się jako przyspieszanie ekspansji Wszechświata a polegająca na tym, że odległe galaktyki oddalają się coraz szybciej¹⁶.

Kluczową wielkością oceniającą ekspansję Wszechświata jest stała Hubble’a, czyli pochodna czynnika skali przez ów czynnik ($\dot{R}/R$). Oszacowanie tej wielkości to oczywiście wzrost odległości (w niewielkim czasie) podzielony przez tę odległość. Zwykle mierzy się tę wielkość dzieląc oszacowaną odległość przez pomiar przesunięcia ku czerwieni, które szacuje $\dot{R}$.

Można jednak dokonać tego pomiaru szacując jak rozszerzyły długości się tzw. oscylacji akustycznych powstałych we wczesnym Wszechświecie¹⁷. Najdokładniejsza war-

tość wyliczona bezpośrednio wyniosła 74 ± 1 km/s·Mpc. Obliczając to równie poprawnie z oscylacji akustycznych otrzymano $67,4 \pm 0,5$ km/s·Mpc. Biorąc po uwagę szacowane wartości niepewności widać, że jest problem. Oczywiście tkwiący gdzieś w założeniach teoretycznych prowadzących do tych pomiarów. Warto dodać, że z drugiej strony to różnica o kilka procent w gęstości materii Wszechświata.

Oczywiście w chwili obecnej nie wiemy, która wartość jest bliższa rzeczywistości. To w sumie nie tak znowu wiele, biorąc pod uwagę, że samo wprowadzenie tych około 70% materii Wszechświata wynika z naszej wiary w OTW. Z tej monumentalnej teorii wynika związek między stałą Hubble’a czasem istnienia Wszechświata i ilością materii w nim zawartej, czyli tzw. równanie Friedmanna.

Podsumowując przedstawione tu fakty trzeba stwierdzić, że czysty empiryzm jest niemożliwy i nie da się wykonać żadnego pomiaru nie dokonując założeń typu teoretycznego. Warto o tym pamiętać, bo fizyka jest wprawdzie nauką empiryczną i bez pomiarów nic sensownego o rzeczywistości nie da się powiedzieć. Jednak bez założeń teoretycznych, żaden pomiar nie jest możliwy. Dlatego dwa filary, na których stoi fizyka (i wszystkie inne nauki również!) to teoria i pomiar. Nie są one jednak niezależne, dlatego nauka ma charakter samouzgodniony. Na szczęście nie zawsze samouzgodnienie się udaje. Dlatego od czasu do czasu mamy rewolucje naukowe stanowiące o rzeczywistym postępie wiedzy.

Jerzy Kuczyński
Akademia Śląska

¹⁵ Bardzo krótko – gdyby była gorąca to ruchy cieplne uniemożliwiłyby powstanie gwiazd i galaktyk. To m. in. wyklucza by ciemną materią były neutrina.

¹⁶ Spowodowane to jest tym, że odległość rośnie a prędkość oddalania się jest proporcjonalna do tej odległości (tzw. prawo Hubble’a). Ja za ocenę prędkości ekspansji Wszechświata jestem skłonny uznać stałą Hubble’a. A ta wielkość nie tylko nie rośnie, ale maleje dążąc do stałej proporcjonalnej do pierwiastka z wartości ciemnej energii (ta wielkość pozostaje stałą, gdy pozostałe składniki Wszechświata ekspansja rozrzedza). Inaczej mówiąc galaktyki uciekają szybciej niż maleje stała Hubble’a.

¹⁷ J. Kuczyński, „Problemy wczesnego Wszechświata”, Urania, postępy astronomii 4/24, s. 34 (i prace tam cytowane).

Ciekawe właściwości materii

Maciej Panczykowski

Każde ciało stałe ma swoją unikalną kombinację właściwości (np. gęstość, twardość, barwa, temperatura topnienia). Niektóre tylko ciała stałe mają właściwości ciekawe i niezwykle, które znalazły różne zastosowania.

Oto one:

1. Przewodnictwo – dobre przewodzenie prądu elektrycznego (niski opór właściwy). Przewodnikami są metale i grafit (odmiana alotropowa węgla). Zjawisko to jest możliwe dzięki istnieniu w materiale swobodnych elektronów mogących przemieszczać się w jego obrębie pod wpływem pola elektrycznego. Do najlepszych przewodników należą: srebro (Ag), miedź (Cu) i złoto (Au).

Przewodniki są w powszechnym użyciu w sieciach elektrycznych i układach elektronicznych.

2. Półprzewodnictwo – przewodzenie prądu elektrycznego gorzej niż metale, a lepiej niż izolatory. Przewodnictwo takie może być zwiększone przez podniesienie temperatury, oświetlenie, podczerwień, ultrafiolet lub odpowiednie domieszkowanie.

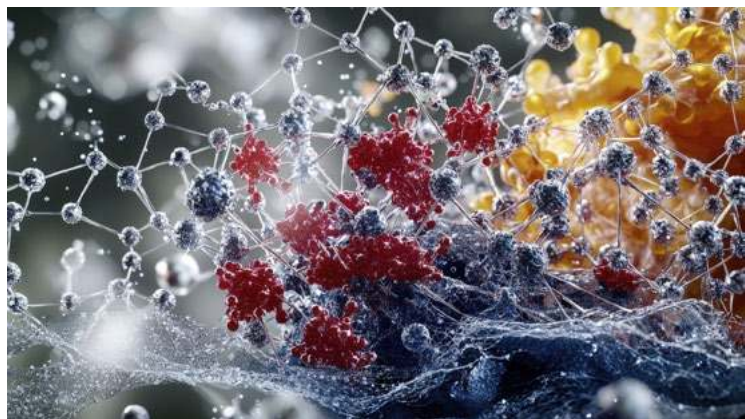
Przykłady półprzewodników: krzem (Si), german (Ge), arsenek galu (GaAs), azotek galu (GaN), fosforek galu (GaP), antymonek indu (InSb), fosforek indu (InP), azotek glinu (AlN), tellurek kadmu (CdTe), tellurek bizmutu (Bi_2Te_3), tellurek ołowiu (PbTe), siarczek kadmu (CdS).

Krzem lub german, domieszkowane pierwiastkiem V grupy układu okresowego (np. fosfor), dają półprzewodnik nadmiarowy (typu n) z przewodnictwem elektronowym, a domieszkowane pierwiastkiem III grupy układu okresowego (np. bor), dają półprzewodnik niedomiarowy (typu p) z przewodnictwem dziurowym.

Półprzewodniki stosowane są do produkcji tranzystorów, diod, triaków, tyrystorów, laserów półprzewodnikowych i paneli fotowoltaicznych.

3. Nadprzewodnictwo – stan materiału, w którym jest on pozbawiony oporu elektrycznego. Nadprzewodnikami mogą być niektóre pierwiastki (większość metali, fullereny) i tlenkowo-miedziowe materiały ceramiczne.

Przyczyną nadprzewodnictwa jest tworzenie się ze swobodnych elektronów tzw. par Coopera, w temperaturach poniżej tzw. **temperatury krytycznej**, charakterystycznej dla danego materiału. Pary Coopera, złożone zawsze z 2 elektronów, są bozonami i są sprzęgnięte z drganiami sieci krystalicznej (co daje im stabilność). Pary Coopera tworzą kondensat bozonowy, w którym wszystkie bozony zajmują stabilny stan o określonej energii i potrafią poruszać się w sieci krystalicznej bez zmian (strat) energii.



Do tej pory nie udało się uzyskać nadprzewodników w temperaturze pokojowej i ciśnieniu atmosferycznym wokół 1013,25 hektopaskali (1 atmosfera). Istnieją nadprzewodniki niskotemperaturowe, o temperaturach krytycznych poniżej 77 K (temp. wrzenia ciekłego azotu) i nadprzewodniki wysokotemperaturowe (ceramiczne, zawierające miedź, tlen, bar oraz: lantan, wapń, itr, tal, rtęć lub bizmut), o temperaturach krytycznych wyższych niż 77 K. Nadprzewodnictwo tych ostatnich jest zagadką dla fizyków teoretyków.

Nadprzewodnictwo zostało odkryte w 1911 roku przez holenderskiego fizyka Heike Kamerlingha-Onnesa. Znalazło ono zastosowanie przy przewodzeniu prądów o dużym natężeniu i do generowania silnych pól magnetycznych.

4. Paramagnetyzm – zjawisko namagnesowania materiału zgodnie z działającym na niego zewnętrznym polem magnetycznym.

Namagnesowanie nie jest trwałe i zanika po ustaniu działania pola.

Właściwości paramagnetyczne wynikają z ustawiania się momentów magnetycznych niesparowanych elektronów materiału równoległe do wektorów pola magnetycznego.

Przykłady paramagnetyków: potas (K), tytan (Ti), chrom (Cr), molibden (Mo), cyna (Sn), wolfram (W).

5. Ferromagnetyzm – zjawisko spontanicznego namagnesowania niektórych materiałów, powstające w wyniku zgodnego, równoległego ustawienia momentów magnetycznych oddziałujących między sobą atomów.

Dotyczy ono tylko ograniczonego obszaru w materiale – tzw. **domeny**. Materiał składa się z wielu różnych domen, więc wypadkowe jego namagnesowanie jest niewielkie albo zerowe.

Po przyłożeniu zewnętrznego pola magnetycznego, wszystkie domeny stają się namagnesowane tak samo (w kierunku pola) i zjawisko to nie zanika po ustaniu działania pola (tzw. trwałe namagnesowanie).

Przykłady ferromagnetyków: żelazo (Fe), kobalt (Co), nikiel (Ni), gadolin (Gd), terb (Tb), dysproz (Dy), holm (Ho). Te cztery ostatnie pierwiastki to tzw. metale ziem rzadkich o liczbach atomowych odpowiednio: 64, 65, 66 i 67.

Warto nadmienić, że trwałe namagnesowanie zanika w wyniku drgań cieplnych w charakterystycznej dla danego materiału temperaturze. Jest to tak zwana **temperatura Curie**. Dla żelaza wynosi ona 770°C, dla niklu: 355°C, dla kobaltu: 1115°C, a dla wymienionych metali ziem rzadkich jest ona niższa lub znacznie niższa od temperatury 25°C.

6. Antyferromagnetyzm – występowanie w ciele stałym dwóch podsieci o równym i przeciwnym namagnesowaniu. Wypadkowe namagnesowanie jest równe zero. Namagnesowanie podsieci znika wskutek drgań termicznych w tzw. **temperaturze Neela**, charakterystycznej dla danego materiału. Przykładem antyferromagnetyka jest tellurek manganu II (MnTe) i tlenek kobaltu (CoO).

7. Ferrimagnetyzm – występowanie w ciele stałym dwóch podsieci o różnym i przeciwnym namagnesowaniu. Wypadkowe namagnesowanie nasycenia nie jest wysokie i substancja zachowuje się jak słaby ferromagnetyk. Przykładem jest mieszany tlenek żelaza II i III (Fe_3O_4 , magnetyt).

8. Paraelektryczność – jest obserwowana wtedy gdy materiał składa się z chaotycznie ułożonych dipoli elektrycznych, które jednak mogą ustawić się zgodnie z przyłożonym polem elektrycznym.

9. Ferroelektryczność – występowanie ładunków elektrycznych na powierzchni kryształu, powodujących jego trwałą polaryzację elektryczną bez obecności pola elektrycznego. Zjawisko to obserwowane jest np. na kryształach kwarcu i winianu sodowo-potasowego (soli Seignette'a).

10. Piezoelektryczność – zdolność kryształu do generowania ładunków na swojej powierzchni, pod wpływem nacisku i odkształcania.

Piezoelektryki znalazły zastosowanie przy pomiarach ciśnienia, produkcji mikrofonów krystalicznych i igieł gramofonowych.

Przykłady piezoelektryków: kwarc (SiO_2), tytanian baru (BaTiO_3), fosforan galu (GaPO_4).

11. Piroelektryczność – zdolność kryształu do generowania ładunków na swojej powierzchni, pod wpływem ogrzania.

Piroelektryki znalazły zastosowanie przy produkcji matryc termowizyjnych, czujników termicznych i przeciwpowodziowych.

Przykłady piroelektryków: turmalin (minerał), tantalian litu (LiTaO_3), germanian ołowiu (PbGeO_3).

12. Piroforyczność – zdolność bardzo sproszkowanej substancji do ulegania samozapłonowi, gdy zostaje ona rozsypana na powietrzu.

Przykłady substancji piroforycznych: sproszkowany węgiel (C), sproszkowane żelazo (Fe), sproszkowany nikiel (Ni), sproszkowany cer (Ce, liczba atomowa 58).

13. Magnetostrykcja – zdolność ferromagnetyka do zmiany kształtu lub rozmiarów pod wpływem pola magnetycznego wskutek przesunięć domen (przykładowe zastosowanie: nadajniki ultradźwięków).

Właściwość ta jest charakterystyczna dla takich stopów jak: Terfenol-D (stop terbu, żelaza i dysprozu) i Galfenol (stop galu i żelaza).

Dodam tutaj, że elektroodpowiednikiem magnetostrykcji jest **elektrostrykcja** – zjawisko, w którym ciało stałe kurczy się pod wpływem pola elektrycznego (dipole układają się wzdłuż linii pola i przyciągają się).

14. Nadciekłość – wyjątkowo – dotyczy cieczy. Jest to stan, w którym jest ona pozbawiona lepkości. Warstwy takiej cieczy płyną bez tarcia wewnętrznego, czyli bez żadnych strat energii.

Nadciekłość obserwuje się w temperaturach niewiele wyższych niż 0 kelwinów (w pobliżu zera bezwzględnego) u izotopów helu: hel-3 (poniżej 2 mK) i hel-4 (poniżej 2,17 K). Zjawisko to tłumaczy się tworzeniem się w cieczy kondensatu bozonowego, złożonego z wielu atomów, zajmujących stan o najniższej energii.

Warto wiedzieć, że są takie materiały, które mogą mieć więcej niż jedną ciekawą właściwość, np.: tellurek bizmutu jest półprzewodnikiem i piroelektrykiem, tantalian litu – piezoelektrykiem i piroelektrykiem a azotek galu – półprzewodnikiem, piroelektrykiem i piezoelektrykiem.

Maciej Panczykowski
Katowice, 2025.01.22

Samooorganizujące się nano-prążki

Naukowcy odkryli, że trójselenek antymonu w procesie wzrostu z wiązek molekularnych tworzy spontanicznie podłużne wysokiej jakości struktury krystaliczne, nano-prążki. Ten quasi-jednowymiarowy półprzewodnik van der Waalsa może zatem stać się materiałem o potencjalnie interesujących zastosowaniach do budowy półprzewodnikowych sieci neuronowych, sensorów gazów i detektorów spolaryzowanego liniowo światła.

W badaniach przeprowadzonych przez naukowców z Instytutu Fizyki PAN we współpracy z Instytutem Mikroelektroniki i Fotoniki Sieci Badawczej Łukasiewicz, Wydziałem Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, a także Instytutem Fotoniki i Elektroniki Czeskiej Akademii Nauk wytworzony został trójselenek antymonu przy użyciu epitaksji z wiązek molekularnych (Molecular Beam Epitaxy - MBE), zaawansowanej technologii służącej zazwyczaj do wytwarzania cienkich ultra-czystych warstw krystalicznych do zastosowań w elektronice i fotonice. Zaobser-

wowano, że trójselenek antymonu w sposób spontaniczny formuje monokrystaliczne, jednowymiarowe nanostruktury na powierzchni standardowych podłoży arsenku galu. Długość tych nanostruktur jest co najmniej o rząd wielkości większa niż ich pozostałe rozmiary. Wykazano, że orientacja leżących na podłożu nano-prążków zdefiniowana jest przez orientację krystaliczną arsenku galu w taki sposób, że $\langle 011 \rangle_{\text{GaAs}}$ jest zgodny z $[010]_{\text{Se}_2\text{Sb}_3}$. Za ich podłużny kształt odpowiada najprawdopodobniej anizotropowa struktura krystaliczna trójselenku antymonu.

Po wystarczająco długim wzroście nano-prążki łączą się ze sobą tworząc spontanicznie sieci połączonych ze sobą nanostruktur. Układy te mogą posłużyć do projektowania i wytwarzania obwodów i sieci elektronicznych do zastosowań w sieciach neuronowych, a także w sensorach gazów, oraz detektorach światła czułych na polaryzację.

<https://www.ifpan.edu.pl/nauka/osiagniecia-naukowe/samooorganizujace-sie-nano-prazki-jednowymiarowego-polprzewodnika-van-der-waalsa.html>

Polaryzacja liniowa światła

Jan Kurzyk

Jedną z form klasyfikacji fal dzieli fale na poprzeczne i podłużne. W przypadku fal poprzecznych kierunek drgań (wektora natężenia pola lub cząstek ośrodka) jest prostopadły do kierunku propagacji fali. Jednak kierunków prostopadłych do danego kierunku jest nieskończenie wiele. I nic nie stoi na przeszkodzie, żeby kierunki tych drgań w różnych punktach przestrzeni były różne, a dodatkowo zmieniały się w czasie.

Jeśli kierunki drgań w przestrzeni i czasie zmieniają się chaotycznie, to mówimy o fali niespolaryzowanej. Natomiast falę, w której kierunki drgań wykazują jakieś uporządkowanie nazywamy falą spolaryzowaną. W szczególnym przypadku, gdy wszystkie drgania fali odbywają się w jednej płaszczyźnie, mówimy o polaryzacji liniowej [1]. Złożenie wielu fal spolaryzowanych liniowo różniących się losowo płaszczyznami polaryzacji i innymi

parametrami jest falą niespolaryzowaną. Przykład takiej sytuacji przedstawia rysunek 1.

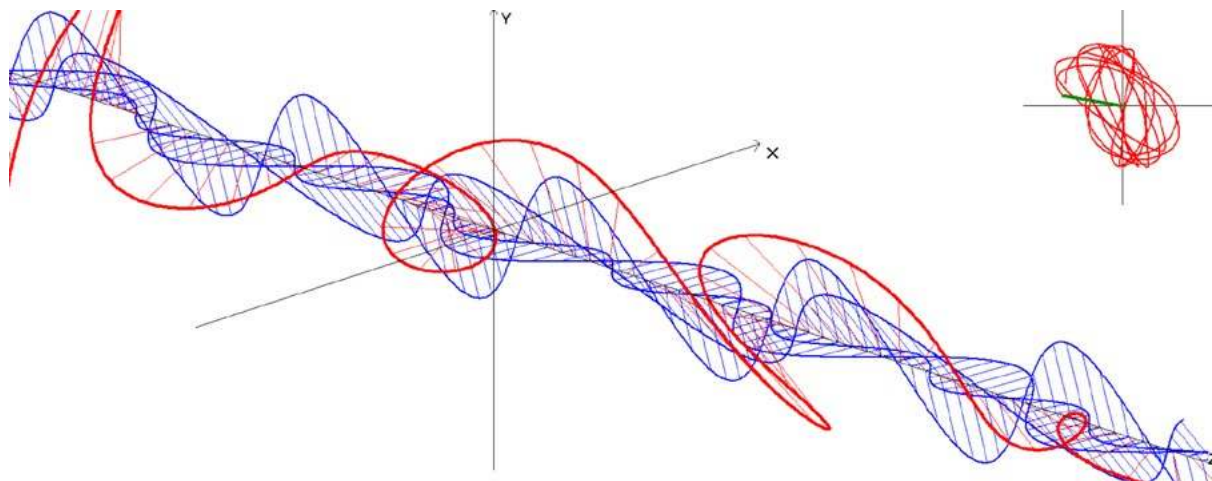
O polaryzacji fali lub jej braku możemy mówić jedynie w odniesieniu do fal poprzecznych. W falach podłużnych drgania odbywają się wzdłuż kierunku ruchu fali, więc relacja pomiędzy tymi kierunkami jest zawsze jednoznacznie określona. Oba typy fal pokazano na rysunku 2.

Światło i inne fale elektromagnetyczne

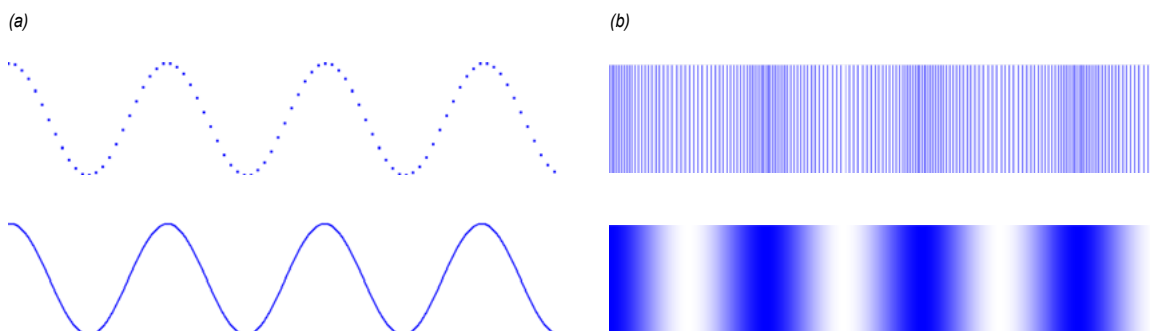
Istnienie fal elektromagnetycznych przewidział szkocki fizyk i matematyk James Clerk Maxwell [2] – twórca teorii elektromagnetyzmu, a eksperymentalnie istnienie tych fal wykazał 20 lat później¹ (jesienią 1886 roku) niemiecki fizyk Heinrich Hertz [3] (rysunek 3).

Fala elektromagnetyczna jest przemieszczającym się w przestrzeni zaburzeniem zgodnych w fazie drgań pól: elektrycznego i magnetycznego, przy czym kierunki drgań wektora natężenia pola elektrycznego i magnetycznego są prostopadłe do siebie a jednocześnie prostopadłe do

¹ Na potwierdzenie istnienia fal grawitacyjnych przewidzianych przez Einsteina musieliśmy czekać 100 lat, do 2015 roku.



Rysunek 1. Cztery harmoniczne fale spolaryzowane liniowo w losowych płaszczyznach różniące się losowo przesunięciem fazowym, amplitudą i długością rozchodzące się w kierunku osi Z (niebieskie linie). Czerwona linia pokazuje falę wypadkową będącą złożeniem tych czterech fal. Fala wypadkowa jest niespolaryzowana. Wstawka w prawym górnym rogu pokazuje tor zakreślany przez koniec wektora (zielony odcinek) drgań ośrodka (w przypadku fali mechanicznej) lub wektora natężenia pola elektrycznego (w przypadku fali elektromagnetycznej) zaczepionego w punkcie $(0,0,0)$. Jest to płaska krzywa leżąca w płaszczyźnie XY.



Rysunek 2. (a) Fale poprzeczne spolaryzowane liniowo, (b) Fale podłużne.

(a)



(b)



Rysunek 3. (a) James Clerk Maxwell (1831-1879), (b) Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894).

kierunku rozchodzenia się fali. Rysunek 4 przedstawia układ pola elektrycznego i magnetycznego (w danym momencie) w przypadku spolaryzowanej liniowo harmonicznej (czyli sinusoidalnej) fali elektromagnetycznej. Prostopadłość drgań obu pól względem kierunku ruchu fali oznacza, że fale elektromagnetyczne zaliczamy do fal poprzecznych.

Zupełnie innych charakter mają fale dźwiękowe w gazach i cieczach, których drgania (np. drgania cząstek powietrza) odbywają się w kierunku zgodnym z ruchem fali. I dlatego zaliczamy je do fal podłużnych (patrz rysunek 2 (b)).

Jeszcze inny charakter mają fale powstające np. na powierzchni wody. Takie fale są złożeniem fal poprzecznych i podłużnych. Cząsteczki wody wykonują ruch oscylacyjny po torach kołowych lub eliptycznych. W przypadku głębokiej wody tor cząstek jest zbliżony do okręgów, a w przy-

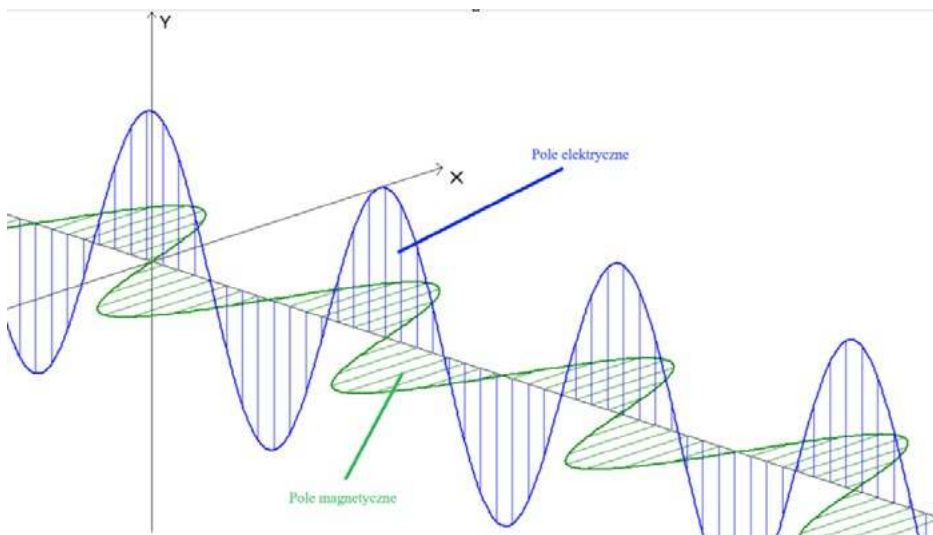
padku płytkiej torem są elipsy o osi poziomej większej od pionowej. Pionowa oś tych elips maleje w miarę spłykania się akwenu. W krańcowej sytuacji, gdy fala dociera do płaskiej plaży oś pionowa elipsy zanika i fala staje się falą podłużną – woda cyklicznie zalewa plażę i cofa się.

W zależności od długości (lub częstotliwości) falam elektromagnetycznym nadajemy różne nazwy [4]. Fale elektromagnetyczne o długościach od 380 nm do 700 nm (nanometr; $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) odbieramy za pomocą zmysłu wzroku i nazywamy je światłem. Światło zajmuje bardzo wąski wycinek pełnego spektrum fal elektromagnetycznych. Nazwy fal elektromagnetycznych w zależności od długości (lub częstotliwości) fali przedstawia rysunek 5. Zwróćmy uwagę na to, że rysunek wykonany jest w skali logarytmicznej. W skali liniowej przedziału fal odpowiadających światłu nie dałoby się zaznaczyć.

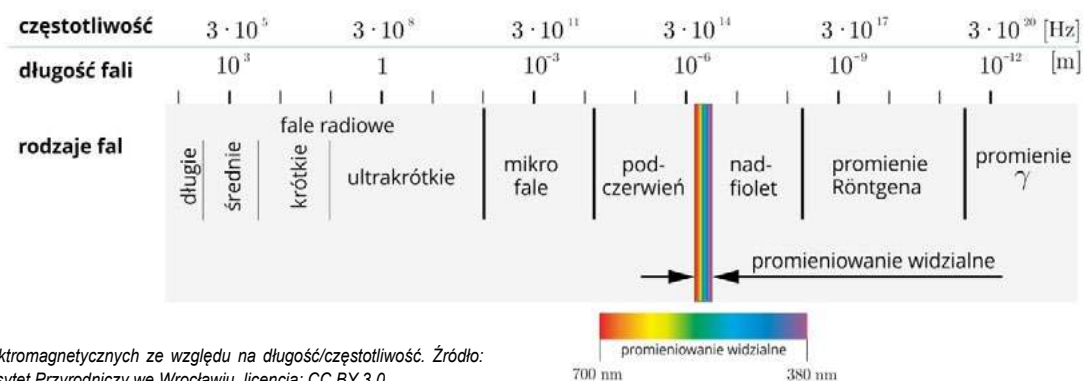
Polaryzacja liniowa

Omawiając polaryzację fali elektromagnetycznej (lub jej brak) ograniczamy się zwykle do opisu zachowania pola elektrycznego, gdyż ta część fali elektromagnetycznej zdecydowanie silniej niż część magnetyczna oddziałuje z materią.

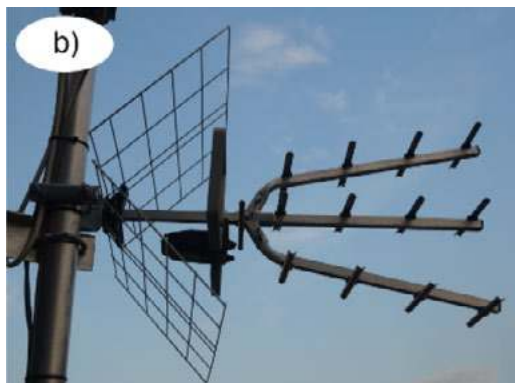
W przypadku światła kierunki drgań pola elektrycznego (i magnetycznego) w różnych punktach wzdłuż kierunku ruchu fali są najczęściej przypadkowe (nie wykazują żadnego porządku). Jeśli przyjrzymy się torowi jaki określa koniec wektora natężenia pola elektrycznego



Rysunek 4. Harmoniczna spolaryzowana liniowo fala elektromagnetyczna przemieszczająca się w kierunku osi Z



Rysunek 5. Podział fal elektromagnetycznych ze względu na długość/częstotliwość. Źródło: Krzysztof Jaworski, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, licencja: CC BY 3.0.



Rysunek 6. Antena kierunkowa ustawiona do odbioru sygnału telewizyjnego z polaryzacją: (a) pionowej, (b) poziomej. Zwróćmy uwagę, że ułożenie anten jest inne niż podpowiada nam intuicja. Źródło: https://sklep.delta.poznan.pl/polaryzacja-fali_l1_aid893.html [5].

niespolaryzowanej fali elektromagnetycznej zaczepiony w danym punkcie przestrzeni, to zobaczymy chaotyczną krzywą (patrz wstawka w prawym górnym rogu na rysunku 1). Możemy jednak doprowadzić do uporządkowania tych drgań. Mówimy wówczas o polaryzacji fali. Jeśli wszystkie drgania będą się odbywać wzdłuż jednego kierunku, to będziemy mówić o fali *spolaryzowanej liniowo*.

Możliwość polaryzacji fal elektromagnetycznych jest dowodem na to, że fale te są falami poprzecznymi, gdyż z przyczyn opisanych powyżej jedynie fale poprzeczne możemy polaryzować. Poprzeczny charakter fal elektromagnetycznych wynika wprost z teorii Maxwella. Własność tę potwierdził eksperymentalnie już Hertz – odkrywca fal elektromagnetycznych.

Fala elementarna związana z fotonem jest falą spolaryzowaną. Najczęściej jest to polaryzacja liniowa. Światło jest strumieniem ogromnej liczby fotonów. Fale elementarne, które możemy im przypisać mają przypadkowe płaszczyzny polaryzacji, przesunięcia fazowe i długości. W konsekwencji, wypadkowa fala jest falą niespolaryzowaną jak pokazano na rysunku 1.

Wszystkie naturalne źródła fal elektromagnetycznych, w tym źródła światła, emitują fale niespolaryzowane². Ale istnieją sztuczne źródła promieniowania elektromagnetycznego, które wysyłają fale spolaryzowane. Przykładem mogą być fale emitowane przez anteny nadajników fal radiowych i telewizyjnych, telefonii komórkowej czy systemów typu GPS. Te sygnały są spolaryzowane liniowo lub kołowo względnie eliptycznie³. Dlatego dla zwiększenia zdolności odbiorczej anteny odbiorników muszą być przystosowane do danej polaryzacji i ważne jest ich ustawienie w przestrzeni (patrz rysunek 6). Anteny w telefonach komórkowych są zaprojektowane tak, aby mogły odbierać i nadawać sygnały o różnych polaryzacjach, co zwiększa ich zdolność do utrzymywania stabilnych połączeń.

W przypadku światła źródłem fal spolaryzowanych są lasery. Światło laserowe jest najczęściej spolaryzowane liniowo, ale istnieją lasery które emitują światło spolaryzowane kołowo lub eliptycznie.

Światło niespolaryzowane możemy spolaryzować przepuszczając je przez tzw. polaryzator. Sposoby polaryzacji światła omówię nieco dalej.

Prawo Malusa

Idealny polaryzator przepuszcza fale świetlne o określonej polaryzacji. Światło niespolaryzowane padające na polaryzator liniowy będzie po przejściu przez polaryzator światłem spolaryzowanym liniowo w płaszczyźnie wyznaczonej przez oś polaryzacji polaryzatora. Jeśli światło padające było całkowicie niespolaryzowane, to natężenie światła po przejściu przez polaryzator będzie dwa razy mniejsze niż przed polaryzatorem⁴. Jest to konsekwencja prawa Malusa [6] zastosowanego do sumy wszystkich fal składowych o przypadkowych polaryzacjach.

Prawo, o którym mowa zostało odkryte przypadkowo przez francuskiego fizyka doświadczalnego Étienne Louis Malus'a (1775-1812). Jeśli światło spolaryzowane liniowo przepuścimy przez polaryzator, nazywany analizatorem, to otrzymamy światło spolaryzowane liniowo pod kątem wyznaczonym przez oś analizatora, a jego natężenie, zgodnie z prawem Malusa będzie równe

$$I = I_0 \cos^2(\alpha).$$

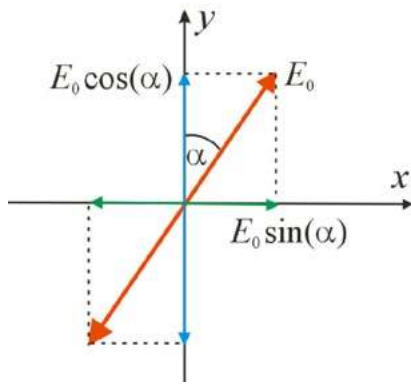
W powyższym wzorze I_0 jest natężeniem światła przed analizatorem, a α jest kątem między płaszczyzną polaryzacji przed analizatorem, a płaszczyzną polaryzacji za analizatorem. Łatwo zauważyć, że w przypadku, gdy płaszczyzna polaryzacji analizatora jest równoległa do płaszczyzny polaryzacji światła przed polaryzatorem, to światło przejdzie w całości bez zmiany jasności. Zaś gdy kąt ten wynosi 90° , to światło zostanie całkowicie zablokowane. W innych przypadkach światło za polaryzatorem będzie spolaryzowane w płaszczyźnie zgodnej z osią polaryzatora, a jego natężenie zmniejszy się zgodnie z prawem Malusa. Oczywiście pełną zgodność z prawem Malusa dostalibyśmy w przypadku idealnego polaryzatora.

Teoria Maxwella pozwoliła na wyjaśnienie przyczyn takiego zachowania. Drgania wektora natężenia pola elektrycznego o amplitudzie E_0 fali spolaryzowanej liniowo pod kątem α do osi Y możemy rozłożyć na sumę drgań wzdłuż osi Y i wzdłuż osi X. Jeśli płaszczyzna polaryzacji polaryzatora jest równoległa do osi Y, to przez polaryzator przejdzie tylko wektor natężenia pola elektrycznego drgający wzdłuż osi Y (patrz rysunek 7). Jego amplituda będzie równa $E_0 \cos(\alpha)$. Natężenie światła (i innych fal) jest proporcjonalne do kwadratu amplitudy, więc

² Wyjątkiem są np. gwiazdy neutronowe (magnetary i pulsary), które wysyłają silnie spolaryzowane promieniowanie rentgenowskie i radiowe. Polaryzacja jest tu wywołana przez bardzo silne pole magnetyczne tych gwiazd. Innym przykładem jest światło emitowane przez dyski akrecyjne wokół czarnych dziur.

³ Polaryzacja kołowa i eliptyczna będzie tematem osobnego artykułu.

⁴ W rzeczywistości jest ono nieco słabsze niż dwa razy, gdyż część światła zostanie pochłonięta przez materiał polaryzatora.



Rysunek 7. Drgania wektora natężenia pola elektrycznego o amplitudzie E_0 fali spolaryzowanej liniowo pod kątem α do osi Y możemy rozłożyć na sumę drgań wzdłuż osi X i wzdłuż osi Y. Jeśli płaszczyzna polaryzacji polaryzatora jest równoległa do osi Y, to przez polaryzator przejdzie tylko wektor natężenia pola elektrycznego drgający wzdłuż osi Y. Jego amplituda będzie równa $E_0 \cos(\alpha)$.

$$\frac{I}{I_0} = \frac{(E_0 \cos(\alpha))^2}{E_0^2}.$$

Stąd dostajemy prawo Malusa

$$I = I_0 \cos^2(\alpha).$$

Pokażmy, że natężenie światła niespolaryzowanego po przejściu przez idealny polaryzator spadnie dwukrotnie. Skorzystajmy z tego, że światło niespolaryzowane jest sumą ogromnej liczby fal spolaryzowanych liniowo (związanych z poszczególnymi fotonami) o przypadkowych płaszczyznach polaryzacji i zastosujmy do każdego z nich prawo Malusa. Niech natężenie światła i -tej fali składowej wynosi I_i , a jej kąt polaryzacji α_i . Natężenie światła po przejściu przez polaryzator wynosi zatem

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \cos^2(\alpha_i).$$

Uśrednijmy to wyrażenie

$$\langle I \rangle = \left\langle \sum_{i=1}^n I_i \cos^2(\alpha_i) \right\rangle = \sum_{i=1}^n \langle I_i \cos^2(\alpha_i) \rangle.$$

Ponieważ zmienne I_i i α_i są niezależne, to

$$\sum_{i=1}^n \langle I_i \cos^2(\alpha_i) \rangle = \sum_{i=1}^n \langle I_i \rangle \cos^2(\alpha_i)$$

Średnie natężenie światła fali składowej przed polaryzatorem wynosi

$$\langle I_i \rangle = \frac{I_0}{n}.$$

Z kolei korzystając z tożsamości trygonometrycznej

$$\cos^2(\alpha_i) = \frac{1 + \cos(2\alpha_i)}{2}$$

oraz z faktu, że przy równomiernym rozkładzie kątów polaryzacji α_i na przedziale $(0, \pi)$

$$\langle \cos(2\alpha_i) \rangle = 0,$$

dostajemy

$$\langle \cos^2(\alpha_i) \rangle = \left\langle \frac{1 + \cos(2\alpha_i)}{2} \right\rangle = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \cos(2\alpha_i) = \frac{1}{2}.$$

Ostatecznie natężenie światła niespolaryzowanego po przejściu przez idealny polaryzator jest dwa razy mniejsze niż przed polaryzatorem.

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{I_0}{n} \cdot \frac{1}{2} = \frac{I_0}{n} \cdot \frac{1}{2} \cdot n = \frac{1}{2} I_0.$$

Sposoby polaryzacji liniowej światła

Istnieje szereg sposobów polaryzacji światła niespolaryzowanego. Należą do nich m.in.

- Użycie kryształu dwójłomnego.
- Odbicie od dielektryka.
- Użycie filtra polaryzacyjnego tzw. polaroidu.

Omówmy je krótko.

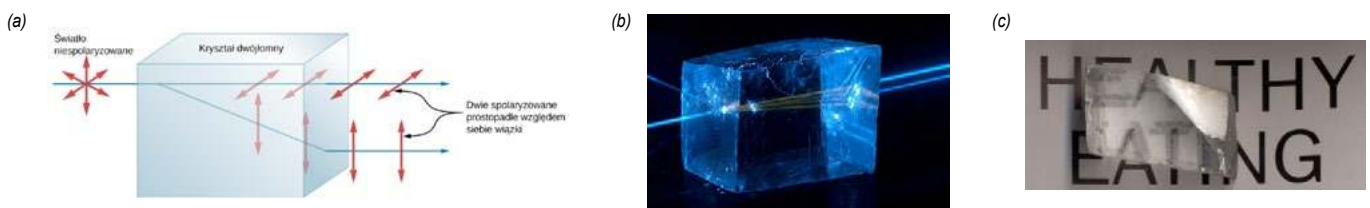
Kryształy dwójłomne

Istnieją pewne kryształy wykazujące zjawisko tzw. dwójłomności. Kryształy tego typu charakteryzują się tym, że mają one dwa różne współczynniki załamania światła zależne od kierunku drgań fali względem osi kryształu. W konsekwencji promień przechodzący przez kryształ rozdziela się na dwa promienie: tzw. *promień zwyczajny* i *promień nadzwyczajny*. Promień zwyczajny spełnia prawo załamania Snelliusa [7]. Jego prędkość i kierunek nie zależą od kierunku propagacji wewnątrz kryształu.

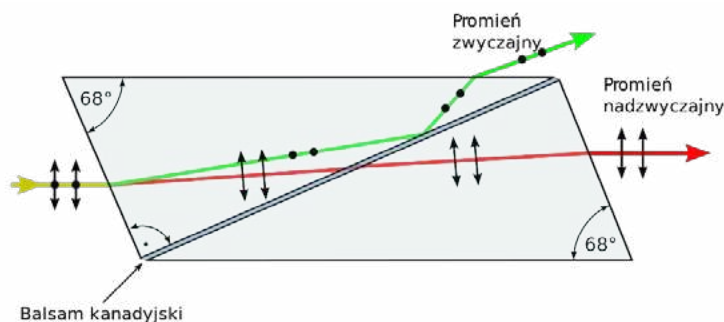
Promień nadzwyczajny nie spełnia prawa załamania. Jego prędkość zależy od kierunku propagacji w kryształach. Kąt załamania promienia nadzwyczajnego może być inny niż kąt załamania promienia zwyczajnego. Oba promienie są spolaryzowane liniowo w kierunkach prostopadłych do siebie (patrz rysunek 8 (a)). Drgania pola elektrycznego promienia zwyczajnego odbywają się w kierunku prostopadłym do tzw. *płaszczyzny optycznej*, a promienia nadzwyczajnego w kierunku równoległym do tej płaszczyzny.

Płaszczyzna optyczna wyznaczona jest przez kierunek propagacji światła w kryształach oraz oś optyczną kryształu, czyli wyróżniony kierunek w ośrodku anizotropowym, wzdłuż którego światło nie wykazuje dwójłomności. Opisaną tu własność ma np. kryształ kalcytu.

Możliwa jest również dwójłomność wymuszona, wywołana jakimś czynnikiem zewnętrznym, np. polem elektrycznym, naprężeniem itp.



Rysunek 8. (a) Schematyczne przedstawienie biegu promieni w kryształach dwójłomnych. (b) Zdjęcie kryształu kalcytu oświetlonego światłem laserowym o długości 445 nm. (c) Podwójny obraz widziany przez kryształ kalcytu. Źródła: (a) <https://openstax.org/books/fizyka-dla-szk%C3%B3%C5%82-wy%C5%BCszych-tom-3/pages/1-7-polaryzacja> [8]. (b) i (c) Wikipedia.

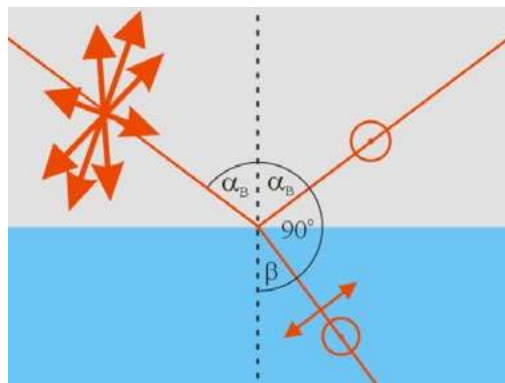


Rysunek 9. Bieg promieni w pryzmacie Nicol. Źródło: Autorstwo Cepheiden – File: Nicols_prism_DE.svg, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31664530> [9].

Wykorzystując własności kalcytu szkocki fizyk William Nicol (1770 – 1826) zbudował pryzmat nazywany na jego pamiątkę pryzmatem Nicol. Pryzmat składa się z dwóch pryzmatów odpowiednio wyciętych z kryształu szpatu islandzkiego (jest to odmiana kalcytu) i sklejonych balsmem kanadyjskim. Pryzmat pozwala na rozdzielanie obu promieni: zwyczajnego i nadzwyczajnego, dzięki czemu na wyjściu uzyskujemy światło spolaryzowane liniowo. Działanie pryzmatu ilustruje rysunek 9.

Odbicie od dielektryka

Najprostszym sposobem otrzymania światła spolaryzowanego liniowo jest odbicie światła od dielektryka, np. szyby okiennej, powierzchni wody itp. Światło odbite od takich powierzchni jest częściowo spolaryzowane w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny wyznaczonej przez promień padający i normalną do granicy obu ośrodków w punkcie padania (patrz rysunek 10). Natomiast istnieje kąt padania, zależny od rodzaju materiału, przy



Rysunek 10. Światło padające na powierzchnię dielektryka pod kątem Brewstera po odbiciu jest całkowicie spolaryzowane liniowo w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny wyznaczonej przez promień padający i normalną do granicy ośrodków (linia przerywana) w punkcie padania. Ma to miejsce wówczas, gdy kąt pomiędzy wiązką odbitą i załamaną jest kątem prostym. Promień załamany jest częściowo spolaryzowany w kierunku prostopadłym do płaszczyzny polaryzacji promienia odbitego.

którym światło odbite jest całkowicie spolaryzowane liniowo. Od nazwiska odkrywcy tego kąta – szkockiego naukowca Davida Brewstera (1781 – 1868) – nazywamy go kątem Brewstera. Zjawisko zachodzi wówczas, gdy promień odbity i załamany tworzą kąt prosty. Promień załamany jest również spolaryzowany (w kierunku prostopadłym do kierunku polaryzacji promienia odbitego), ale tylko częściowo. Z prawa odbicia i załamania [7] można wyliczyć, że tangens kąta Brewstera jest równy stosunkowi współczynnika załamania światła w drugim ośrodku do współczynnika załamania w pierwszym ośrodku

$$\tan(\alpha_B) = \frac{n_2}{n_1}.$$

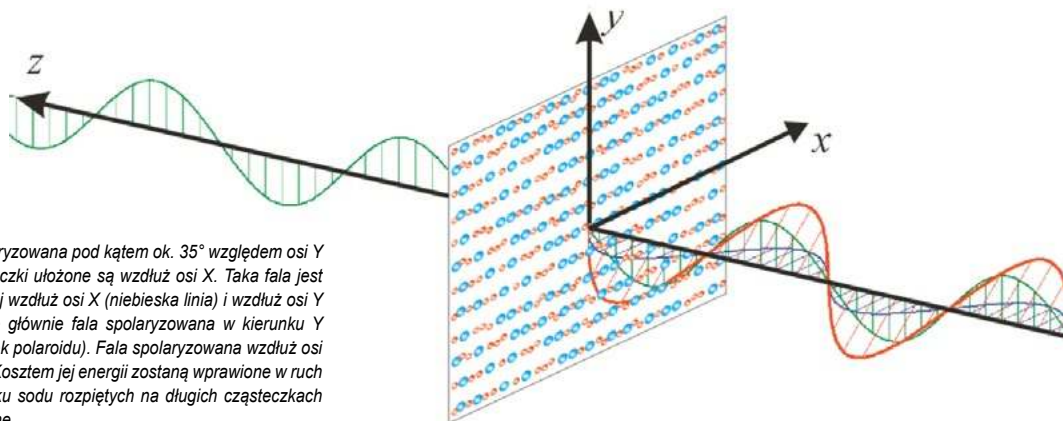
Dla typowego szkła w powietrzu kąt Brewstera wynosi około 56°, a dla wody ok. 53°.

Zjawisko wykorzystujemy m.in. do eliminowania odbić światła od mokrej jezdni przez zastosowanie specjalnych



Rysunek 11. (a) Zdjęcie po lewej wykonano bez filtra (światło odbite od okna jest spolaryzowane w płaszczyźnie pionowej). Na zdjęciu po prawej z użyciem filtra polaryzacyjnego światło odbite od okna zostało wyeliminowane. Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Brewster%27s_angle#/media/File:Polariser-demo.jpg [11].

(b) Zdjęcie okładki czasopisma Fizyka w Szkole. Zdjęcie po lewej stronie bez filtra. Zdjęcie po prawej stronie z filtrem polaryzacyjnym. Polaroid



Rysunek 12. Fala (czerwona linia) spolaryzowana pod kątem ok. 35° względem osi Y pada na polaroid, którego długie cząsteczki ułożone są wzdłuż osi X. Taka fala jest złożeniem dwóch fal: fali spolaryzowanej wzdłuż osi X (niebieska linia) i wzdłuż osi Y (zielona linia). Przez polaroid przejdzie głównie fala spolaryzowana w kierunku Y (prostopadłej do kierunku długich cząstek polaroidu). Fala spolaryzowana wzdłuż osi cząsteczek zostanie silnie pochłonięta. Kosztem jej energii zostaną wprawione w ruch drgający elektrony w cząsteczkach jodku sodu rozpiętych na długich cząsteczkach polimeru. Wyświetlacze ciekłokrystaliczne

okularów polaryzacyjnych dla kierowców. Fotografowie wykorzystują filtry polaryzacyjne, które można obracać. Dzięki takim filtrom można zmniejszyć odbicia od obiektów innych niż powierzchnie poziome, jak widać na zdjęciach z rysunku 11 (a). Zdjęcie po lewej wykonano bez filtra (polaryzacja światła odbitego od okna jest pionowa). Na zdjęciu po prawej z użyciem filtra polaryzacyjnego światło odbite od okna zostało wyeliminowane. Na zdjęciach z rysunku 11 (b) widzimy efekt odbłasku i jego wyeliminowanie za pomocą polaryzatora w przypadku lakierowanej okładki czasopisma *Fizyka w Szkole* (polaryzacja światła odbitego jest pozioma).

Należy podkreślić, że opisane zjawisko dotyczy jedynie odbicia światła od dielektryków. W przypadku odbicia światła od powierzchni metalowych ten efekt nie występuje.

Polaroid

Polaroid został wynaleziony i opatentowany w 1929 roku przez amerykańskiego wynalazcę i naukowca Edwina Landa, współzałożyciela firmy Polaroid Corporation. Jego pierwotny pomysł został ulepszony w 1938 roku i jak dotąd nie znaleziono lepszej metody wytwarzania tanich polaryzatorów [12]. Metoda polega na rozciąganiu w czasie produkcji, w odpowiedniej temperaturze folii polimerowej najczęściej poli(alkoholu winylowego) domieszkowanego jodkiem potasu. W wyniku tego procesu długie, przewodzące cząsteczki jodku potasu osadzają się na wyrównanych długich i układających się w jednym kierunku cząsteczkach polimeru. Po wysuszeniu i utwardzeniu folii jest ona laminowana z obu stron warstwami ochronnymi, a następnie cięta i formowana na odpowiedni kształt (np. do ekranów ciekłokrystalicznych lub okularów przeciwsłonecznych).

Jeśli przez polaroid przepuścimy światło niespolaryzowane, to przejdą przez niego głównie te składowe pola elektrycznego towarzyszące fali, które są prostopadłe do osi, wzdłuż której rozciągnięte są cząsteczki jodku sodu, a pozostałe będą silnie pochłaniane (jest to tzw. *selektywna absorpcja*). Dzieje się tak dlatego, że elektrony w cząsteczkach jodku sodu mogą łatwo przemieszczać się wzdłuż cząsteczki, ale nie mogą wychodzić poza cząsteczkę w kierunku prostopadłym do osi cząsteczki.

W związku z tym, jeśli przez polaroid przechodzi fala spolaryzowana w kierunku osi cząsteczki (lub kierunku bliskiego osi), to pole elektryczne wprawi w ruch drga-

jący elektrony w cząsteczce jodku sodu. Stanie się to kosztem energii fali światła, której amplituda spadnie do małej wartości lub wręcz całkowicie zniknie. Z kolei fala spolaryzowana w kierunku prostopadłym do osi cząstek jodku sodu przejdzie praktycznie bez strat, gdyż wprawienie elektronów cząsteczek jodku sodu w ruch w kierunku prostopadłym do osi cząsteczek jest praktycznie niemożliwe (patrz rysunek 12).

Wyświetlacze ciekłokrystaliczne

Wspominałem już, że (prawie) wszystkie naturalne źródła światła wysyłają światło niespolaryzowane. Jest tak również w przypadku większości sztucznych źródeł światła. Ale istnieją wyjątki. I nie chodzi tylko o lasery. Możemy sprawdzić, korzystając np. z przeciwsłonecznych okularów z polaryzacją liniową, że światło wychodzące z różnego rodzaju wyświetlaczy ciekłokrystalicznych jest spolaryzowane liniowo. Przykłady pokazano na rysunku 13. Na rysunku 13 (c) w roli polaryzatora wykorzystano okulary przeciwsłoneczne z filtrem polaryzacyjnym. Filtr w takich okularach ma za zadanie eliminować odbłaski od mokrej jezdni, tafli wody, lodu itp. Światło odbite od takich powierzchni jest spolaryzowane (częściowo lub w pełni) w płaszczyźnie równoległej do powierzchni, od której odbija się światło, czyli w tym przypadku w poziomie. A w takim razie patrząc na doświadczenia z rysunku 13 (c) możemy stwierdzić, że światło wychodzące z ekranu ciekłokrystalicznego jest spolaryzowane w poziomie.

Jak to się dzieje, że światło wychodzące z wyświetlaczy ciekłokrystalicznych jest spolaryzowane liniowo najprościej można wyjaśnić opisując budowę i zasadę działania tzw. pasywnych wyświetlaczy LCD [13]. Konstrukcję takiego wyświetlacza ilustruje rysunek 14. Tego typu wyświetlacz nazywamy pasywnym, gdyż nie emituje on samodzielnie światła (musi być oświetlony z zewnątrz).

Światło padające na wyświetlacz przechodzi najpierw przez polaryzator (1) ustawiony tak, że po przejściu światło jest spolaryzowane w pionie. Jeśli na przezroczystych elektrodach (2, 4) nie ma napięcia, to układ cząstek ciekłego kryształu (3) jest taki, że po przejściu przez warstwę ciekłego kryształu płaszczyzna polaryzacji ulega skręceniu⁵ o 90° (polaryzacja fal staje się pozioma) i dzięki temu światło może przejść przez drugi polaryzator (5) o poziomej płaszczyźnie polaryzacji. Następnie światło odbija

⁵ Takie zjawiska będą tematem osobnego artykułu



Rysunek 13. Wyświetlacz (a) suwmiarki elektronicznej i (b) ekranu ciekłokrystalicznego oglądany przez polaryzator o osi równoległej do płaszczyzny polaryzacji światła wychodzącego z wyświetlacza (zdjęcia po lewej) i prostopadłej (zdjęcia po prawej stronie). (c) Ekran ciekłokrystaliczny oglądany przez okulary przeciwsłoneczne z filtrem polaryzacyjnym. Na zdjęciu po lewej stronie oś polaryzatora jest równoległa do płaszczyzny polaryzacji światła wychodzącego z ekranu. Na zdjęciu po prawej stronie oś polaryzatora jest prostopadła do płaszczyzny polaryzacji światła.

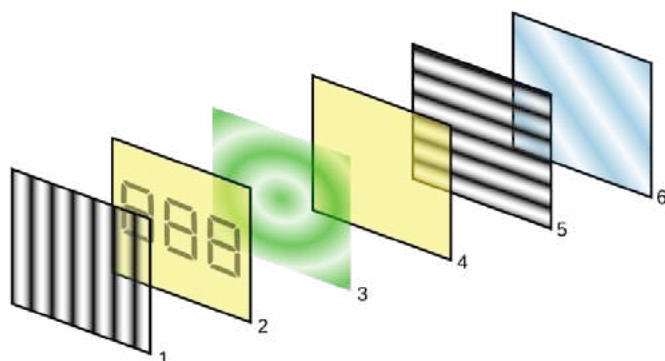
się od lusterka (6). Ponownie przechodzi przez polaryzator (5). Warstwa ciekłego kryształu znowu obraca o 90° płaszczyznę polaryzacji co pozwala na przejście światła przez polaryzator (1).

Przyłożenie napięcia do elektrod powoduje takie ustawienie cząstek ciekłego kryształu, przy którym płaszczy-

zna polaryzacji nie obraca się i światło nie może przejść przez polaryzator (5), a tym samym odbić się od lusterka (6) i pokonać drogę powrotną, aby opuścić wyświetlacz. W efekcie widzimy ciemne obszary segmentów tworzących np. daną cyfrę.

dr Jan Kurzyk

Katedra Fizyki Politechniki Krakowskiej



Rysunek 14. Konstrukcja pasywnego wyświetlacza LCD. 1 – filtr polaryzacyjny pionowy, 2 i 4 – szklane elektrody, 3 – warstwa ciekłego kryształu, 5 – filtr polaryzacyjny poziomy, 6 – lusterko.

Autor: Georg Wiora (Dr. Schorsch) made this SVG-drawing. - Original artwork by en: User:ed_g2s. 256 colour PNG., CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=445074>

LITERATURA

- [1] https://pl.wikipedia.org/wiki/Polaryzacja_fali. [Dostęp 07.01.2025].
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell. [Dostęp 07.01.2025].
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz. [Dostęp 07.01.2025].
- [4] https://pl.wikipedia.org/wiki/Promieniowanie_elektromagnetyczne. [Dostęp 07.01.2025].
- [5] https://sklep.delta.poznan.pl/polaryzacja-fali_11_aid893.html. [Dostęp 07.01.2025].
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Polarizer#Malus'_law_and_other_properties. [Dostęp 07.01.2025].
- [7] <https://openstax.org/books/fizyka-dla-szk%C3%B3%C5%82-wy%C5%BCszych-tom-3/pages/1-7-polaryzacja>. [Dostęp 07.01.2025].
- [8] <https://home.agh.edu.pl/~kakol/efizyka/w28/main28b.html>. [Dostęp 07.01.2025].
- [9] <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31664530>. [Dostęp 07.01.2025].
- [10] <https://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/lekcje/lekcja10/segment4/main.htm>. [Dostęp 07.01.2025].
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Brewster%27s_angle. [Dostęp 07.01.2025].
- [12] https://pl.wikipedia.org/wiki/Filtr_polaryzacyjny. [Dostęp 07.01.2025].
- [13] https://pl.wikipedia.org/wiki/Wy%C5%9Bwietlacz_ciek%C5%82okrystaliczny. [Dostęp 07.01.2025].



Wstęp do fizyki lotu aerodynamicznego

Niemal każdy młody człowiek lubi obserwować latające samoloty, a wielu z nich myślało o wyborze zawodu pilota lub konstruktora lotniczego. Te zainteresowania są naturalną okazją do wyjaśnienia, dlaczego różne obiekty cięższe od powietrza latają i zainteresowania uczniów fizyką.

Stanisław Bednarek

Obiekty latające, stworzone przez człowieka są nazywane ogólnie „statkami powietrznymi”. Taka nazwa jest używana m.in. w Prawie Lotniczym i podręcznikach przeznaczonych do szkolenia personelu lotniczego [1-3]. Statki powietrzne są klasyfikowane według różnych kryteriów, np. obecności załogi na pokładzie podczas lotu. Według tego kryterium wyróżnia się statki załogowe i bezzałogowe. Te drugie są nazywane najczęściej dronami, a ich pełna nazwa w języku polskim to bezzałogowe statki powietrzne (BSP).

Z punktu widzenia fizyki lotu najważniejsze jest kryterium wytwarzania siły, utrzymującej statek w powietrzu. Według tego kryterium wyodrębnia się dwie następujące grupy statków powietrznych:

1. Statodyny, czyli statki lżejsze od powietrza, utrzymujące się w powietrzu dzięki sile wyporu.
2. Aerodyny – są to statki cięższe od powietrza, którym utrzymanie w powietrzu zapewnia składowa siła aerodynamiczna, nazywana siłą nośną.

Dla precyzji tych sformułowań należy wyjaśnić, że potoczne określenie statek „lżejszy od powietrza” jest skrótowym myślowym i może być błędnie rozumiane. Dokładnie rzecz biorąc chodzi tutaj o statek, którego średnia gęstość, wyrażona stosunkiem jego masy do jego objętości, obliczonej na podstawie gabarytów jest mniejsza od gęstości powietrza. Jeżeli ten warunek zostanie spełniony, to wtedy siła wyporu, określona prawem Archimidesa, będzie większa od ciężaru statku i umożliwi jego uniesienie w powietrze [4].

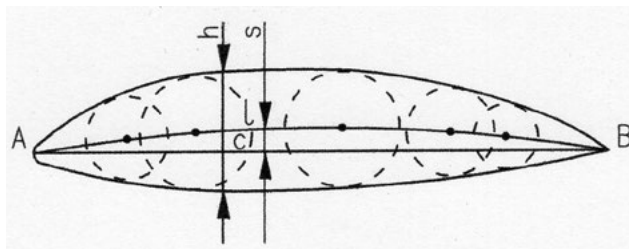
Siła aerodynamiczna może być spowodowana ruchem postępowym całego statku powietrznego, albo ruchem ob-

rotowym jego elementów względem powietrza. Zgodnie z tym aerodyny można podzielić na dwie grupy:

1. Płatowce
2. Wirnikowce

Do płatowców zalicza się samoloty, motoszybowce, szybowce i motolotnie. W tych grupach statków powietrznych siła aerodynamiczna jest wytwarzana prawie w całości na powierzchniach odpowiednio wyprofilowanych skrzydeł, nazywanych też płacami oraz w niewielkim stopniu na powierzchniach kadłuba i stateczników.

Wirnikowce mogą mieć jeden lub więcej wirników, inaczej rotorów. W zależności od liczby wirników wyróżnia się jednowirnikowce i wielowirnikowce, nazywane też multirotorami. Do jednowirnikowców należą śmigłowce, które często nazywa się helikopterami. Wielowirnikowce to przede wszystkim drony i niektóre typy śmigłowców, mające więcej niż jeden wirnik. W przypadku wirnikowców siła aerodynamiczna jest wytwarzana na łopatkach śmigła głównych, które również mają specjalny profil, a czasem też zmienne ustawienie łopat. Pod pewnymi względami śmigła można rozpatrywać, jako obracające się skrzydła.



Rys. 1. Podstawowe elementy geometryczne profilu lotniczego, stanowiącego przekrój poprzeczny płata; A – nosok, B – ostrze, (nosok i ostrze są punktami przecięcia przekroju profilu przez krawędź natarcia i krawędź splywu), c – cięciwa, l – linia szkieletowa, s – strzałka, h – grubość.

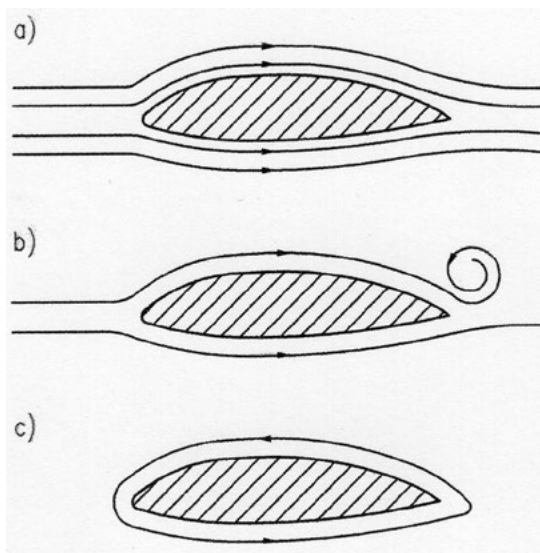
Wytwarzanie siły nośnej

Jak wspomniano wcześniej, siła aerodynamiczna jest wytwarzana na odpowiednio wyprofilowanych powierzchniach skrzydeł albo śmigieł. To wyprofilowanie polega m.in. na tym, że skrzydła mają specjalny kształt w przekroju poprzecznym oraz odpowiedni zarys widziany z góry i od dołu. Typowy kształt przekroju poprzecznego skrzydła, nazywany profilem lotniczym, jest pokazany na rys. 1.

Opracowano wiele kształtów profili lotniczych, ale ich wspólna cecha polega na tym, że odległość między punktami A i B liczona wzdłuż górnej linii profilu jest większa, niż ta odległość wzdłuż linii dolnej [2, 5]. Podczas ruchu skrzydła powietrze napływa na jego przednią krawędź, nazywaną krawędzią natarcia i utworzoną z punktów A, nazywanych noskami. Napływające powietrze rozdziela się na dwie strugi, z których jedna porusza się nad płatem, a druga pod nim (rys. 2). Obie strugi tracą kontakt z powierzchnią płata na krawędzi spływu, znajdującej się na tylnej części płata i utworzonej z punktów B – tzw. nosków.

Bardzo ważnym parametrem jest kąt natarcia α , zawarty między cięciwą płata c oraz jego kierunkiem ruchu. W zależności od fazy ruchu, jego prędkości, kształtu profilu i innych czynników opływ powietrza wokół płata może być laminarny lub turbulentny, czyli wirowy. Podczas opływu laminarnego strugi powietrza nie tworzą wirów (rys. 2.a). Taki opływ zdarza się jednak rzadko. Zwykle już na początku ruchu pojawia się za krawędzią spływu wir rozruchowy (rys. 2.b). Następnie ten wir powiększa się i w ruchu ustalonym obejmuje cały płat (rys. 2.c).

Rozkład ciśnienia podczas opływu płata i działające na niego siły są pokazane na rys. 3. Nadciśnienie powietrza wywierane na dolną powierzchnię płata jest mniejsze, niż podciśnienie na powierzchnię górną, co oznaczają różne długości strzałek [6]. Skutkiem tego na płat działa wypadkowa siła aerodynamiczna R , skierowana ku górze i przyłożona w punkcie nazywanym środkiem ciśnienia.



Rys. 2. Różne warianty opływu płata: a) laminarny, b) z wirem rozruchowym za krawędzią spływu, c) z wirem wokół płata.

Zgodnie z powszechnie przyjmowaną definicją siłę R rozkłada się na składową N zwróconą ku górze, prostopadłą do kierunku ruchu płata i nazywaną siłą nośną oraz na składową F równoległą do kierunku ruchu, zwróconą do niego przeciwnie i nazywaną siłą oporu aerodynamicznego. Oprócz tego na płat działa ciężar jego W oraz siła napędu P , pochodząca od silnika. Podczas ruchu ze stałą prędkością wypadkowa tych sił jest równa zero i zachodzący wtedy lot nazywa się lotem w warunkach ustalonych.

W tym miejscu pojawia się naturalne pytanie, w jaki sposób jest wytwarzana siła nośna N i od czego zależy jej wartość. W niektórych podręcznikach, napisanych ok. 50-60 temu jest podawane wyśnienie, wykorzystujące równanie Bernoulliego [7, 8]. To równanie wyraża zasadę zachowania energii w strudze płynu doskonałego, tzn. cieczy lub gazu, które są nieściśliwe oraz nie mają lepkości. W podręcznikach szkolnych równanie Bernoulliego jest zapisywane w postaci

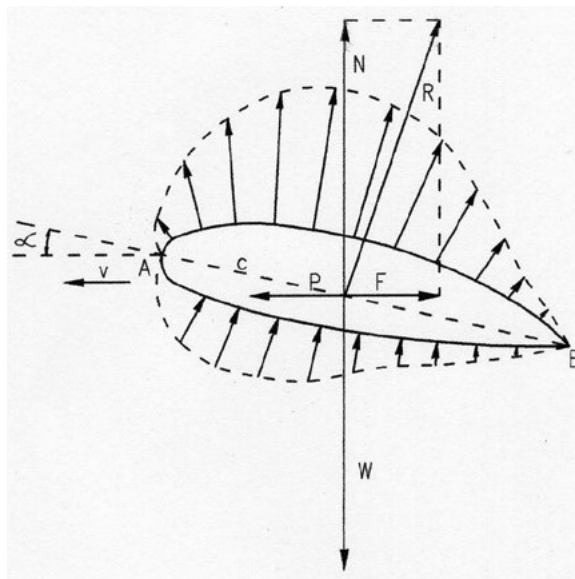
$$p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const.} \quad (1),$$

Znaczenie symboli użytych w równaniu (1) jest następujące:

- p – ciśnienie zewnętrzne wywierane na płyn,
- ρ – gęstość płynu,
- h – wysokość słupa płynu,
- g – przyspieszenie ziemskie,
- v – prędkość płynu.

Drugi składnik w równaniu (1) oznacza ciśnienie hydrostatyczne, wynikające z przepływu płynu między różnymi poziomami, a trzeci składnik to ciśnienie dynamiczne, zależne od prędkości.

Jak napisano wcześniej, odległość między krawędzią natarcia i krawędzią spływu, liczona wzdłuż górnej powierzchni płata jest większa, niż wzdłuż jego dolnej



Rys. 3. Rozkład ciśnienia wokół płata i siły działające na płat w locie ustalonym; R – wypadkowa siła aerodynamiczna, N – siła nośna, F – siła oporu aerodynamicznego, P – siła napędu, W – ciężar, v – prędkość lotu, α – kąt natarcia, A – nosek, B – ostrze, c – cięciwa.

powierzchni. Ponadto przyjmuje się założenie, że strugi powietrza rozdzielone na krawędzi natarcia, a następnie opływające płat od góry i od dołu spotykają na krawędzi spływu. Wynika stąd, iż prędkość strugi powietrza nad płatem v_2 musi być większa, niż prędkość v_1 pod nim. Uwzględniając te założenia i przyjmując, że krawędź natarcia i krawędź spływu znajdują się na tej samej wysokości ($h_1 = h_2$) otrzymuje się z równania (1) różnicę ciśnień pod płatem p_1 i nad nim p_2 , wyrażającą się wzorem

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho(v_1^2 - v_2^2)}{2} \quad (2).$$

Takie wyjaśnienie, oparte na poglądach z lat dwudziestych ubiegłego wieku, kiedy wiedza na temat aerodynamiki dopiero się rozwijała, jest błędne [9-11]. Co prawda, siła nośna wynika z różnicy ciśnień na dolną i górną powierzchnię płata, ale strugi powietrza nie spotykają się jednocześnie na krawędzi spływu, zaś wokół płata zwykle tworzą się wiry. To oznacza, że opływ płata nie jest laminarny, a poza tym powietrze jest ściśliwe i wykazuje lepkość. Mimo tego, niektórzy autorzy publikacji popularnonaukowych nadal próbują w ten sposób wyjaśniać wytwarzanie siły nośnej [12].

Bardziej prawidłowe wyjaśnienie polega na założeniu, że wyprofilowana powierzchnia dolna poruszającego się płata działa pewną siłą skierowaną ukośnie ku dołowi na znajdujące się pod tym płatem masy powietrza. Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki te masy powietrza działają na płat siłą reakcji skierowaną ku górze. Według przyjętej wcześniej definicji, składowa tej siły prostopadła do kierunku ruchu płata stanowi siłę nośną. Taki sposób wyjaśnienia przyjęli m.in. autorzy znanego w wielu krajach podręcznika dla szkół wyższych, dostępnego bezpłatnie w wersji elektronicznej. Oto cytat z tej książki, wyjaśniający wytwarzanie siły nośnej [13]. „Ptaki i samoloty latają, działając na powietrze siłą o zwrocie przeciwnym niż siła reakcji, wpływająca na ich ruch naprzód. Skrzydła ptaków działają na powietrze siłą o kierunku zarówno poziomym, jak i pionowym, aby móc unieść ptaka nad ziemią i spowodować lot do przodu.”

W podręcznikach przeznaczonych do szkolenia osób związanych z lotnictwem są podawane następujące wzory na siłę nośną P_z oraz siłę oporu P_x [5]

$$P_z = \frac{1}{2} \rho S v^2 c_z \quad (3),$$

$$P_x = \frac{1}{2} \rho S v^2 c_x \quad (4),$$

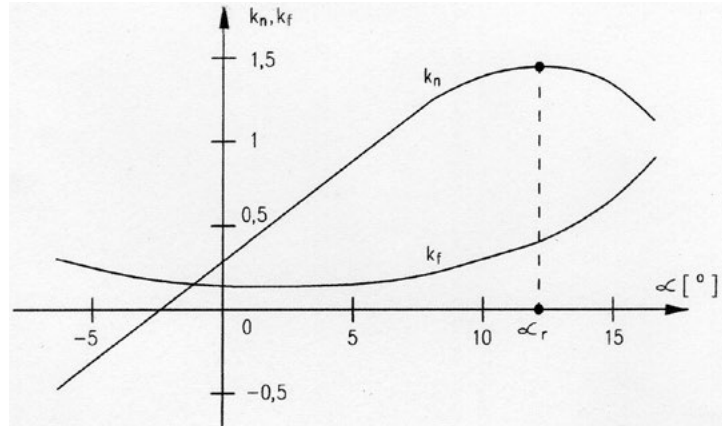
w których:

S – powierzchnia płata,

c_z, c_x – bezwymiarowe współczynniki siły nośnej i siły oporu.

Porównując pęd, który masy powietrza uzyskują w określonym czasie od poruszającego się płata i popęd siły, działającej w tym czasie na płat można wykazać, że ta siła jest wprost proporcjonalna do iloczynu $\rho S v^2$.

Otrzymane iloczyny nie uwzględniają szczegółów związanych m.in. z kształtem płata, czy efektami zachodzącymi na jego brzegach. Dlatego konieczne jest wprowadzenie współczynników c_z, c_x , które dostosowują ogólny wzór do konkretnych warunków. Te współczynniki są wyznaczane doświadczalnie dla danego płata w wyniku pomiarów wykonanych w tunelu aerodynamicznym i zależą od wielu czynników, m.in. od kąta natarcia α . Typowa zależność współczynników c_z, c_x od α jest przedstawiona na wykresach, stanowiących rys. 4.



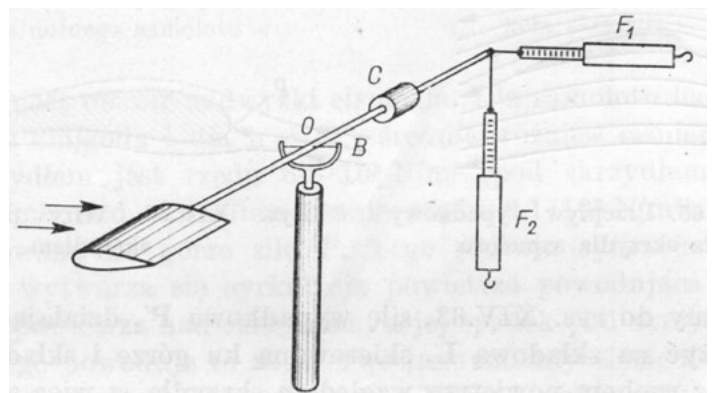
Rys. 4. Przykład typowej zależności współczynników siły nośnej k_n i siły oporu k_f od kąta natarcia α , α_r – krytyczny kąt natarcia.

dzącymi na jego brzegach. Dlatego konieczne jest wprowadzenie współczynników c_z, c_x , które dostosowują ogólny wzór do konkretnych warunków. Te współczynniki są wyznaczane doświadczalnie dla danego płata w wyniku pomiarów wykonanych w tunelu aerodynamicznym i zależą od wielu czynników, m.in. od kąta natarcia α . Typowa zależność współczynników c_z, c_x od α jest przedstawiona na wykresach, stanowiących rys. 4.

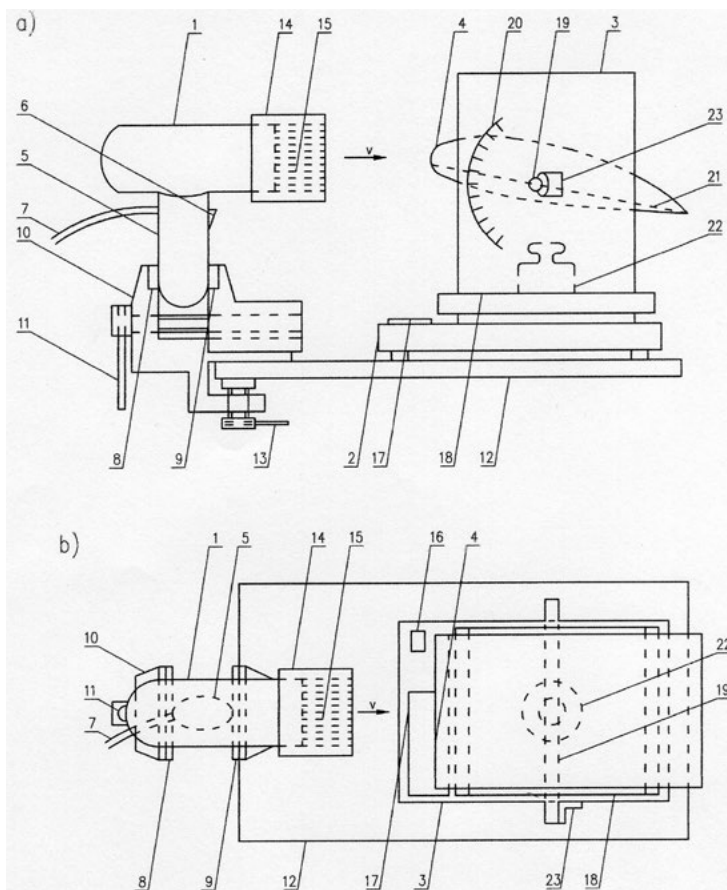
Łatwo zauważyć, że początkowo współczynnik siły nośnej c_z rośnie wraz ze wzrostem α , ale powyżej pewnej wartości tego kąta, nazywanej wartością krytyczną α_r , współczynnik c_z maleje, podczas gdy współczynnik siły oporu c_x wciąż rośnie. Skutkiem tego statek powietrzny zamiast się wznosić traci prędkość i opada. Taka sytuacja zachodzi, gdy pilot za bardzo wychyli drążek sterowy „na siebie” i spowoduje efekt nazywany w żargonie lotniczym. przeciągnięciem. Przy małej wysokości może to doprowadzić do zderzenia z ziemią.

Eksperyment

Wytwarzanie siły nośnej oraz siły oporu można zademonstrować i przeprowadzić ich pomiary, przy użyciu tzw. wagi aerodynamicznej, której schemat przedstawia rys. 5, [6]. Kilkadziesiąt lat temu Fabryki Pomocy Naukowych produkowały takie wagi wraz z dmuchawą i nazywało się to „Przyrząd do wykazywania siły aerodynamicznej”



Rys. 5. Schemat wagi aerodynamicznej; O – os pionowa, B – os pozioma, C – ciężarek, F_1, F_2 – siłomierze do pomiaru siły oporu i siły nośnej, źródło [2].



Rys. 6. Schemat budowy układu doświadczalnego: a) widok z boku, b) widok z góry; 1 – korpus suszarki do włosów 2 – obudowa elektronicznej wagi jubilerskiej, 3 – wspornik, 4 – fragment płyty aerodynamicznej, 5 – rękojeść suszarki, 6 – wyłącznik suszarki, 7 – przewód zasilający, 8, 9 – szczęki imadła, 10 – korpus imadła, 11 – dźwignia przesuwu szczęk, 12 – dźwignia mocowania imadła, 13 – blat stołu, 14 – nasadka, 15 – kawałki rurek od napojów (tzw. słomki), 16 – wyłącznik wagi, 17 – wyświetlacz, 18 – szalka, 19 – oś fragmentu płyty aerodynamicznej, 20 – podziałka kątowa, 21 – cięciwa płyty, 22 – odważnik, 23 – kawałek taśmy klejącej.

[14, 15]. Taki przyrząd był wyposażony w zestaw wymiennych profili aerodynamicznych o różnych kształtach, dwie skale oraz sprężynki połączone z dźwignią i spełniające rolę siłomierzy. Jeżeli w jakiejś szkole taki przyrząd się zachował, to można go wykorzystać do przeprowadzenia wspomnianych pomiarów. Jeżeli nie, to warto zbudować opisany dalej układ z przedmiotów i materiałów codziennego użytku.

Schemat takiego układu jest pokazany na rys. 6, a przykład jego wykonania na fot. 1. Podstawowymi elementami układu są suszarka do włosów 1 i elektroniczna waga jubilerska 2, na której umieszczono samodzielnie wykonany wspornik 3 oraz fragment płyty aerodynamicznej 4. Rękojeść suszarki 5, jest wyposażona w wyłącznik 6 i przewód zasilający 7 oraz została zamocowana między szczękami 8, 9 małego imadła 10 przez delikatne dokręcenie tych szczęk dźwignią 11.

Imadło 10 zamocowano do blatu stołu lub ławki 12, dokręcając dźwignię mocowania imadła 13. Na wylot powietrza z korpusu suszarki 1 wciśnięto nasadkę 14 w postaci kawałka plastikowej rurki o odpowiedniej średnicy, wypełnioną podłużnie skierowanymi kawałkami cienkich



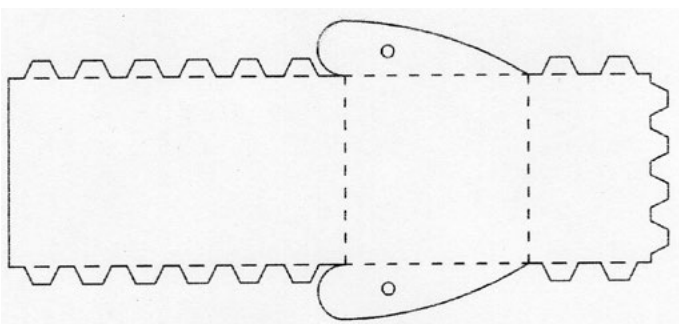
Fot. 1. Przykładowy wygląd układu doświadczalnego (fot. własna).

rurek do picia napojów 15, nazywanych słomkami. Dla zabezpieczenia słomek przed 15 przed wydmuchaniem sklejono je ze sobą oraz z wewnętrzną powierzchnią nasadki klejem epoksydowym. Nasadka 14 wypełniona słomkami 15 jest elementem opcjonalnym, powodującym laminarny wypływ powietrza.

Na blacie stołu 12 ustawiono elektroniczną wagę jubilerską 2 o zakresie ważenia 0-100 g, mającą wyłącznik 16 oraz wyświetlacz wyników 17. Na szalce 18 tej wagi ustawiono wspornik 3 w kształcie litery U. Między ramionami wspornika 3 umieszczono fragment płyty aerodynamicznej 4, przymocowanego do poziomej osi 19, przechodzącej przez ten płat i przez otwory w ramionach wspornika 3. Środek krawędzi natarcia skierowanego poziomo płyty 4 powinien znajdować się na osi nasadki 14.

Do wykonania wspornika 3 użyto prostokątnego kawałka tektury, którego boczne części zagięto ku górze. Płat 4 sklejono z kawałka kartonu wyciętego wg. wzoru pokazanego na rys. 7. Jako oś 19 wykorzystano drewniany patyczek od szaszłyków, przechodzący przez otwory w bocznych ściankach płyty 4 i przyklejony do tych ścianek. Do sklejania płyty 4 oraz osi 19 zastosowano klej polimerowy, którym posmarowano zagięte wypustki wyciętego kawałka kartonu i otwory na oś 19.

Na jednym z ramion wspornika 3 narysowano przy użyciu kątomierza fragment podziałki kątowej 20, mającej zakres $\pm 15^\circ$ (zob. rys. 6), a ponadto na sklejonym płacie 4 zaznaczono cięciwę 21 i krawędź natarcia. Na poziomej części wspornika ustawiono odważnik 22 o masie 50 g. Płat 4 unieruchomiono w pozycji o zerowym kątem



Rys. 7. Wzór do skopiowania na karton, wycięcia i sklejania płyty aerodynamicznej.

natarcia, odczytanym na skali 20, czyli z cięciwą skierowaną poziomo. W tym celu przyklejono oś 19 małym kawałkiem taśmy klejącej 23, łączącej wystający koniec osi 19 z ramieniem wspornika 3. Celem umieszczenia odważnika 22 jest wstępne obciążenie wagi 2 i zabezpieczenie wspornika 3 wraz płatem 4 przed zdmuchnięciem z szalki 18.

Żeby wykazać działanie siły nośnej i przeprowadzić jej pomiary należy najpierw przy wyłączonej suszarce 1 zważyć wspornik 3 wraz z odważnikiem 22, płatem 4 i osią 19. Następnie trzeba włączyć suszarkę 1, jeżeli to możliwe bez ogrzewania powietrza i przy zerowym kącie natarcia α płata 4 powtórzyć ważenie. Okaze się wtedy, że na skutek działania siły nośnej ku górze wynik ważenia będzie mniejszy o kilka gramów.

W przeprowadzonym doświadczeniu z niewielką suszarką, kupioną za ok. 20 zł oraz z płatem o szerokości 6 cm i długości 5,5 cm różnica wynosiła 3,8 g. Po tym suszarkę trzeba wyłączyć, zwiększyć o 2-3° kąt natarcia α , włączyć suszarkę i znów wykonać ważenie. Opisane czynności należy powtórzyć dla kolejnych zmian kąta natarcia α w granicach narysowanej podziałki, zarówno dla dodatnich jak też ujemnych wartości.

Otrzymane różnice mas można przeliczyć na wartości siły, mnożąc je przez wartość przyspieszenia ziemskiego, a następnie wykorzystać do narysowania wykresu, przedstawiającego zależność siły nośnej od kąta natarcia α .

Opisany układ eksperymentalny łatwo daje się dostosować do posiadanych materiałów i warunków. Dla przykładu, zamiast sklejać płat 4 z papieru można go wyciąć ze styropianu, albo z balsy – miękkiego i bardzo lekkiego drewna, używanego przez modelarzy. Suszarkę 1 można zamocować poziomo, jak w przykładzie wykonania pokazanym na fot. 1.

Podsumowując należy zauważyć, że eksperymenty i obliczenia w zakresie aerodynamiki nie należą do

łatwych. Wymagają umiejętnego uwzględnienia wielu czynników i budowy trafnych modeli matematycznych, dobrze opisujących rzeczywiste sytuacje. Użyteczne do tych celów okazują się zastosowanie praw fizyki i komputerów o dużej mocy obliczeniowej. Stawka jest wysoka – bezpieczeństwo nowych statków powietrznych i życie pilotów doświadczalnych. Satysfakcja z udanej konstrukcji też jest ogromna. I może właśnie to powoduje, że na kierunku studiów związane z lotnictwem od lat nie brakuje ambitnych kandydatów.

Stanisław Bednarek,

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Łódzkiego

LITERATURA

- [1] Prawo Lotnicze, ustawa z dn. 3 lipca 2002 r., Dziennik Ustaw 2002, nr 130, poz. 1112, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20021301112>, (dostęp: 5.01 2024 r.).
- [2] W. Wyszywacz, Drony, przepisy, budowa i eksploatacja BSP, loty, meteorologia, nawigacja, pilot, bezpieczeństwo, Wydawnictwo Poligraf, Brzeźnia Łąka 2020.
- [3] E. Mikołajczyk, Pilotaż samolotu od podstaw, Wydawnictwo Stapia, Katowice 2010.
- [4] S. Bednarek, Prawo Archimedeasa w zastosowaniach, „Fizyka w Szkole z Astronomią, Czasopismo dla Nauczycieli”, Nr 1 (390), Roczn. LXV, 2024, s. 33-37.
- [5] W. Łanecka-Makaruk, Mechanika lotu szybowców, szkolenie szybowcowe, Wydawnictwo Stapia, Katowice 2018.
- [6] S. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, część 1, mechanika i akustyka, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1972.
- [7] M. Jeżewski, Fizyka, podręcznik dla wyższych szkół technicznych, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1972.
- [8] M. Skorko, Fizyka podręcznik dla studentów wyższych technicznych studiów zawodowych dla pracujących, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1972.
- [9] Siła nośna, https://pl.wikipedia.org/wiki/Si%C5%82a_no%C5%9Bna, (dostęp: 5.01 2024 r.).
- [10] Lift (force), [https://en.wikipedia.org/wiki/Lift_\(force\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lift_(force)), (dostęp: 5.01 2024 r.).
- [11] G. Grzegorzeczyk, Szanowna Redakcjo, „Wiedza i Życie”, Nr 11 (1079), 2024, s. 78, (list czytelnika).
- [12] A. Holdys, Powszechna siła nacisku, „Wiedza i Życie”, Nr 9, (1077), 2024, s. 58-61.
- [13] S.J. Ling, J. Sanny, W. Moebs, Fizyka dla szkół wyższych, tom 1, Openstax Polska 2018, s. 221, https://openstax.pl/szczegoly-ksiazki?book=Fizyka_dla_szk%C3%B3%C5%82_w_y%C5%BCszych_tom_1, (dostęp: 5.01 2024 r.).
- [14] Katalog pomocy naukowych i sprzętu szkolnego, Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych, Warszawa 1963.
- [15] J. Kowalewski (red.), Katalog pomocy naukowych i sprzętu szkolnego, Zrzeszenie Przemysłu Pomocy Naukowych i Zaopatrzenia Szkół Biofiz, Warszawa 1985.

Spadające części rakiet

Na początku stycznia w Kenii spadł 500 kg pierścien rakiet, a połowie lutego cztery obiekty mogące być częścią rakiety Falcon 9 spadły na terenie Polski. Trzy z tych fragmentów odnaleziono 19 lutego: w Komornikach obiekt spadł na terenie hurtowni sprzętu elektrycznego, w Wirach obiekt znaleziono w lesie, a w Śliwnie obiekt spadł na pole. Z kolei w Szamotułach 21 lutego odnaleziono obiekt na skraju lasu.

Wszystkie obiekty zostały zgłoszone i zabezpieczone przez policję i prokuraturę. Trwa postępowanie w sprawie.

„Zgodnie z informacjami uzyskanymi od firmy SpaceX, właściciela rakiety Falcon 9, potencjalne odłamki rakiety nie stanowią zagrożenia dla ludzi, nie wykazują właściwości radioaktywnych” podała POLSA.

Ewentualne, kolejne fragmenty rakiety mogą być zlokalizowane w pasie o szerokości ok. 100 km przechodzącym przez ponad połowę Polski. „Tak duży obszar wynika

z tego, że elementy rakiety wchodząc w atmosferę mogą zachować się w różny sposób. Tor ich lotu zależy od wielu czynników, m.in.: masy, rozmiaru i kształtu obiektu, orientacji w przestrzeni oraz właściwości fizycznych atmosfery w danym momencie. Określenie miejsca ewentualnego upadku w czasie lotu obiektu nie jest możliwe z dokładnością lepszą niż tysiące kilometrów wzdłuż toru lotu” – podsumowała POLSA.

Jeszcze trudniej przewidzieć, czy szczątki obiektu ulegną całkowitemu spaleni w atmosferze, gdyż nie są dostępne dokładne informacje o materiałach, z jakich zbudowane są takie obiekty. „Obecnie nie ma regulacji międzynarodowych, które obligowałyby instytucje/firmy do podawania takich danych. POLSA będzie postulować na forum międzynarodowym, aby takie regulacje zostały wprowadzone” – czytamy w komunikacie. PAP – Nauka w Polsce



Fizyka i humanistyka

– esej dydaktyczny

Fotó – Adobe Stock

Grzegorz Karwasz, ekonomista

Tradycyjnie dzieli się nauki na ściśle i humanistyczne. Rodzi to zasadnicze trudności we właściwym dowartościowaniu poszczególnych dziedzin naukowych, a także w ocenach osiągnięć oraz kształtowaniu specyficznych paradygmatów. Głosi się „wyższość” jednej z nauk nad innymi. Nie dotyczy to bynajmniej tylko fizyki czy matematyki. „Wyższość” jest szkodliwa, nie tylko dlatego, że deprecjonuje inne nauki niż nasza „własna”, ale szkodzi właśnie tej. Powodów jest kilka.

Przekonanie o jedności metodologicznej wszystkich nauk powinno wynikać przede wszystkim z poszanowania dla innego człowieka – kolegi naukowca, koleżanki w pokoju nauczycielskim, czy choćby ucznia, który ma inne (a może społecznie korzystne jak medycyna) zainteresowania. Bo i filozofia, i fizyka rodzą się w umysłach genetycznie i kulturowo identycznych osób, a ich ewentualne różnice stanowią o bogactwie naszego gatunku, *Homo sapiens*. Poszczególne nauki są wzajemnie zamienialne w umysłach i zainteresowaniach: to edukacja w dużej mierze decyduje o wyborze drogi zawodowej.

Fizykę, tę stworzoną przez Galileusza (Kopernika i Newtona), przywołuje się często jako pierwowzór współczesnej nauki, łączącej teorię z doświadczeniem. Galileusz zaproponował eksperymenty tak pomyślane (i opisane), aby można je powtórzyć w dowolnym miejscu i czasie. Fizyka jest też przykładem nauki doświadczalnej,

abstrahującej od nieistotnych szczegółów: spadanie kulek nie zależy od ich koloru, a Galileusz dodał, że nie zależy również od ich masy. Jedyne, co trzeba pominąć, to opór powietrza. Na „słynne doświadczenie Galileusza pomyślane wiele lat temu” (jak powiedzieli oni sami), powołali się astronauta Apollo, sprawdzając na Księżycu, czy młotek i piórko spadną w tym samym czasie. Włoski noblista (z 2021 roku) Giorgio Parisi cytuje ucznia Galileusza, Evangelistę Torricellego: jeśli kule drewniane, metalowe czy kamienna nie chcą spadać tak, jak im mówimy, tym gorzej dla kul [1].

Rodzi się chęć oparcia i innych nauk, w tym niestety humanistycznych i społecznych, na podobnie izolowanych sytuacjach, jak ma to miejsce w fizyce. Ale różne nauki nie powinny być konkurencyjne, lecz komplementarne. Konkurencja między naukami jest szkodliwa dla ich paradygmatów. Fizykę uważa się za naukę ścisłą, czyli jakoby niezależną od przekonań i opinii pojedynczych naukowców. Nic bardziej mylnego.

Codziennosc fizyki jest pełna przykładów znakomitych, noblowskich prac odrzuconych przez recenzentów z subiektywnych powodów. Przykładów można dać wiele. Albert Einstein otrzymał nagrodę Nobla nie za swoje genialne teorie na miarę tysiąclecia: szczególną ($E = mc^2$) i ogólną („Big Bang”) teorię względności, ale za wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego (emisji elektronów z powierzchni metali pod wpływem światła nadfioletowego). Dość długo czekał na tę nagrodę (do 1921 roku, a praca o efekcie fotoelektrycznym pochodzi z 1905 roku).

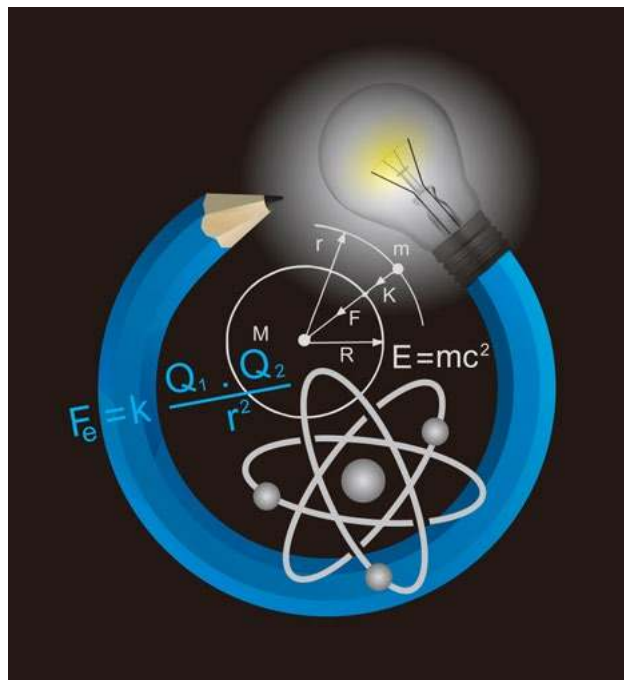
Podobno jeden z członków Komitetu Noblowskiego był do prac Einsteina nastawiony negatywnie.

Prawie 50 lat fizycy poszukiwali cząstki elementarnej, „odpowiedzialnej” za masy innych cząstek – tak zwanego bozonu Higgsa. Nagroda Nobla została przyznana prawie natychmiastowo (2015 r.) po doświadczalnym potwierdzeniu jej istnienia (2012 r.). Oryginalna praca Petera Higgsa została swego czasu (1964 r.) odrzucona przez czasopismo fizyczne.

Fizyka rodzi się w *umysłach* odkrywców, jest więc produktem humanistycznym, a każdy artykuł naukowy (podobnie jak dzieło Kopernika) zaczyna się od cytowania osiągnięć (i przekonań) innych autorów. Poszanowanie tych humanistycznych aspektów fizyki jest więc warunkiem efektywnych działań naukowca. To nie fizyka winna narzucać paradygmaty innym dziedzinom, ale wszystkie nauki winny wzajemnie korzystać ze swych alternatywnych nieco metodologii w równej mierze.

Z drugiej strony potrzebna jest metodologiczna ostrożność. Wybitny włoski pedagog, terapeuta i dydaktyk, Piero Crispiani, współautor naszej nowej książki [2] dokonał swego czasu krytyki nadmiernych zapożyczeń z nauk ścisłych w metodologiach pedagogiki. Pedagogika (a również inne nauki „humanistyczne”, włączając dydaktykę) przejęła od fizyki ściśle matematyczne metody analizy zjawisk społecznych.

Efektywność dydaktyczną przyjęło się mierzyć za pomocą testów: statystycznych porównań w różnych grupach. Nie negując użyteczności tej metodologii, Piero Crispiani wskazuje jednak na jej niebezpieczeństwa. Przede wszystkim szkolna grupa klasowa nie jest izolowanym układem doświadczalnym, jak wiązka cząstek Higgsa w akceleratorze. Klasa szkolna ma swoje zaprzęśle i obecne uwarunkowania społeczne: układ powiązań psychologicznych, nieformalne podziały ról, wspólne doświadczenia.



Ponadto, na grupie klasowej, w odróżnieniu od spadających piłeczek, nie można powtarzać tego samego doświadczenia. Nie można też tego samego działania dydaktycznego przenieść bez zmian do innych kontekstów kulturowych. Po trzecie, zasadniczą rolą nauk społecznych (w tym ekonomii) nie jest wyjaśnianie zjawisk, ale ich *przewidywanie*. A po czwarte, i najważniejsze, nauki społeczne mają za przedmiot badania żywą społeczność zbiorowisk człowieka i jakiegokolwiek niewłaściwe wnioski mogą rzutować na globalne losy ludzkości. Wpływ błędnych wskazówek nauk społecznych zbyt często obserwowaliśmy w historii ludzkości. Tyle Piero Crispiani. Warto się z nim zgodzić, również dla metodologii dydaktyki.

Konieczność współdziałania poszczególnych nauk jest szczególnie istotna w edukacji: wzajemna rywalizacja nauczycieli różnych przedmiotów jest szkodliwa dla danej szkoły jako całości, niezależnie do tego, czy taka rywalizacja wynika z pozytywnych, czy negatywnych etycznie pobudek. Nauczyciele różnych przedmiotów powinni więc znać (i szanować) dorobek innych nauk, w stopniu niewiele mniejszym niż własną dziedzinę.

Podobnie szkodliwa jak brak poszanowania/zainteresowania innymi dziedzinami jest nadmierna fascynacja własnym przedmiotem, bez umiejętności oceny jego ograniczeń i niepewności naukowych. Przykładów można dać wiele. Dla autora drogą do fizyki, jako zawodu naukowego, była fascynacja astronomią: prawa Keplera odkryte „na własne oczy” dzięki lekturze książki wskazanej przez mądrą bibliotekarkę szkolną. Piękno i prostota tych praw jest porażająca. To z kolei zrodziło zainteresowanie samodzielnymi obserwacjami astronomicznymi. Autor jest więc daleki od niedoceniań astronomii w edukacji dzieci i młodzieży, zob. cieszącą się sporym zainteresowaniem książkę „Mały astronom” [3]. Ale nadmierna fascynacja prowadzi do edukacyjnej alienacji.

To, co winno być wspólne, a jednocześnie prowadzić do szerokiego zainteresowania, czyli – cytując Immanuela Kanta – „gwiazdziste niebo nad głową”, jest kompletnie niedostrzegane przez większość dorosłych obywateli. W dużej mierze należy obarczyć za ten brak zainteresowania astronomią (obserwacyjną, bo o czarnych dziurach słyszeli wszyscy z TV) niejaką hermetyczność „zawodowych” pasjonatów tej nauki.

Reasumując, świadomość jedności intelektualnej wszystkich nauk, a jednocześnie ich zróżnicowania metodologicznego, jest jedną z podstaw dydaktyki kognitywistycznej: pozwala ona nauczycielowi wykorzystywać całe bogactwo różnych podejść dydaktycznych, tak aby indywidualnie trafić do „czarnej skrzynki” umysłu każdego ucznia. A dla fizyki, jako przedmiotu szkolnego – poszukiwanie jedności metodologicznych różnych nauk jest szansą na przełamanie bariery, wznoszonej niekiedy przez inne dziedziny.

LITERATURA

- [1] G. Parisi, *Taniec szpaków. Cuda systemów złożonych*, Wyd. Zysk i S-ka, Poznań 2022.
- [2] P. Crispiani, B. Siemieniecki, G. Karwasz, *Dydaktyka kognitywistyczna*, Wyd. Nauk. UMK, 2024.
- [3] G. Karwasz, *Mały astronom. Przewodnik dla dzieci*, Publicat, Poznań 2016, 2021.

Roger Penrose

– badacz czarnych dziur i kafelkowania

Edward Rydygier

„Czarne dziury” stanowią aktualny temat w popularyzacji nauki, szczególnie kosmologii, ale też wykorzystywane są w książkach i filmach *science-fiction*. Tematykę czarnych dziur (w jęz. ang. *Black holes*) przybliżali czytelnikom w swojej działalności popularyzatorskiej najwybitniejsi uczeni, jak Einstein, Hawking, czy Penrose, którzy sami badali te obiekty teoretycznie na podstawie równań ogólnej teorii względności, a profesor Roger Penrose nawet otrzymał Nagrodę Nobla (w 2020 roku) za badania teoretyczne nad czarnymi dziurami.

Nobliście Penrose’owi jako oryginalnemu popularyzatorowi nauki został poświęcony artykuł w ostatnim w 2024 roku numerze „Fizyki w Szkole z Astronomią”. Czas na przybliżenie czytelnikom badań przedmiotowych wielkiego uczonego w zakresie fizyki teoretycznej, kosmologii, a także matematyki.

Nobel 2020 z fizyki

Roger Penrose otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki w 2020 roku za wykazanie dzięki opracowanemu przez siebie modelowi matematycznemu, że powstawanie czarnych dziur, a także Wielki Wybuch, można wyznaczyć z równań ogólnej teorii względności Alberta Einsteina.

Wraz z Rogerem Penrose’em Nagrody Nobla z fizyki w 2020 r. otrzymało dwoje badaczy astrofizyków Reinhard Genzel i Andrea Ghez. Wszyscy trzej uczeni zostali



Rys. 1. Sir Roger Penrose. Źródło: Wikipedia

nagrodzeni za odkrycia dotyczące jednego z najbardziej tajemniczych zjawisk we Wszechświecie, jakim są czarne dziury, z tym, że Robert Penrose został uhonorowany za badania teoretyczne (pół nagrody), a dwoje pozostałych uczonych za odkrycia obserwacyjne (druga połowa nagrody). Reinhard Genzel (urodzony w 1952 r.), astrofizyk, dyrektor Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik w Garching oraz profesor Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley i Andrea Ghez, astrofizyka, profesor Uniwersytetu Kalifornijskiego w Los Angeles (UCLA), od prawie 30 lat obserwują obiekt kosmiczny na Drodze Mlecznej znany jako Sagittarius A*, który jest bardzo zwarty i masywny. Masę Sagittarius A* ocenia się na prawie cztery mln mas Słońca. Już 30 lat temu astronomowie obserwowali wiele obiektów, które można było interpretować jako czarne dziury, ale przypadek Sagittarius A* jest najmniej wątpliwy.

Obserwacje tego rejonu w centrum Drogi Mlecznej, w którym znajduje się domniemana czarna dziura są trudne, a precyzja oszacowania masy stała się możliwa dopiero dzięki odkryciu gwiazdnych satelitów Sagittarius A*. Należy podkreślić, że prof. Andrea Mia Ghez z UCLA, doktor *honoris causa* Uniwersytetu Oksfordzkiego i członek Narodowej Akademii Nauk USA, jest czwartą kobietą w historii, która otrzymała Nagrodę Nobla za odkrycia w dziedzinie nauk fizycznych.

Roger Penrose – kosmolog

Prof. Roger Penrose to znany brytyjski fizyk teoretyk i matematyk, profesor Uniwersytetu Oksfordzkiego (obecnie emerytowany), który wraz ze Stephenem Hawkingiem udowodnił twierdzenie o osobliwościach w ogólnej teorii względności Alberta Einsteina (1879-1955). Twierdzenie to również nazywane jest twierdzeniem Hawkinga-Penrose’a. Pracę nad nim rozpoczął jednak Penrose, potem dołączył do niego słynny brytyjski fizyk teoretyk Stephen Hawking (1942-2018).

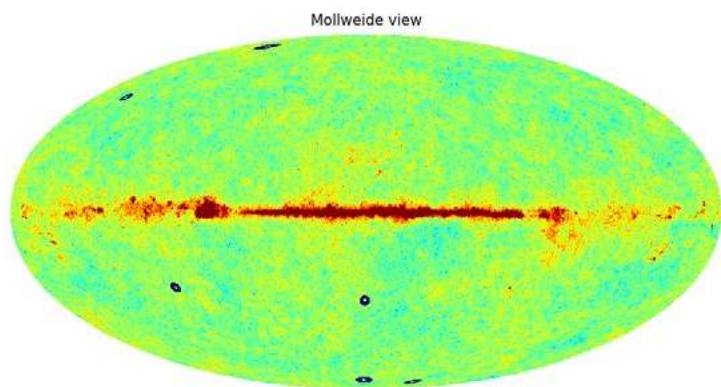
Roger Penrose urodził się 8 sierpnia 1931 r. w Colchesterze w Anglii, w hrabstwie Essex, najstarszym mieście w Wielkiej Brytanii powstałym jeszcze w Imperium Rzymskim. Kształcił się w Uniwersytecie w Cambridge i w University College w Londynie. Jest emerytowanym profesorem matematyki na Uniwersytecie Oksfordzkim, od 1972 roku jest członkiem brytyjskiego Towarzystwa Kró-



Rys. 2. Reinhard Genzel. Źródło: Wikipedia



Rys. 3. Andrea Ghez. Źródło: Wikipedia.



Rys. 4. Punkty Hawkinga na mapie mikrofalowego promieniowania tła. Źródło: Uniwersytet Oksfordzki

lewskiego (*Royal Society*). Jego specjalności naukowe to teoria względności i grawitacji, w tym kwantowanie grawitacji i kosmologia teoretyczna. Jest autorem twierdzenia o uwięzieniu w ruchu po hiperpowierzchni w przestrzeni fazowej. W zakresie teorii grawitacji sformułował hipotezę kosmicznego cenzora o nieistnieniu nagich osobliwości czasoprzestrzennych. W fizyce teoretycznej zasłużył się głównie dzięki próbom sformułowania kwantowej grawitacji (teorii w całości jeszcze nieistniejącej) za pomocą teorii twistorów. W 2006 roku stworzył konforemą kosmologię cykliczną (ang. *Conformal Cyclic Cosmology*, w skrócie CCC) będącą modelem kosmologicznym w ramach ogólnej teorii względności, według którego obecny Wszechświat jest tylko pojedynczym ogniwem w całym łańcuchu eonów (kolejnych wszechświatów). Prof. Penrose uważa, że w obecnym Wszechświecie mogą potencjalnie istnieć ślady pozostałości po Wszechświecie sprzed Wielkiego Wybuchu. Takimi dowodami mogą być tzw. punkty Hawkinga, tj. miejsca na mapie mikrofalowego promieniowania tła, które są gorętsze od całego otoczenia. Wg Penrose'a mogą to być miejsca ogrzane przez promieniowanie supermasywnych czarnych dziur z poprzedniego Wszechświata.

Prof. Penrose zajmuje się również filozofią matematyki i filozofią umysłu. Bronił platonizmu matematycznego oraz nieobliczalności ludzkiego rozumowania. Za osiągnięcia naukowe Roger Penrose otrzymał brytyjski Royal Society Medal (1985), nagrodę Fundacji Wolfa w dziedzinie fizyki (1988), brytyjski Order Zasługi (2000), Medal Copleya (2008), a także Krzyż Komandorski Orderu Zasługi Rzeczypospolitej Polskiej (2016). Ponadto otrzymał Medal Diraca, Eddington Medal of the Royal Astronomical Society, Nagrodę Albeta Einsteina, Medal Towarzystwa Alberta Einsteina. Należy podkreślić, że Penrose to jedna z tylko dwóch osób, obok Lorda Rayleigha, które otrzymały najpierw Medal Copleya, a potem Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki. W 1994 r. Królowa Brytyjska za zasługi dla nauki nadała Penrose'owi tytuł szlachecki Lorda, dlatego ma on prawo do używania przed nazwiskiem tytułu „Sir.”

Czym jest Czarna dziura?

Noble z fizyki przyznane w 2020 r. dotyczyły odkrycia obiektów w Kosmosie zwanych czarnymi dziurami. Czar-

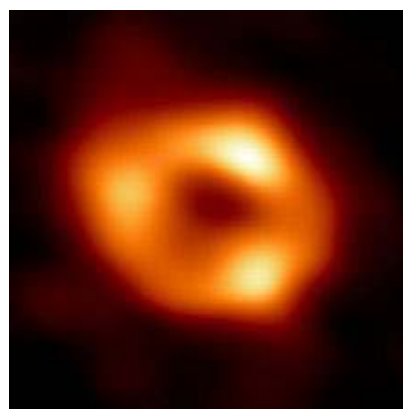
ną dziurą, przewidzianą przez ogólną teorię względności, jest nazywany obszar czasoprzestrzeni, którego z uwagi na wpływ grawitacji nic - łącznie ze światłem i informacją - nie może opuścić. Do jej powstania niezbędne jest nagromadzenie dostatecznie dużej masy w odpowiednio małej objętości. Czarną dziurę otacza powierzchnia nazywana horyzontem zdarzeń, która wyznacza granicę bez powrotu.

Termin „czarna dziura”, odnosi się do całkowitego pochłaniania światła trafiającego w horyzont nie odbijając niczego w analogii do ciała doskonale czarnego w termodynamice. Z kwantowej teorii pola wynika jednak, że czarne dziury emitują promieniowanie tak jak ciało doskonale czarne o niezerowej temperaturze. Temperatura ta jest odwrotnie proporcjonalna do masy czarnej dziury, co sprawia, że bardzo trudno je zaobserwować, zwłaszcza w przypadku czarnych dziur o masie gwiazdowej bądź większych.

Czarne dziury o masie gwiazdowej formują się w wyniku zapadania grawitacyjnego bardzo masywnych gwiazd pod koniec cyklu ich życia. Inną kategorią są supermasywne czarne dziury o masach przekraczających miliony mas Słońca. Astronomowie przypuszczają, że takie czarne dziury znajdują się w centrach większości galaktyk, a w szczególności istnieją przekonujące dowody na istnienie czarnej dziury o masie około 4 milionów mas Słońca w centrum Drogi Mlecznej. Wyróżnia się też czarne dziury o masie pośredniej (między gwiazdowymi i supermasywnymi), a najcięższe czarne dziury nazywane są ultramasywnymi.

Czarnych dziur nie można obserwować bezpośrednio, dlatego o ich obecności wnioskuje się na podstawie ich oddziaływania z otaczającą materią oraz światłem i innymi rodzajami promieniowania elektromagnetycznego. Przykładowo, opadająca na powierzchnię czarnej dziury materia może uformować dysk akrecyjny generujący promieniowanie elektromagnetyczne na skutek tarcia, jonizacji i silnego przyspieszenia wchłanianych cząstek. Część zjonizowanej materii dysku pod działaniem jego pola elektromagnetycznego może uciekać w kierunkach osi obrotu tworząc ogromne dżety (w jęz. ang. *Jets*).

Supermasywne czarne dziury w centrach galaktyk, wokół których zachodzi proces akrecji (opadania materii na powierzchnię ciała niebieskiego w wyniku działania



Rys. 5. Obraz obiektu Sagittarius A* w centrum Drogi Mlecznej z Teleskopu Horyzontu Zdarzeń. Źródło: Wikipedia

grawitacji) powodują ich bardzo silne świecenie, stąd też obiekty zawierające czarne dziury mogą należeć do najjaśniejszych we Wszechświecie. 10 kwietnia 2019 roku opublikowano pierwsze w historii zdjęcie ukazujące cień czarnej dziury w centrum galaktyki M87.

Wiele obiektów spełniających warunki czarnych dziur o masie gwiazdowej udało się zidentyfikować w systemach podwójnych. W niektórych przypadkach po ustaleniu masy i położenia niewidzialnego towarzysza gwiazdy okazywało się, że tym obiektem jest czarna dziura. Według obliczeń opublikowanych w 2022 roku w obserwowanym Wszechświecie znajduje się około 40 trylionów czarnych dziur pochodzenia gwiazdowego. Wynika z tego, że około 1% zwykłej, czyli barionowej materii Wszechświata znajduje się w gwiazdowych czarnych dziurach.

W 1939 roku późniejszy ojciec bomby atomowej Robert Oppenheimer (1904-1962) wraz ze swoim studentem Hartlandem Snyderem (1913-1962) wykazali, że masywna gwiazda może ulec kolapsowi (zapadnięciu) grawitacyjnemu. Taki obiekt nazywali „zamrożoną gwiazdą” (w jęz. ang. *Frozenstar*) ponieważ dla dalekiego obserwatora kolaps będzie zwalniał. Kolaps gwiazdy prowadzi do wybuchu, który jest przyczyną rozbłysku supernowej. Idea ta nie wywołała wówczas dużego zainteresowania aż do lat 60' XX w. Zainteresowanie nią wzrosło po odkryciu pulsarów w 1967 roku, ale dopiero w 1969 roku amerykański fizyk teoretyk John Archibald Wheeler (1911-2008) zaproponował nazwę „Czarna dziura”.

Czarne dziury a ogólna teoria względności

Ideę, że może istnieć tak masywne ciało, z którego nawet światło nie może uciec, postulował angielski fizyk, astronom i geolog (a także duchowny anglikański) John Michell (1724-1793) w roku 1783, w pracy przesłanej do Royal Society. W tym czasie znana była teoria grawitacji Isaaca Newtona (1642-1727) i pojęcie prędkości ucieczki (minimalnej prędkości początkowej, jaką musi posiadać obiekt, aby mógł opuścić pole grawitacyjne danego ciała niebieskiego), obecnie zwana drugą prędkością kosmiczną. Michell uważał, że w Kosmosie może istnieć wiele bardzo masywnych obiektów. W roku 1796 francuski matematyk, fizyk i astronom Pierre Simon de Laplace (1749-1827) przedstawił tę samą ideę co Michell w książce zatytułowanej *Exposition du Systeme du Monde* („Wystawa systemów świata”), ale w późniejszych wydaniach idea ta nie była zamieszczana. Pomysł istnienia w Kosmosie masywnych obiektów pochłaniających światło nie cieszył się dużym zainteresowaniem w XIX wieku, ponieważ wówczas światło uważano za bezmasową falę niepodlegającą oddziaływaniu grawitacyjnemu.

Niedługo po opublikowaniu w 1905 roku szczególnej teorii względności, Albert Einstein zaczął rozważać wpływ grawitacji na światło. Najpierw wykazał, że grawitacja oddziałuje na propagację fal elektromagnetycznych, a w 1915 roku sformułował ogólną teorię względności, w której grawitacja jest opisywana przez zakrzywienie czasoprzestrzeni. W tej zakrzywionej czasoprzestrzeni ciała poruszają się po torach, które są liniami o ekstremalnej (najmniejszej lub największej) długości spośród

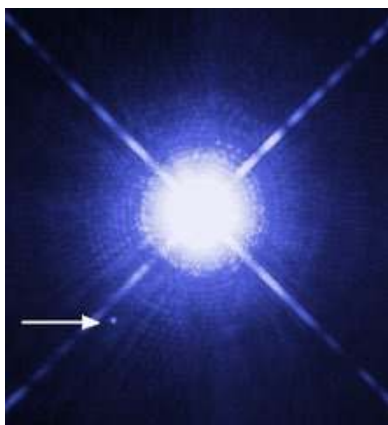
wszystkich możliwych łuków łączących zadane punkty. Linie takie są nazywane geodezyjnymi. Obliczanie długości należy przeprowadzać w pełnej przestrzeni czterowymiarowej (czasoprzestrzeni), posługując się zależnym od grawitacji tensorem metrycznym, natomiast przez długość linii należy rozumieć sumę interwałów czasoprzestrzennych wzdłuż toru cząstki. W formalizmie ogólnej teorii względności można opisać obiekty nazwane później czarnymi dziurami, gdyż w skrajnych przypadkach oddziaływanie grawitacyjne może być tak duże, że wszystkie linie geodezyjne wokół danego ciała są liniami zamkniętymi. Żadna z nich nie wychodzi poza pewien ograniczony fragment objętości przestrzeni zwany horyzontem zdarzeń. Czarna dziura jest obiektem, który znajduje się wewnątrz własnego horyzontu zdarzeń.

Z czarnej dziury nic nie może się wydostać, bo wszystkie drogi ucieczki prowadzą z powrotem do środka. W przypadku czarnej dziury uwięziona jest nie tylko materia, ale i światło, które zawsze porusza się po liniach geodezyjnych. Co więcej, ogromne zakrzywienie czasoprzestrzeni spowalnia upływ czasu tak, że na zewnętrznej powierzchni czarnej dziury zanika upływ czasu.

W 1915 roku niemiecki fizyk i astronom Karl Schwarzschild (1873-1916) wyznaczył rozwiązanie równań ogólnej teorii względności opisujące obiekt mający postać masy skupionej w jednym punkcie, który bardzo silnie odkształca czasoprzestrzeń. O wynikach swoich badań Schwarzschild poinformował pisemnie Einsteina w Berlinie, który przedstawił je Pruskiej Akademii Nauk. Następnie Schwarzschild zajął się rozwiązaniami dla ciała kulistego i wyznaczył zakrzywienie w punkcie położonym wewnątrz ciała, znane jako rozwiązanie „wewnętrzne”. To rozwiązanie ma zastosowanie na przykład do opisu wnętrza gwiazdy. W lutym 1916 roku Schwarzschild przesłał Einsteinowi także to drugie rozwiązanie i nadal pracował nad matematycznym opisem ogólnej teorii względności mimo ciężkiej choroby skóry zwanej pęcherzycą, której nabawił się na froncie i wskutek tej choroby zmarł w maju 1916 r.

Rozwiązanie Schwarzschilda było pod wieloma względami kłopotliwe, gdyż zawierało osobliwość, to jest takie miejsce, w którym rozwiązanie dąży do nieskończoności, a teoria przestaje mieć zastosowanie. Schwarzschild wykazał, że w teorii Einsteina osobliwość powstaje w miejscu, w którym skupiona jest masa punktowa, ale jej wpływ rozciąga się dalej na obszar o niewielkim promieniu, którego wielkość zależy od rozpatrywanej masy punktowej. Schwarzschild obliczył promień, w którym ten obszar w przypadku Słońca się zaczyna otrzymując wartość 3 kilometrów. Promień ten obecnie nazywany jest promieniem grawitacyjnym lub promieniem Schwarzschilda. Sam Schwarzschild uważał go za konstrukcję matematyczną, niefizyczną.

W roku 1931 indyjsko-amerykański astrofizyk, noblista z 1983 roku Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995), na przykładzie gwiazdy typu „biały karzeł” (w jęz. ang. *White dwarf*) wykazał, że powyżej pewnej granicznej masy nic nie jest w stanie powstrzymać kolapsu gwiazdy. Przeciwny takim tezom był brytyjski astronom i astrofizyk teoretyk Arthur Eddington (1882-1944), który był



Rys. 6. Gwiazda podwójna Syriusz z zaznaczonym strzałką pulsarem Syriusz B.
Źródło: Wikipedia

przekonany, że powinna istnieć fizyczna przyczyna, która zatrzyma kolaps gwiazdy.

Chandrasekhar jest znany z tego, że w 1930 roku wprowadził wzór na masę maksymalną białego karła i obliczył, że jest ona rzędu 1,2-1,4 masy Słońca. Motywem podjęcia badań było dociekanie, co się dzieje, gdy gwiazdom skończy się paliwo do syntezy jądrowej. Gdy to paliwo się wyczerpuje, gwiazda nie może już oprzeć się sile oddziaływania grawitacyjnego. Podczas, gdy zewnętrzne warstwy gwiazdy są zrzucane, jej rdzeń szybko się kurczy, zostawiając pozostałości, których charakter zależy od masy całej gwiazdy.

Dla rdzeni gwiazd o masie mniejszej niż jedna i cztery dziesiąte masy Słońca, kolaps grawitacyjny zostanie zahamowany przez efekty kwantowe. Granica ta stała się znana jako limit Chandrasekhara. Każda gwiazda o rozmiarze poniżej tego limitu zakończy swoje istnienie jako tzw. biały karzeł. W 1983 roku uczony otrzymał za swoje badania Nagrodę Nobla z fizyki, co definitywnie dowiodło, że Eddington mylił się uznając za fałszywe obliczenia przyszłego noblisty.

Należy przypomnieć, że Eddington interesował się obserwacyjną weryfikacją ogólnej teorii względności. Zorganizował wyprawę na Wyspę Książęcą, leżącą u wybrzeży Afryki Zachodniej, w celu obserwacji całkowitego zaćmienia Słońca w dniu 29 maja 1919 roku. W czasie zaćmienia wykonał pomiary pozycji gwiazd w otoczeniu Słońca i stwierdził, że pozycje te uległy przesunięciu zgodnie z przewidywaniem ogólnej teorii względności na skutek ugięcia promienia światła w polu grawitacyjnym.

Jak wspomniano wyżej, w 1939 roku Oppenheimer i Snyder opierając się na ogólnej teorii względności wykazali, że masywna gwiazda może ulec kolapsowi grawitacyjnemu. W tym samym czasie, twórca ogólnej teorii względności Albert Einstein finalizował obliczenia mające na celu wykazanie, że czarne dziury nie mogą istnieć, gdyż nie jest możliwe naturalne powstawanie ciemnych gwiazd (w jez. ang. *Black stars*). Założył, że zbiorowisko wirujących cząstek wewnątrz powstającej gwiazdy nigdy nie zapadnie się do rozmiarów mniejszych niż promień Schwarzschilda, a zatem niemożliwe jest powstanie czarnych dziur, gdyż aby zmniejszyć rozmiar obłoku do

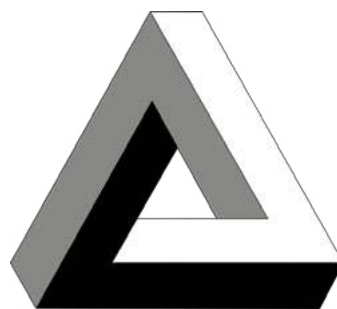
rozmiaru mniejszego niż 1,5 promienia Schwarzschilda, cząstki musiałyby poruszać się szybciej od prędkości światła. Tymczasem Oppenheimer ze Snyderem wykazali jednak, że czarne dziury mogą powstać w wyniku zapadnięcia się starej gwiazdy, która uległa implozji pod wpływem działania własnej grawitacji.

Roger Penrose a polska nauka

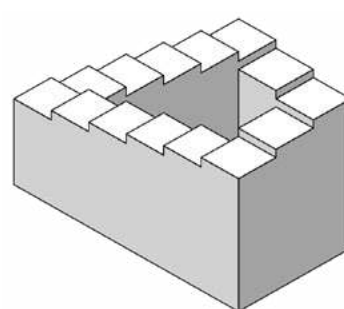
Roger Penrose wielokrotnie przyjeżdżał z otwartymi wykładami do Polski. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Relatywistycznego, a od 1994 r. jest zagranicznym członkiem Polskiej Akademii Nauk. Został odznaczony Krzyżem Komandorskim Orderu Zasługi RP za wybitne osiągnięcia naukowe w dziedzinie fizyki oraz za rozwijanie polsko-brytyjskiej współpracy naukowej. 30 sierpnia 2005 r. Roger Penrose wygłosił na Wydziale Fizyki UW (w starej, historycznej siedzibie przy ul. Hożej 69) wykład pod tytułem *Moda, wiara i fantazja w nowoczesnych teoriach fizycznych*. Następny wykład na Uniwersytecie Warszawskim Penrose wygłosił dopiero po 15-tu latach w dniu 8 grudnia 2016 r. na Wydziale Fizyki w nowej siedzibie (przy ul. Pasteura 5). Był to wykład z serii „Zapytaj fizyka” zatytułowany *Fashion, faith, and fantasy in the new physics of the Universe* („Moda, wiara i fantazja w nowej fizyce Wszechświata”). Oprócz Wydziału Fizyki UW, Roger Penrose wygłosił wykłady w Centrum Nauki Kopernik w Warszawie i w Centrum Badań Interdyscyplinarnych przy Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie. W 2005 r. Roger Penrose uzyskał tytuł doktora *honoris causa* Uniwersytetu Warszawskiego. We wniosku Wydziału Fizyki UW o nadanie tego tytułu podkreślono, że ten wybitny uczony jest przyjacielem Uniwersytetu Warszawskiego, przy jego współpracy i współudziale na Wydziale Fizyki powstało wiele prac doktorskich.

Dorobek Penrose’a w matematyce

Roger Penrose ma wkład naukowy także w obszarze matematyki. Jest pomysłodawcą tzw. „figur niemożliwych”. Na podstawie jego pomysłów powstało kilka znanych grafik Mauritsa Corneliusa Eschera (1898-1972), holenderskiego malarza i grafika, przedstawiciela op-artu, twórcy obrazów inspirowanych matematyką, które często przedstawiają iluzje optyczne. Jedną z takich figur niemożliwych (której konstrukcja jest niemożliwa z powodów topologicznych) jest „Trójkąt Penrose’a”, figura pierwotnie wymyślona przez szwedzkiego grafika Oscara



Rys. 7. Trójkąt Penrose’a. Źródło: Wikipedia



Rys. 8. Schody Penrose’a. Źródło: Wikipedia

Reutersvårda (1915–2002) w 1936 roku. Penrose niezależnie odkrył ją i spopularyzował w latach 50' XX w.

Trójkąt Penrose'a (trybar) to obiekt utworzony z trzech równych belek o kwadratowym przekroju, których końce są połączone, tworząc kąty proste, a cała figura ma kształt trójkątny. Belki mogą być od siebie oddzielone jako sześciiany lub prostopadłościanny i jedynie ułożone w kształt Trójkąta Penrose'a. Inną figurą niemożliwą stworzoną przez uczonego są „Schody Penrose'a”, zwane też „niemożliwymi schodami” lub „niekończącymi się schodami”. Figura ta opiera się na „Trójkącie Penrose'a” i podobnie została stworzona niezależnie przez szwedzkiego artystę Reutersvårda w 1937 roku. Penrose stworzył ją niezależnie razem ze swoim ojcem, brytyjskim lekarzem i matematykiem Lionelem Penrose (1898–1972) w 1958 roku.

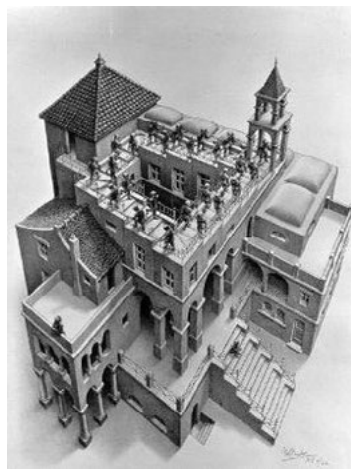
Schody Penrose to dwuwymiarowy obraz klatki schodowej na planie prostokąta: schody zakręcają cztery razy pod kątem 90 stopni, biegną w górę i w dół, a jednocześnie tworzą ciągłą pętlę, dzięki temu powstaje wrażenie, że człowiek może się na nie wspiąć bez końca i nigdy nie wejść na wyższe piętro, co nie jest możliwe w świecie trójwymiarowym.

Wspomniany wyżej znany grafik Escher zainspirowany zamieszczonym w czasopiśmie medycznym rysunkiem Penrose'a „niemożliwych schodów” stworzył w 1960 r. litografię „Wchodzenie i schodzenie”, a w rok później litografię „Wodospad”.

W matematyce oprócz figur niemożliwych, Penrose jest znany jako twórca specyficznego parkietażu (zwanego też teselacją czy kafelkowaniem, ang. *tessellation, tiling*), który pokrywa płaszczyznę w sposób nieokresowy za pomocą jedynie dwu rodzajów figur geometrycznych zwanych kafelkami bez zachodzenia i dziur. Istnieje wiele sposobów ułożenia parkietażu nieokresowego ze względu na przesunięcia, tzn. takiego, że po dowolnie wybranym przesunięciu wzór nigdy nie nałoży się na siebie. Niemniej jednak, jeśli wybrać dowolny obszar ograniczony, wzór z tego obszaru będzie odtworzony nieskończenie wiele razy w całym (nieograniczonym) parkietażu.

Pokrycie płaszczyzny w sposób nieokresowy zostało udowodnione w 1966 roku przez amerykańskiego matematyka Roberta Bergera (ur. 1938 r.), który podał konkretny sposób takiego pokrycia. Parkietaż Bergera zawierał aż 20426 kafelków różnych kształtów. Inni badacze stopniowo redukowali liczbę potrzebnych kafelków aż do osiągnięcia prostego parkietażu Penrose'a (w 1973 r.), który wymaga kafelków o dwóch kształtach stanowiących dwa rodzaje rombów, zwanych popularnie „łatawcami i strzałkami”. Penrose uważa, że pozornie nieistotny problem, jakim jest pokrycie płaszczyzny przystającymi kafelkami (płytkami) stanowi obszar badań poważnych zagadnień matematycznych:

„Jest zastanawiające, że tak pozornie trywialna dziedzina matematyki, jak problem pokrycia płaszczyzny przystającymi płytkami – co można niemal uznać za dzieciinną zabawę – w istocie należy do matematyki nierekurencyjnej. W rzeczywistości mamy tu do czynienia z wieloma trudnymi i nierozstrzygniętymi problemami. Nie wiadomo na przykład, czy istnieje nieokresowy zbiór płytek składający się z jednego elementu” (por. R. Penrose, *Nowy umysł cesarza*, PWN, Warszawa, 1996).



Rys. 9. Litografia Eschera „Wchodzenie i schodzenie”. Źródło: Wikipedia

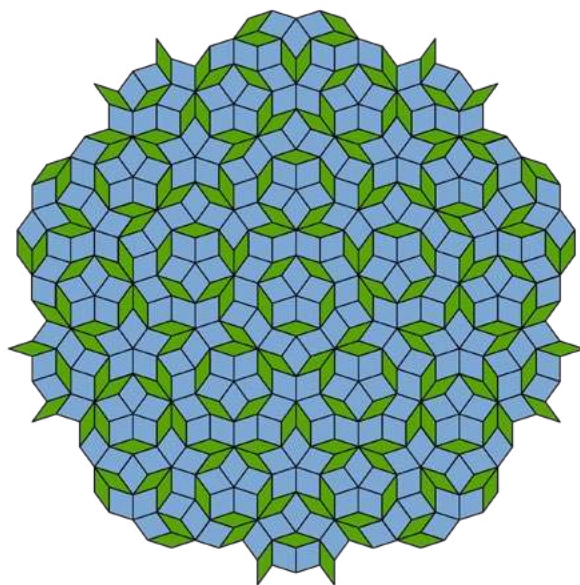


Rys. 10. Litografia Eschera „Wodospad”. Źródło: Wikipedia.

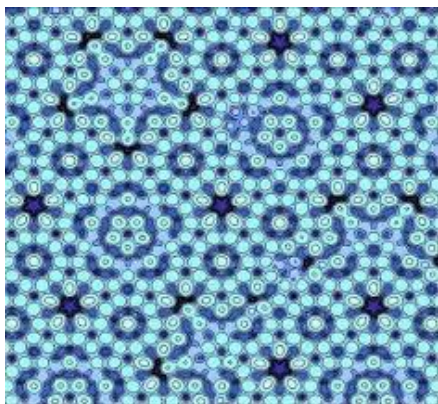
Alain Connes (ur. 1947 r.), francuski matematyk, profesor instytutu w Bures-sur-Yvette, członek Francuskiej Akademii Nauk, wykorzystał pomysł Penrose'a w swojej geometrii niekomutatywnej. Natomiast grafik Escher zainspirowany badaniami uczonego nad parkietami także tworzył artystyczne parkietaże, ale do ich projektowania wykorzystywał przekształcenia geometryczne, symetrie, translacje i obroty oparte. Na wzór arabskich ornamentów holenderski twórca zapelniał płaszczyznę rybami, ptakami, gadami, pajacami i innymi postaciami o przedziwnych kształtach. Uzyskiwał w ten sposób zaskakujące wzory, noszące dziś nazwę parkietaży escherowskich.

Parkietaż nieokresowy był początkowo uważany za strukturę wyłącznie matematyczną (abstrakcyjną), lecz później zostały odkryte materiały, w których atomy są ułożone tak jak w parkietażu Penrose'a. Materiały te nazywano „quasi-kryształami”. Jak wyjaśnia Penrose:

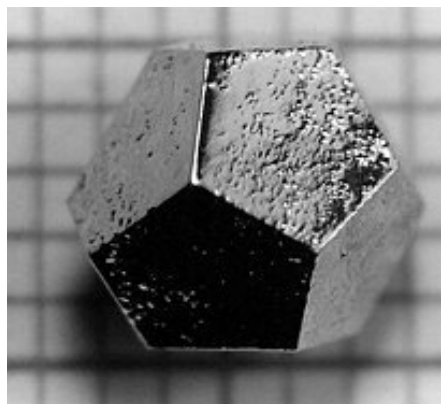
„Po rozmaitych próbach cięcia i klejenia, udało mi się zmniejszyć liczbę płytek do dwóch. Nieokresowe pokrycia płaszczyzny tymi płytkami mają wiele godnych uwagi własności, między innymi wykazują pozornie krystalograficznie niemożliwą quasi-okresową strukturę z pięciokrotną osią



Rys. 11. Parkietaż Penrose'a. Źródło: Wikipedia



Rys. 12. Struktura quasi-kryształu. Źródło: Wikipedia



Rys. 13. Widok quasi-kryształu Ho-Mg-Zn. Źródło: Wikipedia

symetrii. (...) W grudniu 1984 roku izraelski fizyk Dany Schechtman (ur. 1941 r., Noblista z chemii w 2011 r.), pracujący w National Bureau of Standards w Waszyngtonie, ogłosił odkrycie pewnej fazy stopu aluminium i manganu wyglądającej jak kryształ o pięciokrotnej osi symetrii. Obecnie takie substancje zwiemy quasi-kryształami. Quasi-kryształy wykazują symetrię nie tylko w płaszczyźnie, ale również w trzech wymiarach. Stopy znalezione przez Schechtmana tworzyły tylko mikroskopijne quasi-kryształki, wielkości rzędu tysięcznej części milimetra, ale później odkryto inne substancje quasi-kryształiczne tworzące znacznie większe struktury. W szczególności pewien stop aluminium, litu i miedzi tworzy komórki o rozmiarach sięgających 1 mm, które można bez trudu zobaczyć gołym okiem” (por. R. Penrose, *Nowy umysł cesarza*, PWN, Warszawa, 1996).

Większość właściwości fizycznych quasi-kryształów jest taka sama jak klasycznych kryształów, choć wykazują one również wiele własności charakterystycznych tylko dla nich, jak m.in. słabe przewodnictwo cieplne i elektryczne przy zachowaniu wysokiej odporności na czynniki chemiczne i korozję. Dzięki tym właściwościom stosuje się je do pokryć przeciwdrobnoustrojowych i przeciwkorozyjnych, a także jako materiały do magazynowania wodoru, bariery termiczne, czujniki podczerwieni.

Penrose sugeruje, że wzrost quasi-kryształów przypomina proces wzrostu lub kurczenia się kolców dendrycznych synaps, co ma wpływ na plastyczność mózgu. Wg Penrose’a proces fizyczny prowadzący do odpowiedniego ułożenia atomów w quasi-kryształach jest niealgorytmiczny, bo też problem pokrycia płaszczyzny nie ma algorytmicznego rozwiązania. Kafelki Penrose’a znalazły też zastosowanie komercyjne w celach zdobniczych.

Podsumowanie

Dorobek naukowy prof. Rogera Penrose’a jest wartościowy dla dydaktyków fizyki, gdyż obejmuje różnorodne i trudne zagadnienia badawcze nie tylko z przedmiotowej

dziedziny, ale też z obszarów innych nauk, a także z ich pogranicza (badania interdyscyplinarne). Postać naukowca Penrose’a stanowi wzór twórczej jednostki, która nie ogranicza się tylko do publikacji wyników swoich badań w czasopismach naukowych skierowanych do wąskiego grona specjalistów, ale prezentuje w przystępny sposób zdobycze i najnowsze osiągnięcia nauki szerokiemu kręgowi odbiorców w formie książek popularnonaukowych, wykładów otwartych i wywiadów w mediach. Podobnie działali tacy wybitni fizycy, jak Einstein i Hawking. Wartościowy jest także holistyczny pogląd Penrose’a na naukę, umiejętność dostrzegania podobieństw i analogii między zjawiskami występującymi w różnych dziedzinach nauki.

Zastanawiające jest, dlaczego Penrose otrzymał Nagrodę Nobla w tak zaawansowanym wieku (89 lat!). Ale przecież prof. Hawking, mimo że za życia uważany był za geniusza, w ogóle nie otrzymał tej zaszczytnej nagrody. Także inny fizyk teoretyk Peter Higgs (1929-2024) otrzymał Nagrodę Nobla na stare lata (w wieku 84 lat), mimo wybitnych osiągnięć w dziedzinie fizyki cząstek elementarnych (odkrycie bozonu Higgsa). Bardzo możliwe, że na zwleknięcie z przyznaniem Nagrody Nobla Penrose’owi wpłynęły kontrowersyjne badania uczonego nad kwantowym polem świadomości prowadzone wraz z anestezjologiem Hameroffem, uważanym przez krytyków jego dokonań za psychotronika. Prof. Penrose podczas drugiego pobytu na Uniwersytecie Warszawskim w 2016 roku w wykładzie na Wydziale Fizyki nie wspominał w ogóle o kwantowej teorii świadomości, a ograniczył się do prezentacji zagadnień z zakresu kosmologii.

Dr Edward Rydygier
Autor jest fizykiem jądrowym, dr nauk technicznych,
posiada tytuł Fizyka Europejskiego (EurPhys),
jest aktywistą Sekcji Nauczycielskiej PTF,
interesuje się nowoczesną popularyzacją fizyki i wykorzystaniem mediów
w edukacji i popularyzacji nauki

W następnych wydaniach polecamy m.in.

- Polaryzacja kołowa i eliptyczna światła
- Zjeżdżalnie duże i małe
- Matematyka w fizyce: kluczowa rola zależności proporcjonalnych w edukacji fizycznej

Żywoty fizyków

James Clerk Maxwell

James Clerk Maxwell (1831-1879 urodził się w Edynburgu jako James Clerk. Maxwellem został dopiero, gdy jego ojciec odziedziczył po przodkach o tym właśnie nazwisku posiadłość Middlebie w Dumfriesshire. Rodzina Jamesa osiadła jednak ostatecznie w 610 hektarowej posiadłości w Glenlair.

Początkowo jego edukacją zajmowała się matka Frances, ale niestety zmarła, gdy miał on osiem lat. Formalną naukę rozpoczął w Akademii w Edynburgu w roku 1841. Jako „chłopak z prowincji” nie bardzo pasował do grona kolegów „z miasta”. Nazywali go złośliwie „daftie”, co znaczy właściwie „głupek”. Ale jemu to jednak specjalnie nie przeszkadzało. Po latach zmierzono mu iloraz inteligencji i okazało się, że przekracza on 200. Daje mu to wysokie miejsce wśród najtęższych umysłów wszech czasów. Złośliwi koledzy byli bardzo niesprawiedliwi. W Akademii Maxwell zaprzyjaźnił się w końcu z dwoma prawie rówieśnikami. Oni też okazali się nieprzeciętni: Lewis Campbell, został później znawcą Sofoklesa i Platona, a Peter Guthrie Tait, uznanym fizykiem i matematykiem, autorem m.in. dzieła *Treatise on Natural Philosophy*, które napisał wspólnie z Williamem Thomsonem (Lordem Kelvinem).

Zainteresowania Maxwella wykraczały daleko poza szkolny program nauczania. Swoją pierwszą pracę naukową napisał w wieku 14 lat. Zobaczywszy ją ojciec Maxwella pokazał ją znanemu fizykowi (i geologowi, glaciologowi, sejsmologowi i podróżnikowi wreszcie) Jamesowi Davidowi Forbesowi, profesorowi filozofii naturalnej na Uniwersytecie w Edynburgu. Ten zaś stwierdził, że „przeczytałem uważnie pracę pańskiego syna i sądzę, że jest bardzo pomysłowa, z pewnością niezwykła biorąc pod uwagę jego wiek i wydaje mi się, że jest istotnie nowa”. Praca ta „*On the description of oval curves and those having a plurality of foci*” została w 1846 roku zaprezentowana Royal Society of Edinburgh przez Forbesa, ponieważ uznano, że James jest zbyt młody, aby samemu wystąpić przed szacownym zgromadzeniem.

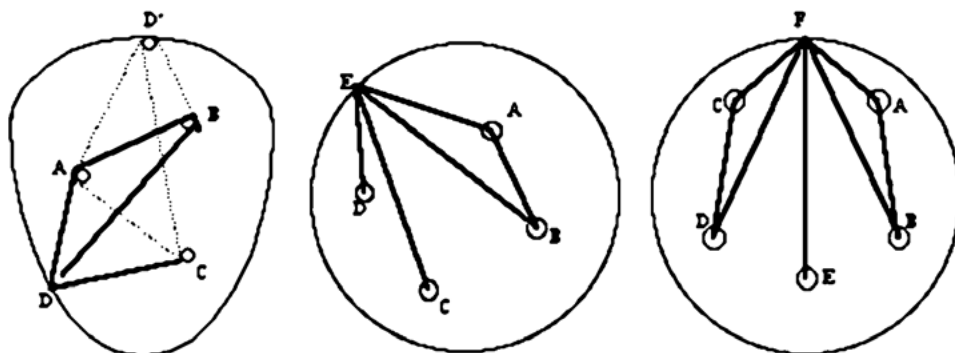
Maxwell opuścił Akademię w 1847 roku w wieku 16 lat i zaczął uczęszczać na zajęcia na Uniwersytecie w Edynburgu.



Foto – commons.wikimedia.org

W wolnych chwilach, które spędzał w Glenlair eksperymentował między innymi ze światłem badając właściwości światła spolaryzowanego używając pryzmatów Nicol, które podarował mu znany szkocki fizyk i geolog William Nicol. Maxwell poddawał różnym naprężeniom bloki żelatyny i za pomocą pary pryzmatów polaryzacyjnych oglądał kolorowe prążki, które powstawały w galarecie, a które odkrył niedawno inny znany Szkot Sir David Brewster. Wyniki swoje opublikował w pracy „*On the Equilibrium of Elastic Solids*” (Earth and Environmental Science Transactions of The Royal Society of Edinburgh vol. 20, 1, 1853, pp. 87 - 120). Elastooptyka pozwala dziś precyzyjnie badać rozkłady naprężeń w rozmaitych strukturach, co nie jest bez praktycznego znaczenia.

W roku 1850 Maxwell przeniósł się do Cambridge, w sumie do Trinity College, gdzie ukończył studia matematyczne w 1854 r. W 1856 roku został namówiony przez Forbesa, do próby powrotu do Szkocji i do ubiegania się o nowo zwolnioną katedrę filozofii naturalnej w Marischal College w Aberdeen, co udało mu się w końcu. Jednak chyba musieli tam Maxwell nie lubić, bo gdy w 1860 roku Marischal College połączył się z sąsiednim King's College, tworząc Uniwersytet w Aberdeen nie było tam miejsca dla dwóch profesorów filozofii naturalnej i Maxwell, pomimo swojej naukowej reputacji, został zwolniony.

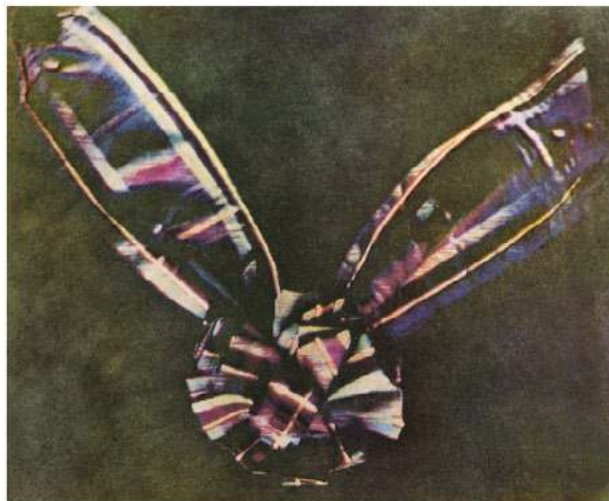


Rysunek 1. Przykład trzech owali Maxwella mających trzy, cztery i pięć ognisk.

Nie udało mu się też załapać na niedawno zwolnioną katedrę Forbesa w Edynburgu (stanowisko to przypadło Taitowi). Szukając pracy Maxwell trafił do Londynu na Katedrę Filozofii Przyrody w King's College. Czas tam spędzony był prawdopodobnie najbardziej produktywnym w jego karierze. W 1860 r. otrzymał Medal Rumforda Towarzystwa Królewskiego za swoją pracę nad kolorem „*On the theory of compound colours, and the relations of the colours of the spectrum*” (Phil. Trans. R. Soc. 15057–84), a w 1861 r. został wybrany na członka Towarzystwa.

Badania nad naturą i percepcją koloru rozpoczął jeszcze w Edynburgu. Podążając ścieżką Isaaca Newtona i Thomasa Younga śladami swojego uniwersyteckiego nauczyciela Jamesa Forbesa, Maxwell był w stanie zademonstrować, że białe światło będzie wynikiem mieszanki światła w trzech jedynie kolorach czerwonego (R), zielonego (G) i niebieskiego (B). Skrót RGB powinien być doskonale znany wszystkim, którzy wiedzą, jak kolorowe obrazy wyświetlane są na ekranach telefonów, komputerów i telewizorów. Maxwell używał jednak w swoich eksperymentach skonstruowanego przez siebie przyrządu zwanego dziś „kołem Maxwella”, które możemy zobaczyć na jego pomniku wzniesionym w roku 2008. Pomnik ten przedstawia Jamesa siedzącego z ze swoim kołem w dłoniach i terierem Tobym u stóp, ale jego słynne, znane powszechnie równania znajdują się z tyłu cokołu – ciekawe. Artykuł „*Experiments on Colour; as perceived by the Eye, with Remarks on Colour-Blindness*” (Earth and Environmental Science Transactions of The Royal Society of Edinburgh, 21/2, 275, 1855) opisujący zasady łączenia kolorów przedstawiony został Royal Society of Edinburgh w marcu 1855 r.

Wszyscy wiemy, że Isaac Newton używając pryzmatów pokazał, że białe światło (czyli słoneczne), jest złożone z wielu kolorów, które następnie można ponownie złożyć w światło białe. Newton pokazał też, że pomarańczowa farba powstała ze zmieszania dwóch pigmentów: żółtego



Rysunek 3. Pierwsza na świecie kolorowa fotografia.

i czerwonego wygląda dokładnie tak samo, jak monochromatyczne pomarańczowe światło wydzielone z widma słonecznego, choć składa się przecież z dwóch całkiem monochromatycznych składników, z których każdy jest od pomarańczowego różny. Jakby paradoks: wyglądają tak samo, a tym samym nie są! Thomas Young zaproponował ponad sto lat później, że paradoks ten można wytłumaczyć fizjologią postrzegania kolorów zakładając, że mamy ograniczoną liczbę „kanałów” w naszych oczach. Zaproponował trójkolorową teorię kolorów. Maxwell wykorzystał niedawno stworzone narzędzie matematyczne, algebrę liniową, aby teorii Younga nadać precyzyjną formę matematyczną. Każde światło monochromatyczne stymuluje trzy receptory w różnym stopniu i ten sam stan stymulacji można uzyskać świecąc komuś w oczy w odpowiedniej proporcji trzema różnymi monochromatycznymi źródłami światła. Naukę o tym, jak kolory składać i rozkładać nazywa się kolorymetrią.

Maxwell wykazał w tej teoretycznej kwestii niemały zmysł praktyczny. Wymyślił sposób na sfotografowanie kolorów, czyli technikę fotografii kolorowej. Zaledwie 15 lat wcześniej narodziła się fotografia w ogóle i oczywiście była wyłącznie czarno-biała. W swoim artykule z 1855 roku Maxwell zaproponował, że jeśli trzy czarno-białe fotografie sceny zostaną wykonane przez filtry czerwony, zielony i niebieski, a przezroczyste wydruki obrazów zostaną wyświetlone na ekranie za pomocą trzech projektorów wyposażonych w podobne filtry, po nałożeniu na ekran wynik będzie postrzegany przez ludzkie oko jako pełna reprodukcja wszystkich kolorów w scenie i w roku 1861 podczas wykładu w Instytucie Królewskim Maxwell zaprezentował pierwszą kolorową fotografię szerokiej publiczności. Faktycznie wykonana ona została przez Thomasa Suttona, wynalazcę lustrzanki jednoobiektywowej. Sfotografował on wstążkę tartanową (w szkocką kratę) trzykrotnie używając filtrów czerwonego, zielonego i niebieskiego (na wszelki wypadek zrobił też zdjęcie przez filtr żółty, ale według relacji Maxwella nie została ona w końcu użyta). Ciekawostką jest to, że emulsje fotograficzne Suttona były niewrażliwe na kolor czerwony i kiepsko wrażliwe na kolor zielony, rezultat nie był doskonały, ale niewątpliwie był kolorowy, co wzbudziło entuzjazm publiczności.



Rysunek 2 Pomnik Maxwell w Edynburgu.

Doświadczenie domowe:**koło Maxwella****A. Potrzebne materiały**

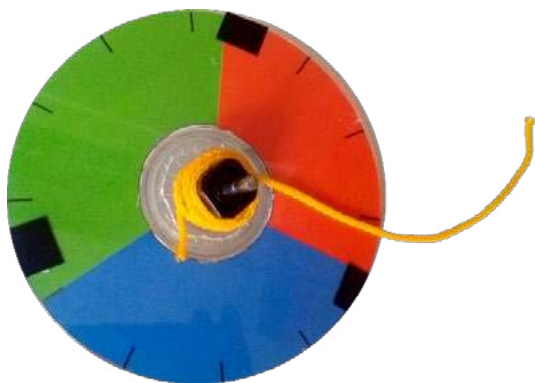
1. kilka (starych, zniszczonych, niepotrzebnych) płyt CD
2. grubsza przezroczysta folia lub przezroczysty krążek czasem sprzedawany w komplecie z płytami CD
3. kilka kartek papieru
4. korek (lub coś w tym rodzaju)
5. gwóźdź
6. metr sznurka
7. taśma klejąca
8. dowolna igła do szycia

B. Narzędzia:

1. pistolet do klejenia na gorąco
2. nożyczki
3. mazaki (czerwony, zielony i niebieski), albo komputer z kolorową drukarką
4. cyrkiel (przy braku drukarki)
5. komputer z odpowiednim oprogramowaniem (wtedy cyrkiel niepotrzebny)
6. młotek albo coś w tym rodzaju
7. wiertarka (ale niekoniecznie)

C. Kolejność czynności

1. Na kartce narysować trzy okręgi o wielkościach płyty CD.
2. Pomalować je na zielono, czerwono i niebiesko.
3. Wszystko to możemy zrobić elegancko z użyciem komputera i drukarki.
4. Wyciąć kolorowe koła i w każdym z nich w środku wyciąć otwór większy niż centralny otwór w płytach CD>
5. Każde z kół naciąć wzdłuż promienia.
6. Do otworu w płytach (w płycie) CD wcisnąć korek przycięty do 1-2 cm długości i odpowiednio okrojony z brzegu. Musi się solidnie trzymać.
7. W środek korka wbić gwóźdź tak, aby po jednej stronie wystawał odrobinę ostrym końcem, a z drugiej musi go być 2-3 cm.
8. W miarę potrzeby podkleić korek i gwóźdź klejem, aby trzymał się naprawdę solidnie.
9. Ułożyć koła na płycie CD tak, by kolory były widoczne od strony dłuższego kawałka gwoździa zahaczając wycięciami tak, aby z każdego z nich widoczna była 1/3 (mniej więcej) część.



10. Jeśli nie mamy bezbarwnej płyty wyciąć taki kształt z grubej przezroczystej foli.
11. Położyć przezroczyste koło na trójkolorową powierzchnię i skleić wszystkie płyty taśmą klejącą (w trzech miejscach wystarczy).
12. Powinno powstać coś na kształt kolorowego bączka, z trójkolorową górną powierzchnią.
13. Aby go rozkręcić, nawijamy sznurek (z pół metra) na korek, a następnie trzymając jedną ręką delikatnie za gwóźdź szybko ciągniemy i rozwijamy za sznurek.
14. Obserwujemy jaki kolor pojawia się na wirującej tarczy.

Wbrew optymistycznym oczekiwaniom nie jest to kolor biały. Raczej szary, rozmazany może z cieniami jakiegoś trudnego do zidentyfikowania koloru. Można zmieniać proporcje kolorów obracając odpowiednio kolorowe tarcze, co może dać lepsze rezultaty, ale szansa, że wyjdzie nam coś białego są nikłe. Zależy to nie tylko od proporcji, ale i od natężenia światła odbijanego od kolorowych powierzchni no i od samych kolorów. To co produkują nasze drukarki jako czerwone, zielone i niebieskie, to nie to samo czego oryginalnie używał Maxwell. On sam nazywał swoje trzy podstawowe barwy cynobrową, szmaragdową i ultramaryną (trochę to widać na fotografii). Jedno, co możemy na pewno powiedzieć, to to, że intensywne kolory na jakie pomalowaliśmy nasze koła rozmywają się i znikają roztapiając się w czymś szaroburym (optymistycznie mniej lub bardziej białym).

Na rozkręcenie tarczy jest wiele sposobów. Maxwell zbudował specjalny przyrząd do przytrzymywania swojej rozkręconej tarczy. Nie jest to przyrząd bardzo skomplikowany i gdyby ktoś chciał może go w miarę prosto wykonać samodzielnie.

Można przeciągnąć sznurek po dwóch stronach korka w jakiś odległościach od środka, związać w pętlę, skrócić ją wiele razy i używając siły własnych rąk rozkręcać ją w jedną i drugą stronę, jak poziome jo-jo.

Najprostszym rozwiązaniem jest wbicie gwoździa głębiej i uchwycenie go w końcówkę wiertarki elektrycznej.

Każda z tych metod jest dobra i wszystkie dają zasadniczo taki sam wynik.



Rysunek 4 Oryginalne koło Maxwell przechowywane do dziś w Cavendish Laboratory.

Batko Marian Piotr

Niezwykły nauczyciel fizyki i matematyki

Rafał Simon, Marta Wąsik

Nauczyciel w Państwowym Gimnazjum Matematyczno-Przyrodniczym im. św. Stanisława Kostki, a następnie w Państwowym Neofilologicznym Gimnazjum im. Odrowążów w Królewskiej Hucie (obecnie Chorzów), więzień obozu koncentracyjnego.

Urodził się 25.03.1901 r. w Podgórzu-Płaszowie, powiat krakowski (obecnie dzielnica Krakowa), syn Jana, robotnika i Klementyny z Maźniarskich. Ukończył 4 klasy szkoły ludowej w Kolbuszowej, a następnie uczęszczał do Państwowego Gimnazjum w Mielcu. Egzamin dojrzałości złożył 31.05.1920 r. W kolejnych tygodniach służył przez 3 miesiące i 19 dni w WP. Tegoż roku podjął studia wyższe z zakresu fizyki i matematyki na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie, gdzie 27.10.1925 r. uzyskał absolutorium. Na teże uczelni 13.06.1929 r. uzyskał dyplom nauczyciela szkół średnich. Miał kwalifikacje do nauczania fizyki jako przedmiotu głównego i matematyki jako przedmiotu dodatkowego. Dobrze władał językiem niemieckim. Najpierw przez 4 lata uczył w Prywatnym Gimnazjum Koedukacyjnym w Kolbuszowej. Potem nastąpiła roczna przerwa w pracy pedagogicznej, powołano go bowiem do czynnej służby wojskowej, w której pozostał do końca sierpnia 1928 r. Następnie przeniósł się na Górny Śląsk. Przez trzy lata uczył w Miejskim Gimnazjum Męskim im. Mikołaja Kopernika w Katowicach. Od września 1932 r. zaczął pracować w Królewskiej Hucie (obecnie Chorzów) w Państwowym Gimnazjum Matematyczno-Przyrodniczym im. św. Stanisława Kostki, a od września 1935 r. przeniesiono go do Państwowego Gimnazjum Neofilologicznego im. Odrowążów, w którym zatrudniony był do wybuchu II wojny światowej.

W trakcie pracy w Chorzowie prowadził zajęcia pozalekcyjne, brał udział z młodzieżą w obozach sportowych i turystycznych, należał m.in. do Towarzystwa Nauczycieli Szkół Wyższych i Średnich, Polskiego Związku Zachodniego i Stowarzyszenia Rodzina Urzędnicza.

Po nastaniu okupacji zamieszkał w Krakowie, gdzie zapewne przez swych śląskich kolegów został wciągnięty do akcji tajnego nauczania. 30.01.1941 r., prawdopodobnie w drodze na zajęcia lub w lokalu, w którym miały się odbyć, został aresztowany przez Niemców. Przez dwa miesiące przebywał w więzieniu na Montelupich. W dniu 4.04.1941 r. został włączony do transportu, który skierowano do KL Auschwitz w Oświęcimiu.

W obozie jako więzień polityczny otrzymał nr 11795. Umieszczono go w bloku nr 2. W niespełna trzy tygodnie po jego przybyciu do obozu z tego bloku zbiegł jeden z więźniów. Władze obozowe postanowiły w odwecie 23.04.1941 r. po apelu wieczornym przeprowadzić w tym bloku dziesiątkowanie, tzn. wybrać 10 więźniów, którzy mieli być skazani na śmierć głodową. Wśród wybranych znalazł się kilkunastoletni więzień. Widząc to Marian Batko wystąpił z szeregu, wyrażając gotowość ofiarowania się za niego. Przeprowadzający selekcję zastępca komendanta obozu Fritsch wyraził na to zgodę. Wszystkich wybranych więźniów SS umieściło w bunkrze w podziemiach bloku nr 13. W pomieszczeniu tym przebywali bez pożywienia i picia tak długo, aż zmarli z wyczerpania.

Polska Rzeczpospolita Ludowa na mocy uchwały Rady Państwa z 22.03.1972 r. odznaczyła Mariana Batko Krzyżem Złotym Orderu Virtuti Militari.

W 40-tą rocznicę śmierci Mariana Batko (27.04.1981 r.) na budynku Zespołu Szkół Chemicznych (dawne Państwowego Gimnazjum Ma-



prof. Marian Batko. źródło: internet/głos nauczycielski

tematyczno-Przyrodniczego im. św. Stanisława Kostki) w Chorzowie odsłonięto pamiątkową tablicę: „W tym budynku uczył Marian Batko, profesor fizyki, który wybrał śmierć głodową za ucznia w hitlerowskim obozie zagłady w Oświęcimiu”. W szkolnej izbie tradycji powstała ekspozycja obrazująca życie i losy M. Batko.

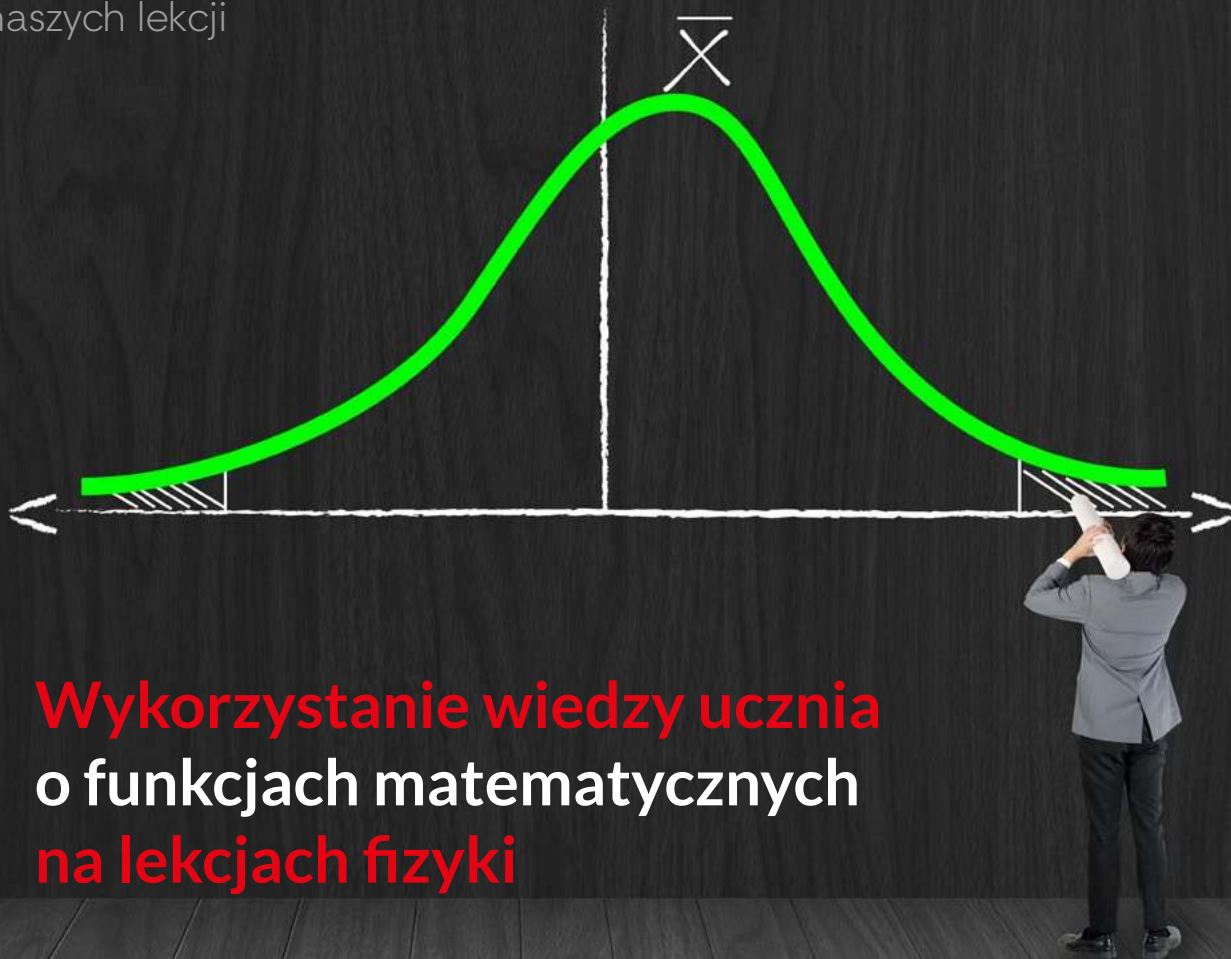
W 45-tą rocznicę męczeńskiej śmierci Mariana Batko Zarząd Główny ZNP wspólnie z Zarządami Okręgów w Katowicach, Krakowie i Białymostku-Białej zorganizował uroczystą sesję, w czasie której odczytano uchwałę Rady Państwa o przyznaniu pośmiertnie Krzyża Oświęcimskiego. W sali wystawowej dawnego KL Auschwitz odsłonięto marmurową tablicę pamiątkową poświęconą bohaterskiemu nauczycielowi, na której umieszczono napis: „Marian Batko, nauczyciel – 25.03.1901 r. – 27.04.1941 r., zginął śmiercią męczeńską w obozie oświęcimskim, oddając życie w zamian za życie 17-letniego chłopca”.

Imię Mariana Batko nosi dziś Zespół Szkół Technicznych nr 2 przy ul. Powstańców w Chorzowie.

mgr Rafał Simon
(Chorzów)
dr Marta Wąsik

LITERATURA:

- [1] Jurkiewicz A., *Marian Batko. Jak powstała legenda?*
- [2] Iwaszko T., *Jak zginął prof. Marian Batko*
- [3] Szafer A., *Marian Batko 1901-1941, nauczyciel, więzień obozu koncentracyjnego*



Wykorzystanie wiedzy ucznia o funkcjach matematycznych na lekcjach fizyki

Andrzej **Sokołowski**

Wzory fizyczne są zbudowane na regułach algebraicznych, które uczniowie poznają na lekcjach matematyki. Jakkolwiek wymaga się na lekcjach matematyki, by uczniowie potrafili kategoryzować matematyczne funkcje i je analizować, umiejętność ta nie jest wystarczająco wykorzystana na lekcjach fizyki [1]. Celem tego artykułu jest zwrócenie uwagi na możliwość sygnalizowania tych zależności na lekcjach fizyki w kontekście *wprost i odwrotnie proporcjonalnych wielkości*.

Korzyści poznawczych, które uczeń zdobywa łącząc struktury matematyczne do opisu zjawisk fizycznych jest wiele. Jednymi z nich może być:

- Umiejętność rozpoznania czy dana zależność jest proporcjonalna lub odwrotnie proporcjonalna.
- Łatwość w rozpoznaniu matematycznego obrazu (grafu) danej zależności fizycznej.
- Szybkie rozpoznanie jak dwie wielkości fizyczne się zmieniają np. w funkcji czasu.

W tym artykule przedyskutujemy jak dany wzór z fizyki może być skategoryzowany jako reprezentujący (a) wprost proporcjonalną zależność lub (b) proporcjonalną zależność korzystając z funkcji matematycznych, które te wzory reprezentują. Kategoryzacje będą odwrotnie odzwierciedlać przede wszystkim leżące u ich podstaw struktury algebraiczne, które później będą dyskutowane w kontekście

naukowych interpretacji. Artykuł ten może być przedstawiony uczniom w formie jednogodzinnej lekcji. Załączone przykłady dla *samodzielnej pracy ucznia* pozwolą uczniowi na praktykowanie nabytych podczas tej lekcji umiejętności.

Przebieg lekcji

Odniesiemy się najpierw do notacji funkcyjnej $f(x)$ jako sposobu na zwięźle oznaczenie zmiennych niezależnych i zależnych, które w fizyce nazywane są wielkościami fizycznymi.

Przypomnijmy, że w funkcjach zmienna niezależna jest tradycyjnie oznaczona jako x , a wartości zmienne zależne są odpowiednio reprezentowane przez wartości, które są obliczane korzystając z podanej matematycznej zależności nazywanej *funkcją*.

Przykład 1.

Powiedzmy, że $f(x) = 3x + 4$ i że $g(x) = 3x^2 + 4x$. Oblicz wartości tej funkcji dla $x = 2$.

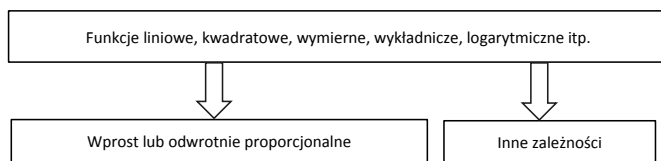
- Dla $x = 2$, $f(2) = 3(2) + 4 = 10$
- Dla $x = 2$, $g(2) = 3(2)^2 + 4(2) = 20$

Zauważamy, że wartość funkcji zależy od jej struktury matematycznej a nie od wartości zmiennej niezależnej.

Notacja funkcyjna nie jest tradycyjnie stosowana do oznaczania lub formułowania związków wartości fizycznych, jednakże może ona być używana i pomocna do wyraźnego zasygnalizowania wielkości, które się zmieniają w danym wzorze lub w doświadczeniu.

Współzmiennie zależności w matematyce

Biorąc pod uwagę formę wzoru pomiędzy zależną i niezależną zmienną, funkcja, z której jest on zbudowany może reprezentować współzmienności liniowe, kwadratowe, wymierne, wykładnicze, logarytmiczne itp. Wśród tych współzmiennych możemy wyróżnić bardziej specyficzne zachowania jako *wprost proporcjonalne* lub *odwrotnie proporcjonalne*. Poniższy diagram reprezentuje te klasyfikacje.



Ryc. 1. Klasyfikacja matematycznych zależności.

Jak rozróżnić i poprawnie sklasyfikować rodzaj podanych współzmiennych we wzorze fizycznym? Matematyczne funkcje i ich klasyfikacje pochodzą z matematyki. Przeanalizujemy więc kilka przykładów funkcji matematycznych, aby zauważyć istotę ich klasyfikacji.

A. Zależności wprost proporcjonalne

Zacniemy od formalnej definicji. Zależność jest wprost proporcjonalna, jeśli wartość $\frac{y}{x}$ dla każdej pary jej współrzędnych z wyjątkiem (0,0) jest stała. Ta stała $k = \frac{y}{x}$ jest nazwana stałą lub współczynnikiem tej proporcjonalności a $y = kx$ lub $f(x) = kx$ nazwiemy jej matematycznym opisem. Sprawdźmy jak ta definicja działa w praktyce.

Przykład 2. Czy funkcja $f(x) = 3x + 4$ przedstawia zależność wprost proporcjonalną?

Dyskusja. Ogólnie funkcję $f(x) = 3x + 4$ sklasyfikujemy jako współzmienną liniową lub krótko jako funkcję liniową. Czy funkcja ta reprezentuje zmienne, które są wprost proporcjonalne?

Przeanalizujemy tabelę z danymi.

x	0	1	2	3
$f(x) = 3x + 4$	4	7	10	13

Jeśli sprawdzimy wartości $\frac{f(x)}{x}$ dla każdej pary współrzędnych które spełniają warunek, że, to są odpowiednio $\frac{7}{1}$, $\frac{10}{2}$ i $\frac{13}{3}$; tak więc nie są one stałe (wykluczaliśmy z tych obliczeń (0, 4) które generuje wartość niezdefiniowaną).

Pomimo tego że funkcja ta ma stałą zmianę wartości, która jest równa 3 (współczynnik kierunkowy tej prostej), jej wartości nie zależą od siebie wprost proporcjonalnie. Jest to spowodowane dodaną wartością 4.

Powiemy więcej, funkcja ta wzrasta o stałą wartość 3, która jest równa jej pochodnej $f'(x) = 3$, jednakże ta wartość nie nazywa się współczynnikiem proporcjonalności tej funkcji.

Jak ta funkcja będzie się zachowywać, jeśli jej formę zmienimy na $f(x) = 3x$?

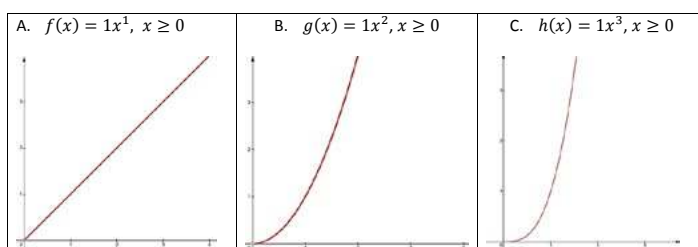
x	0	1	2	3
$f(x) = 3x$	0	3	6	9

Sprawdźmy czy funkcja ta posiada stały współczynnik proporcjonalności; $k = \frac{3}{1} = \frac{6}{2} = \frac{9}{3} = 3$. Funkcja ta ma stały współczynnik proporcjonalności, tak więc $f(x) = 3x$ reprezentuje zależność wprost proporcjonalną. Dodamy, że $k = 3$ jest równy pochodnej tej funkcji, która potwierdza tą proporcjonalność.

Uogólniając tą definicję powiemy, jeśli $f(x) = kx$ to ten związek możemy nazwać jako *wprost proporcjonalny*.

Rozszerzymy teraz ten wzór i powiemy, że wszystkie funkcje postaci $f(x) = kx^n$, $n > 0$ i $k > 0$ reprezentują proporcjonalności, jednakże nie wszystkie są wprost proporcjonalne. Wprost proporcjonalna jest tylko funkcja liniowa postaci $f(x) = kx$.

Poniżej jest krótkie zestawienie wykresów funkcji reprezentujących proporcjonalne zależności.



Rys. 1.1. Przykłady zależności proporcjonalnych

Zauważamy, że funkcje te są wielomianami różnych stopni.

- Wszystkie wykresy zaczynają się od początku układu współrzędnych (0,0) i są rosnące, jednakże ich tempa wzrostu nie są stałe.
- Tylko funkcja liniowa ma stałą wartość wzrostu, który nazywa się współczynnikiem proporcjonalności; funkcja kwadratowa wzrasta proporcjonalnie to kwadratu, a sześcienna do sześciannu.
- Funkcje $g(x) = 1x^2$ i $h(x) = 1x^3$ pomimo współczynników 1, nie posiadają stałego współczynnika proporcjonalności.

Zależnościami proporcjonalnymi możemy również nazywać funkcje wykładnicze lub logarytmiczne, jeśli spełniają one warunek proporcjonalnego wzrostu, które może być definiowany na podstawie ich struktur.

Wróćmy do fizyki. Fizyka daje wiele możliwości zastosowania proporcjonalności w kontekstach praktycznych. Jest jednak pewien aspekt, na który warto zwrócić uwagę nim przejdziemy do zastosowań proporcjonalności w fizyce [2].

Przykład 3. Przedyskutujmy poniższe wzory, które są zaczerpnięte z typowego podręcznika fizyki;

$$F = mg, F = kx, x = \frac{at^2}{2}.$$

Dyskusja. Okazuje się, że bez oznaczenia, które wielkości są zmienne, a które są stałe w tych wzorach, nie mo-

zemy jednoznacznie zdefiniować tych zależności. Bez tej informacji możemy opisać te wzory następująco:

- $F = mg$; siła grawitacji działająca na ciało m .
- $F = kx$; siła wywierana przez rozciągniętą sprężynę.
- $x = \frac{at^2}{2}$; położenie ciała poruszające się ze stałym przyspieszeniem a .

Jakkolwiek te formy reprezentują proporcjonalne zależności, uczeń też raczej nie będzie wiedział, która zmienna jest niezależną w każdym z tych wzorów. Musimy więc dokonać uściśleń. Pomocna będzie tutaj dyskutowana wcześniej notacja funkcji. Wzory z fizyki można wyrazić za pomocą notacji funkcji, aby podkreślić zmieniające się wielkości.

- $F(m) = mg$. Jeśli siła grawitacji jest zależna od masy ciała to zapiszemy ten związek jako $F(m) = mg$ gdzie g jest natężeniem pola grawitacyjnego, które może być tu nazwane stałą proporcjonalności. Rozumiejąc związki wprost proporcjonalne uczeń stwierdzi, że siła grawitacji jest wprost proporcjonalna to natężenie pola grawitacyjnego i zasugeruje wykres przedstawiony na Rys. 1.1.A oznaczając siłę F na osi pionowej i masę m , na osi poziomej.
- $F(g) = mg$. Jeśli siła grawitacji jest wyrażona jako funkcja natężenia pola grawitacyjnego $F(g) = mg$, to stałą proporcjonalności nie jest tu natężenie pola grawitacyjnego a masa, m tego ciała. Wykres będzie podobny z wyjątkiem, że natężenie pola g będzie oznaczone na osi poziomej.
- $F(x) = | -kx | = kx$; ten związek nazwiemy jako siła sprężyny wyrażona w funkcji rozciągnięcia sprężyny x , gdzie k jest stałą sprężystości sprężyny i jednocześnie współczynnikiem proporcjonalności tej funkcji a x jej wydłużeniem (niezależną zmienną). Wykres tej funkcji będzie podobny do Rys. 1.1.A. Czy analizowanie $F(k) = kx$ byłoby praktyczne? Może nie bardzo, jednakże warto pokazać uczniom również tę zależność, którą mogą wykorzystać podczas rozwiązywania zadań.

- $x(t) = \frac{at^2}{2}$. Uściślając znaczenie tych parametrów, powiemy że położenie ciała x jest proporcjonalne do kwadratu czasu; jeśli czas zwiększa się dwukrotnie, położenie powiększy się czterokrotnie. Wyrażenie $\frac{a}{2}$ nie nazywa się współczynnikiem proporcjonalności, ma ono jednak wpływ na kształt paraboli, która reprezentuje ten ruch. Wykres tej funkcji będzie podobny do

Rys. 1.1.B. Analizowanie $x(a) = \frac{at^2}{2}$ raczej nie byłoby praktyczne.

Zauważamy, że wartości początkowe tych funkcji, we wszystkich tych przykładach są zerowe, ponieważ wszystkie są wyrażone w postaci jako związki proporcjonalne.

Wielkości niezależne są umieszczone po prawej stronie równań w nawiasach.

Przedyskutujemy teraz wielkości odwrotnie proporcjonalne. Ich matematyczna analiza będzie skrócona, ponieważ ich struktury są podobne do zależności proporcjonalnych. Skupimy się bardziej na zastosowaniu tych definicji do fizyki.

B. Zależności odwrotnie proporcjonalne

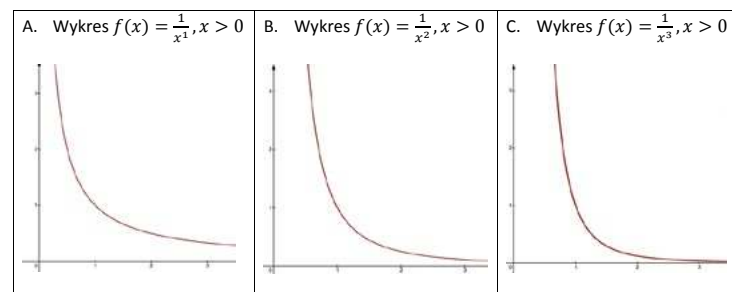
Dwie zależności są odwrotnie proporcjonalne, jeśli dla każdej pary współrzędnych z wyjątkiem $(0,0)$ $k = f(x) \cdot x$ jest stałą wartością, którą nazwiemy stałą proporcjonalności, a wyrażenie $f(x) = \frac{k}{x}$ zależnością odwrotnie proporcjonalną.

Przykład. Rozważmy $g(x) = \frac{4}{x} + 2$.

Dyskusja. Funkcja może być klasyfikowana jako współzmienna lub funkcja wymierna, ale nie reprezentuje one proporcjonalności ze względu na dodaną liczbę 2. Konstruując tabelę wartości, i licząc stałą proporcjonalności $k = yx$ dla każdej pary współrzędnych okazałoby się, że ta wartość nie jest stała.

Jeśli jednak odrzucimy 2, to $g(x) = \frac{4}{x}$ reprezentuje odwrotną proporcjonalność liniową, której stałą proporcjonalności jest $k = 4$.

Rozszerzając definicje, funkcje wymierne postaci $f(x) = \frac{k}{x^n}$ reprezentują odwrotne proporcjonalności z zastrzeżeniem ze $n > 0$ i $k > 0$. Na przykład $f(x) = \frac{10}{x^2}$ będzie nazwana odwrotną proporcjonalnością kwadratową a $f(x) = \frac{4}{x^3}$ odwrotną sześcienną proporcjonalnością.



Rys. 1.2. Wykresy odwrotnych proporcjonalności

Wszystkie wykresy odwrotnej proporcjonalności są malejące. Jeśli wartości x wzrastają, wartości y maleją. Jednakże ich tempo spadku różni się w zależności od wykładnika w mianowniku $f(x) = \frac{k}{x^n}$ oznaczony jako n . Zauważamy, że tempo spadku funkcji wzrasta (jest dodatnie), jeśli wykładnik wzrasta, co można by też uzasadnić wartością drugiej pochodnej tych funkcji, której obrazem jest wklęsłość tych funkcji.

Proporcjonalności odwrotne mogą być również reprezentowane przez funkcje pierwiastkowe, wykładnicze i logarytmiczne.

A jak zastosujemy odwrotne proporcjonalności do interpretacji zależności we wzorach z fizyki?

- Rozpatrzmy wzór na przyspieszenie dośrodkowe, $a_c = \frac{v^2}{R}$. Podobnie jak w zależnościach proporcjonalnych, musimy ustalić, która wartość po prawej stronie równania się zmienia.

- Załóżmy, że rozpatrujemy $a_c(R) = \frac{v^2}{R}$. Funkcja ta przedstawia odwrotną liniową proporcjonalność, dla której współczynnikiem proporcjonalności jest v^2 i jej wykres będzie podobny do Rys. 1. 2. A.

- Jeśli rozpatrujemy $a_c(v) = \frac{v^2}{R}$, to powiemy, że przyspieszenie dośrodkowe jest proporcjonalne do kwadratu prędkości i narysujemy jego wykres podobny do Rys. 1. 1. B.

- Innym przykładem jest równanie gazu $PV = nRT$. Wielkości wszystkich tych wartości, z wyjątkiem stałej gazowej R , mogą się zmieniać zachowując równość prawej i lewej strony tego równania.

- Jeśli przekształcimy ten wzór do postaci funkcyjnej $P(T) = \frac{nRT}{V}$ to tę funkcję określimy jako wprost proporcjonalną, dla której stałą proporcjonalności jest $k = \frac{nR}{V}$ i jej wykres będzie podobny to Rys. 1.1. A.

- Jeśli rozpatrzmy $P(V) = \frac{nRT}{V}$ nazwiemy ten wzór odwrotnie proporcjonalną zależnością, dla której $k = nRT$ (zobacz Rys. 1.2. A).

- Tradycyjnym przykładem na zastosowanie proporcjonalności jest również Newtona prawo powszechnego ciążenia, $F = \frac{GMm}{d^2}$.

- Jeśli badamy $F(d) = \frac{GMm}{d^2}$, to mamy tu do czynienia z siłą malejącą do kwadratu dystansu (zobacz Rys. 1.2. B).

- Jeśli badamy $F(m) = \frac{GMm}{d^2}$, to mamy do czynienia z siłą rosnącą, dla której stałą proporcjonalności jest $k = \frac{GM}{d^2}$ (zobacz Rys. 1.1. A).

Interesującym przykładem do dyskusji jest równanie na prędkość fali $v = f\lambda$. Czy byłoby praktyczne analizowanie tego równania jako funkcji liniowej i zastosowania wprost proporcjonalnych zależności? Raczej chyba nie, ponieważ zakładając stałe właściwości ośrodka, prędkość fali będzie funkcją stałą o współczynniku nachylenia równemu zero, ponieważ jeśli częstotliwość wzrasta, długość fali maleje. Rozpatrywanie $\lambda = \frac{v}{f}$ lub bardziej szczegółowo

$\lambda(f) = \frac{v}{f}$ nadałoby temu równaniu bardziej funkcyjny charakter łatwy do klasyfikacji i interpretacji.

Po takiej dyskusji jest czas na niezależną pracę ucznia.

Głównym celem tego zadania, jest sprawdzenie jak uczeń sam sobie poradzi z klasyfikowaniem wybranych wzorów. Tabela wartości do naszkicowania tych zależności nie jest wymagana. Jeśli uczniowie studiowali te wzory, możemy zadać dodatkowe pytanie by bliżej opisali zjawisko/scenerio, które dany wzór przedstawia.

Zadanie

Poniżej są podane wzory różnych zależności fizycznych, z zaznaczeniem, które wielkości się zmieniają.

Dla każdego z tych wzorów:

- Zidentyfikuj zmienną zależną i niezależną oraz wielkości stałe.
- Określ rodzaj proporcjonalności (wpisz *brak* proporcjonalności, jeśli wzór takiej nie przedstawia).
- Określ stałą proporcjonalności.
- Naszkicuj każdy wzór, mając na uwadze funkcję jaką on przedstawia i opisz odpowiednio oś pionową i poziomą zaznaczając również ich jednostki.

1. $v(t) = at$	6. $K(v) = \frac{mv^2}{2}$
2. $F(d) = \frac{GMm}{d^2}$	7. $x(t) = v_0 t + \frac{at^2}{2}$
3. $p(v) = mv$	8. $K(m) = \frac{mv^2}{2}$
4. $F(M) = \frac{GMm}{d^2}$	9. $P(V) = \frac{nRT}{V}$
5. $W(x) = \mu mgx$	10. $T(m) = 2\pi\sqrt{\frac{k}{m}}$
$T(l) = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$	$U_G(y) = mgy$

Andrzej Sokolowski
Lone Star College, Houston

BIBLIOGRAFIA

- [1] Sokolowski, A. (2020). Unpacking structural domain of mathematics to aid inquiry in physics: a pilot study. *Physics Education*, 56(1), 015009.
- [2] Sokolowski, A. (2024). Function; an Entity Relating Variables and Parameters. In *Developing Students' Reasoning in Precalculus: Covariational Explorations Enriched by Rates of Change and Limits* (pp. 1-94). Springer, Cham.

Powtórz, utrwal, poszerz wiedzę

Zadania z fizyki. Cz. 5.

Waldemar Reńda

Zadanie 55. (termodynamika)

Udowodnij, że: $C_V = R/\kappa - 1$ oraz $C_p - C_V = R$, gdzie: $\kappa = C_p/C_V$ oraz że dla dowolnej przemiany (np. politropy): $\Delta U = \frac{1}{2} n_{\text{moli}} R \Delta T$ oraz że: $\Delta T = (p_2 V_2 - p_1 V_1)/nR$

Wskazówka: $\Delta U = \frac{1}{2} k N_A n \Delta T$ zaś $k = R/N_A$. Zastosuj też równanie Clapeyrona.

Z równania Clapeyrona: $p_1 V_1 = nRT_1$ oraz $p_2 V_2 = nRT_2$. Odejmując stronami, otrzymamy:

$$\Delta T = p_2 V_2 - p_1 V_1$$

Zadanie 56. (termodynamika)

Udowodnij, że dla gazów idealnych: $\kappa = 1 + 2/i$ oraz $C_V = R \cdot \frac{i}{2}$, gdzie „i” jest liczbą stopni swobody cząsteczki tego gazu oraz, że dla przemiany adiabatycznej: $T_2/T_1 = (V_1/V_2)^{\kappa-1}$.

Przyjmij, że $p_1/p_2 = (V_2/V_1)^\kappa$. Wskazówka: Napisz dwa równania Clapeyrona i podziel je stronami i zastosuj podany wyżej wzór.

Zadanie 57. ** (termodynamika)

Udowodnij, że w pojedynczej przemianie izobarycznej $\Delta U = W/(1 - \kappa)$ oraz, że sprawność procesu izobarycznego ogrzewania gazu (tylko ogrzewania) $\eta = 1 - 1/\kappa$.

Wskazówka: $\eta = |W|/Q = p\Delta V/Q = nR\Delta T/C_p n\Delta T = R/C_p = (C_p - C_V)/C_p = 1 - 1/\kappa$.

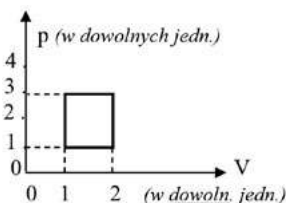
Lub: $\eta = R/C_p = R/(C_V + R) = R/(Ri/2 + R) = 1/(i/2 + 1) = 2/(i + 2)$, gdzie i jest liczbą stopni swobody cząsteczek gazu. I tak: $\eta_{II} = 2/5 = 0,4$ zaś $\eta_{III} + 2/7 = 0,2857 \approx 0,3$. Jak widać sprawność silnika jest największa dla gazu o cząsteczkach 1-atomowych!

Zadanie 58. * (termodynamika)

a) Gaz o znanej wartości „ κ ” podlega cyklowi przemian termodynamicznych jak na wykresie obok.

b) Sporządź wykresy $p(T)$ i $V(T)$, oblicz sprawność tego procesu i porównaj ze sprawnością silnika Carnota pracującego między tymi samymi temperaturami.

$$\text{Odp.: } \eta = 2(\kappa - 1)/(3\kappa + 2), \quad \eta_{\text{Carnota}} = 5/6$$

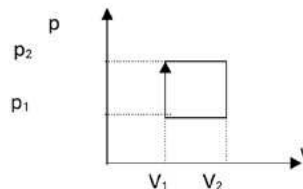


Zadanie 59. (termodynamika)

Silnik termodynamiczny pracuje w oparciu o dwie przemiany izobaryczne i dwie przemiany izochoryczne. Oblicz teoretyczną sprawność tego silnika, gdy $V_2 = 2V_1$, $p_2 = 2p_1$ oraz dana jest wartość κ . Zaproponuj jego konstrukcję.

Niech cykl kołowy tego silnika przebiega jak na rysunku i zaczyna się od punktu o współrzędnych p_1, V_1 i T_1 .

Z danych wynika, że $T_2 = 2T_1$ oraz $T_3 = 2T_2$



Zadanie 60. (termodynamika)

Przemiany stanu helu dokonano tak, że: $p_1 = 10^5$ Pa, $V_1 = 0,5$ m³ i $T_1 = 300$ K oraz $p_2 = 2 \cdot 10^5$ Pa, $V_2 = 0,6$ m³ i tak, że wykresem $p(V)$ jest prosta. Oblicz T_2 , W , ΔU oraz Q w tej przemianie.

Wskazówka: Pracę oblicz jak pole pod wykresem $p(V)$. Oblicz nR z równania Clapeyrona dla p_1, V_1, T_1 i wstaw do równania Clapeyrona dla p_2, V_2, T_2 . Oblicz T_2 . ΔU oblicz ze wzoru $\Delta U = 3/2 R\Delta T$. Ciepło oblicz z I zasady termodynamiki $\Delta U = Q + W$, pamiętając, że W ma tu wartość ujemną (wzrost objętości gazu).

Zadanie 61. (termodynamika)

Udowodnij, że zmianę energii wewnętrznej pewnej porcji gazu sprężonego izobarycznie przy ciśnieniu p od objętości V_1 do V_2 można obliczyć ze wzoru

$$\Delta U = [\kappa/(\kappa - 1)]p(V_2 - V_1) + (V_1 - V_2)$$

Wskazówka: Zauważ, że: $W = -p\Delta V$, $p\Delta V = nR\Delta T$ oraz $c_p = \kappa R/(\kappa - 1)$

Zadanie 62. ** (termodynamika i aerostatyka)

Opisz i wyjaśnij „mechanizm” domowego sposobu zamknięcia słoików Wecka.

Zadanie 63. * (termodynamika, mechanika)

Oszacuj energię wiejące nad Polską wichury, jeżeli wiatr wieje z szybkością 20 m/s.

Ile ton węgla o wartości opałowej $250 \cdot 10^5$ J/kg należałoby spalić, aby otrzymać tę energię?

Porównaj tę energię z energią wewnętrzną tego powietrza przy założeniu, że ma ono średnią temperaturę równą 17°C.

Odp.: Dla gęstości $1,3$ kg/m³, $S = 312$ tys. km², w warstwie do wys. 2,5 km to ok. $2 \cdot 10^{17}$ J, co odpowiada spalaniu ok. $8 \cdot 10^7$ ton węgla.

Zadanie 64. (ciepło) **

Zaprojektuj urządzenie mierzące ciepło pobierane z sieci ciepłowniczej przez lokatorów danego budynku (np. bloku).

Do tego pomiaru potrzebny jest przepływomierz (wodomierz) oraz 2 termometry.

Zakładając stabilny (jednostajny) pobór energii cieplnej, dokonujemy pomiaru przepływu wody zasilającej

dany budynek i różnicę temperatur pomiędzy wodą zasilającą i powrotną.

Niech przepływomierz rejestruje przepływ 120 litrów wody na minutę, $t_1 = 60^\circ\text{C}$ oraz $t_2 = 30^\circ\text{C}$. Wówczas moc cieplna sieci grzewczej w tym domu

$$P = Q/\tau = mc\Delta t/\tau = 120 \text{ kg} \cdot 4200 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \cdot 30 \text{ K}/60 \text{ s} = 252000 \text{ J/s} = 252 \text{ kW}$$

Jeżeli blok zawiera 45 mieszkań, to na jedno mieszkanie przypada średnio 5,6 kW.

Natomiast dobowy pobór energii przez wszystkie mieszkania, to

$$Q = P \cdot t = 252000 \text{ W} \cdot 86400 \text{ s} = 2,2 \cdot 10^{10} \text{ J} = 22 \text{ GJ}$$

Zadanie 65. (ciepło) **

Wyznacz użyteczną moc cieplną łazienkowego gazowego podgrzewacza wody.

Wskazówka: Masz do dyspozycji stoper, naczynie o znanej pojemności i termometr.

Dane: Naczynie litrowe napełnia się w czasie 10 s wodą o temperaturze 40°C . Wiedząc, że zimna woda ma temperaturę 10°C , oblicz moc cieplną piecyka.

$$\text{Rozwiązanie: } P = Q/\tau = m \cdot c \cdot \Delta t/\tau = 1 \text{ kg} \cdot 4200 \text{ J/kgK} \cdot 30 \text{ K}/10 \text{ s} = 12600 \text{ J/s} = 12,6 \text{ kW}$$

Zadanie 66. (termodynamika)

Ile waży chmura?

To zależy, czy zima, czy też lato. W zimie wilgotność bezwzględna powietrza jest mała. W temp. 0°C stan nasycenia parą wodną osiąga się przy ok. 4 g wody w 1 m^3 powietrza. Zatem 1 km^3 chmury zawiera co najmniej 4 tys. ton wody. Jeżeli przy dalszym oziębieniu powietrza para ta ulegnie skropleniu, to uzyskamy chmurę o tej masie. Może to spowodować niewielki opad śniegu. Natomiast w lecie w temp. 20°C w 1 m^3 powietrza może być do 20 g wody. Zatem po jego oziębieniu może powstać chmura o masie 20 tys. ton. Gdyby ta woda spadła na ziemię, to otrzymalibyśmy opad rzędu 20 mm (20 l/m^2), co jest przeciętnym deszczem, a są i większe, bo chmura – szczególnie burzowa – ma zwykle znacznie większą grubość niż 1 km.

Zadanie 67. * (termodynamika)

W jaki sposób w czasie upałów ochronić mieszkanie przed przegrzaniem?

Zadanie 68. ** (aerostatyka, termodynamika)

Izobary na mapach pogody podawane są dla temperatury 0°C i poziomu morza. Przez pewne miasto leżące na wysokości 300 m nad poziomem morza przechodzi izobara 100 kPa. Jaka jest rzeczywista wartość ciśnienia atmosferycznego, jeżeli w tym momencie panuje temperatura 20°C ? Dlaczego przy ustalonej pogodzie ciśnienie powietrza podwyższa się w nocy?

Zadanie 69. ** (wilgotność powietrza)

a) Ile ton wody wykopli się z 1 km^3 powietrza w wyniku jego ochłodzenia od $t_1 = 28^\circ\text{C}$ do $t_2 = 10^\circ\text{C}$, jeżeli powietrze to w temperaturze t_1 miało wilgotność względną 90%? Gęstość nasyconej pary wodnej (wilgotność nasycenia) w temperaturze 28°C $\rho_1 = 27 \text{ g/m}^3$, zaś w tempera-

turze 10°C $\rho_2 = 9,33 \text{ g/m}^3$. Jak grubą warstwą pokryłaby ziemię ta woda, gdyby spadła na nią w postaci deszczu?

b) Oblicz zmianę energii wewnętrznej cząsteczek wody o masie 1 kg w procesie parowania w temperaturze wrzenia przy ciśnieniu normalnym. Ciepło parowania wody w tej temperaturze równe jest $2258988 \pm 4 \text{ J/kg}$.

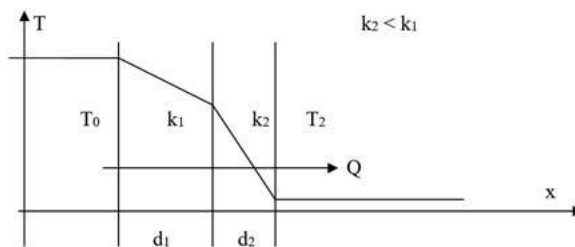
Uwaga! W tym przypadku: $\Delta E_w = mc_p - p\Delta V$, a więc $\Delta E_w = 2086736 \text{ J}$. Zatem wykonana przez parę praca stanowi zaledwie 7,6% ΔE_w .

Zadanie 70. (transport energii cieplnej)

Przez ścianę składającą się z warstwy o grubości d_1 i współczynnika przewodności cieplnej k_1 oraz warstwy o grubości d_2 i współczynnika przewodności cieplnej k_2 przenika jednostajnie ciepło tak, że $\Delta T = \text{constans}$. Narysuj wykres $T(x)$, gdy $k_2 < k_1$. $\Delta T = T_0 - T$

$Q = k \Delta T t/d$ Stąd $\Delta T = Qd/kSt$ więc $T = T_0 - Qd/kSt$. Jak widać, wykresem jest funkcja liniowa malejąca o nachyleniu odwrotnie proporcjonalnym do wartości k .

Uwaga! Pomijam współczynniki odpływu ciepła na powierzchniach ściany.



Zadanie 71. (konwekcja cieplna)

Kaloryfer ma moc cieplną $P = 8,4 \text{ kW}$. Dopływa do niego woda o temp. $t_1 = 60^\circ\text{C}$, a odpływa o temp. $t_2 = 50^\circ\text{C}$. Oblicz, ile litrów wody przepływa przez niego w ciągu minuty.

$$\text{Rozwiązanie: } P = \Delta E/\Delta t = c \Delta m \Delta T/\Delta t \Rightarrow \Delta m/\Delta t = P/c \Delta T = 8400 \text{ W}/4200 \text{ J/kgK} \cdot 10 \text{ K} = 0,2 \text{ kg/s} \Rightarrow \Delta m = 0,2 \text{ kg/s} \cdot 60 \text{ s} = 12 \text{ kg} = 12 \text{ l}$$

Zadanie 28. * (pojemność cieplna ciał)

Ściana zewnętrzna pokoju ma grubość $d = 50 \text{ cm}$, szerokość $a = 4 \text{ m}$, wysokość $2,5 \text{ m}$ i zbudowana jest z cegły o przewodności właściwej $k = 0,73 \text{ W/K} \cdot \text{m}$. W ścianie tej znajduje się okno o powierzchni 2 m^2 i współczynnika przewodzenia $K = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. (Pomijamy współczynniki napływu i odpływu ciepła do i od powierzchni ściany. Niestety, zmieniają one znacznie ilości obliczonego ciepła!)

Ile litrów wody o temperaturze 80°C powinno w ciągu 1 s dopływać do kaloryfera, aby utrzymać w pomieszczeniu temperaturę 22°C przy temperaturze zewnętrznej -18°C , jeżeli z kaloryfera odpływa woda o temperaturze 40°C . (Pominąć wymianę powietrza poprzez wentylację oraz współczynnik przepływu ciepła na granicy ściana – powietrze.)

Uwaga! Współczynnik „ k ” podaje ilość ciepła jak przepływa przez sporządzoną z danego materiału kostkę o grubości 1 m i powierzchni 1 m^2 w czasie 1 s przy różnicy temperatur 1°C . Natomiast współczynnik „ K ” podaje ilość ciepła, jaka przepłynie przez 1 m^2 okna w czasie 1 s przy różnicy temperatur 1°C . Jeżeli ściana składa się z kilku warstw, to $1/k_{\text{całk.}} = 1/k_1 + 1/k_2 \dots$



Od dłuższego czasu jesteśmy świadkami wprowadzania różnego rodzaju zmian w szkołach. Jedną ze zmian, która wywołuje wiele emocji, jest zniesienie bądź ograniczenie prac domowych zadawanych uczniom.

Arleta Biegańska

Zwolennicy zniesienia prac domowych są zdania, że uczniowie są zbyt przeciążeni pracą. W przypadku uczniów młodszych zwolennikami zniesienia prac domowych są głównie rodzice, którzy aktywnie pomagają dzieciom w odrabianiu lekcji.

Starsi uczniowie mają średnio po 7 lekcji dziennie. W szczególności uczniowie klasy siódmej, przy uwzględnieniu zajęć dodatkowych, takich jak religia, wdr czy doradztwo zawodowe¹, niekiedy mają nawet 8 lekcji w ciągu dnia. Wielu uczniów dojeżdża do szkoły, co zajmuje im kolejną godzinę. Niektórzy uczniowie uczestniczą w dodatkowych zajęciach, zwłaszcza sportowych. Doliczając czas konieczny na czytanie obowiązkowych lektur oraz na odrabianie lekcji młodzież może być przepracowana. Postulat ograniczenia prac domowych wydaje się więc słuszny.

Badania wykazują, że polscy piętnastolatki poświęcają średnio ok. 1,7 godziny dziennie na odrabianie lekcji. W krajach OECD średnia ta wynosi 1,5 godziny².

Autorzy badań zwracają uwagę na fakt, że „efektywność edukacyjna korzystania z prac domowych zależy nie od ich częstotliwości i intensywności, ale jakości”³.

Prace domowe powinny więc być przemyślane, zadawane z umiarem i dostosowane do możliwości uczniów. Dobre zadanie domowe to takie, które uczniowie mogą wykonać samodzielnie, nie angażując rodziców.

Prace domowe powinny być sprawdzone i ocenione. Ocena pracy domowej nie musi być jednoznaczna z wstawieniem stopnia do dziennika. Uczeń powinien otrzymać informację zwrotną dotyczącą m.in. poprawności wykonania zadania.

Z drugiej strony, jeżeli uczeń wykonał zadanie poprawnie, z zaangażowaniem to, dlaczego nie wstawić oceny do dziennika? Obowiązujące od 1 kwietnia ubr. rozporządzenie MEN nie daje takiej możliwości.⁴

Trzeba mieć świadomość, że plan nauczania przewiduje zbyt małą liczbę godzin przeznaczonych na kształcenie kluczowych umiejętności. Duża liczba uczniów w oddziałach utrudnia lub wręcz uniemożliwia wykonanie dostatecznej liczby ćwiczeń, utrwalenia wiedzy czy indywidualizowania metod i czasu pracy z uczniem. Jaką szansę ma uczeń na samodzielne, ale pod kontrolą nauczyciela (na przykład przy tablicy), wykonanie zadania rachunkowego z matematyki czy fizyki w oddziale liczącym ponad dwudziestu uczniów? Czy nauczyciel zdąży podejść do każdego ucznia, żeby sprawdzić jego pracę i ewentualnie

¹ Rozporządzenie MEN z dnia 3 kwietnia 2019 r. w sprawie ramowych planów nauczania dla publicznych szkół (Dz. U. z 2024 r. poz. 80).

² IBE_policy_brief_BM201401_Prace_domowe_v20240229.pdf.

³ Tamże.

⁴ D20240438.pdf (sejm.gov.pl) Rozporządzenie ME z dnia 22 marca 2024 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie oceniania, klasyfikowania i promowania uczniów i słuchaczy w szkołach publicznych (Dz.U. z 2024 poz. 438).

mu pomóc? Ile zadań mogą rozwiązać uczniowie w czasie lekcji?

Nie od dziś wiadomo, że „ćwiczenie czyni mistrza”. Nauczyciele zadają pracę domową w celu utrwalenia materiału bieżącego, lepszego przygotowania uczniów do egzaminów i do dalszej ich edukacji.

Niestety nie wszyscy nauczyciele potrafią zachować umiar w ilości zadawanych prac. Potrzebna jest współpraca nauczycieli uczących w danym oddziale dotycząca zakresu zadawanych prac domowych, planowania sprawdzianów i klasówek oraz obowiązków uczniów wynikających z przygotowywania występów, konkursów, zawodów itp. Taką wymianę informacji ułatwia stosowanie dziennika elektronicznego. Na podstawie doświadczenia zawodowego wiem, że ta współpraca i wymiana informacji nie jest mocną stroną nauczycieli. Niestety każdy nauczyciel uważa, że jego przedmiot jest najważniejszy.

Jednak rozwiązaniem problemu nadmiernego obciążenia uczniów nie mogą być radykalne działania w postaci ogólnych zakazów. Od 1 kwietnia obowiązuje rozporządzenie dotyczące prac domowych.⁵ Już słychać doniesienia o sposobach omijania ministerialnego rozporządzenia.

Jaka praca domowa?

Fizyka daje możliwość dobierania takich zadań domowych, które będą sprzyjać realizacji celów dydaktycznych a jednocześnie będą atrakcyjne dla ucznia.

Osobiście dawno już zrezygnowałam z zadawania obowiązkowych prac domowych. Powodem tego był fakt, że coraz częściej uczniowie nie odrabiali tych zadań. Często zdarza się, że uczniowie przychodzą nie przygotowani do lekcji. Ta tendencja nasiliła się po okresie zdalnego nauczania.

Jak nauczyciel powinien reagować w takiej sytuacji? Stawianie ocen niedostatecznych, wpisywanie uwag nie robi na uczniach wrażenia, zwłaszcza jeżeli dotyczy to większości uczniów. Zbyt duża liczba ocen negatywnych z czasem staje się problemem nauczyciela, a nie uczniów. Przejawia się to zwłaszcza w okresie wystawiania ocen śródrocznych czy końcoworocznych.

Praca domowa, zwłaszcza z tak trudnego przedmiotu jak fizyka, powinna być inna od tradycyjnych, atrakcyjna, wzbudzająca ciekawość ucznia i dająca mu satysfakcję z jej wykonania. Odrobienie zadania domowego powinno być „opłacalne” dla ucznia. Dziwnie to brzmi, ale niestety taka jest dzisiejsza rzeczywistość. Większość uczniów uczy się „dla stopnia”. Zresztą zawsze tak było. Należy zwrócić uwagę na fakt, że praca domowa nie musi mieć formy pisemnej. Choć uczniowie tak to traktują. Ile razy rodzice przypominający dzieciom o odrobieniu lekcji słyszą „nie było nic zadane”? Nie ma zadania pisemnego znaczy, że nic nie zadano.

Trudno nauczycielom konkurować z atrakcjami Internetu, którym młodzież poświęca wiele czasu i uwagi. Obecnie mało jest pasjonatów i entuzjastów nauki i trzeba się z tym

pogodzić. Nauczyciel powinien być świadom potrzeb, aspiracji i priorytetów środowiska, w którym pracuje.

W obecnych planach nauczania na naukę fizyki w szkołach podstawowych przeznaczona jest 4 godziny w cyklu⁶. To bardzo mało. Nie ma czasu na przeprowadzanie doświadczeń w formie ćwiczeń. Nauczyciele co najwyżej robią pokazy. To nie najlepsze rozwiązanie⁷.

Pewnym uzupełnieniem tej luki są proste doświadczenia i obserwacje prowadzone przez uczniów w domu i może to być jedną z form pracy domowej.

Zawsze zadając pracę domową przedstawiam ją jako propozycję i określę jej cel. Na przykład „poćwiczcie rozwiązywanie zadań” – i tu podaję stronę w podręczniku, wskazuję proponowane zadania. Proponuję wykonanie w domu doświadczeń na dany temat. Realizując wymagania ogólne „IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych.”⁸ proponuję uczniom przygotowanie informacji na konkretny temat.

Często zdarza się, że to uczniowie pytają „jakie doświadczenie mogę wykonać?”, „na jaki temat przygotować prezentację?”. Prawdą jest, że wielu uczniów „aktywizuje się” pod koniec okresu klasyfikacyjnego. W zadaniach dodatkowych widzą szansę na podwyższenie oceny końcowej. Choć nie zawsze tak jest. Czasami robią dodatkowe doświadczenia po prostu z zamyślenia. Zdarza się, że uczniowie inspirowani filmami z Internetu popisują się w klasie pokazami, samodzielnie wykonanymi filmami.



⁵ Tamże.

⁶ Arleta Biegańska „Warunki i sposoby realizacji programu fizyki w szkole podstawowej” *Fizyka w Szkole* 2/2020, str. 19.

⁷ Arleta Biegańska „Po pierwsze doświadczenie”, *Fizyka w Szkole* nr 2/2012 str. 61.

⁸ Rozporządzenie MEN z dnia 14.02.2017 r. w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz podstawy programowej kształcenia ogólnego dla szkoły podstawowej, (...). (Dz. U. poz. 356, ze zm.).

W tamtym roku była „moda” na konstrukcje z ołówków i długopisów. Zawsze im pozwalałam na te pokazy, mimo że demonstrowane doświadczenia nie dotyczą realizowanego tematu.

Realizując dział o drganiach zaproponowałam uczniom wykonanie modelu wahadła. Zaznaczyłam, że wahadło to wykorzystamy do doświadczeń na następnej lekcji. W jednej klasie zadanie to wykonali wszyscy uczniowie. Niektórzy wykonali nawet statyw do swojego wahadła. Ile było emocji na kolejnej lekcji! Uczniowie oglądali wahadła kolegów, wymieniali się uwagami nt. sposobów realizacji zadania. Dziewczynki do wykonania wahadła wykorzystywały elementy biżuterii (breloczki, koraliki), a chłopcy nakrętki, śrubki. W czasie pomiaru okresu drgań porównywali wyniki. Szybko dostrzegli zależność okresu drgań od długości wahadła.

Niestety w innej szkole, w innym oddziale zadania domowego nikt nie wykonał. Liczyłam się z taką sytuacją i miałam przygotowane elementy do zrobienia wahadła. Wykorzystałam również szkolny model wahadła. Lekcja nie była jednak tak pasjonująca i pełna pozytywnych emocji jak w pierwszym oddziale.

A co z projektami?

W klasie VII w dziale „pomiar” proponuję uczniom wykonanie pomiaru temperatury na dworze o stałej porze przez kilka dni. Uczniowie w ten sposób doskonalą umiejętność pomiaru temperatury, zapisywania wyników i wnioskowania. Zebrane dane wykorzystujemy w czasie lekcji zapisując dane w tabeli czy wykonując wykresy, co sprzyja opanowaniu umiejętności „5) matematycznych z użyciem odpowiednich reprezentacji”⁹. Rzadko zdarza się, aby uczniowie nie wykonali tego zadania.

Innym zadaniem jest odczytanie mocy wybranych urządzeń w domu, czy w warsztacie domowym. Myślę, że nie jest to zbyt trudne i czasochłonne zadanie.

W klasie ósmej, w dziale „prąd elektryczny”, realizuję projekt „energetyczne śledztwo”. Głównym zadaniem jest odczytywanie przez kilka dni wskazań licznika poboru energii elektrycznej oraz tropienie największego pożeracza prądu w domu i zaproponowanie form oszczędzania energii. Innym projektem jest projekt „Instalacje elektryczne”. Projekt ten realizowali uczniowie w grupach.

Co w obecnej sytuacji z realizacją projektów edukacyjnych¹⁰? Projekty edukacyjne, zwłaszcza z fizyki, są pomostem między teorią a praktyką, uczą planowania pracy, dzielenia się zadaniami, kształcą ważne dla procesu edukacyjnego umiejętności. Uczniowie chętnie w nich uczestniczyli, tym bardziej, że przeważnie otrzymywali wysokie oceny. Żał z nich rezygnować. W dopiero co ogłoszonym projekcie nowych podstaw programowych, projekty edukacyjne wymienione są jako jedna z metod nauczania chemii¹¹. W przypadku fizyki takiego zapisu nie ma.



Foto – Dreamstime

Zadawać czy nie zadawać?

Pytanie „zadawać” czy „nie zadawać pracy domowej” pozostaje bez jednoznacznej odpowiedzi. Najlepszym rozwiązaniem jest dawanie uczniom propozycji możliwych zadań do wykonania. Niech uczniowie, zgodnie ze swoimi zainteresowaniami i możliwościami, zdecydują o wykonywaniu w domu wybranych zadań. Nie należy karać za brak pracy domowej. Jeśli jednak uczeń podejmie się dodatkowego zadania należy je ocenić, a nawet wstawić ocenę do dziennika, zwłaszcza jeśli praca została wykonana dobrze lub bardzo dobrze. Ocena dla ucznia jest formą „zapłaty” za pracę. Dlatego nie do końca zgadzam się z zapisami w przywołanym rozporządzeniu o zadaniach domowych.

Uważam, że zachodzi tu pewna sprzeczność. Wstawienie oceny do dziennika jest udokumentowaniem faktu, że nauczyciel ocenił pracę ucznia. W § 12 rozporządzenia o ocenianiu określono cele oceniania: „monitorowanie pracy ucznia oraz przekazywanie uczniowi informacji o jego osiągnięciach edukacyjnych pomagających w uczeniu się, poprzez wskazanie, co uczeń robi dobrze, co i jak wymaga poprawy oraz jak powinien dalej się uczyć”¹². Natomiast w §12a ust 1 pkt 2 tego rozporządzenia zapisano „w klasach IV–VIII nauczyciel może zadać uczniowi pisemną lub praktyczno-techniczną pracę domową do wykonania w czasie wolnym od zajęć dydaktycznych, z tym, że nie jest ona obowiązkowa dla ucznia i nie ustala się z niej oceny”. Dalej w §12a ust 3, czytamy, że „nauczyciel sprawdza wykonaną przez ucznia pisemną lub praktyczno-techniczną pracę domową i przekazuje mu informację, o której mowa w § 12”. Sprawdza i ocenia, chociażby pod względem poprawności. Ocenia, ale nie dokumentuje faktu oceny!

⁹ Tamże.

¹⁰ A. Biegańska Projekt edukacyjny w szkole podstawowej Fizyka w Szkole 5/2022, str. 44.

¹¹ dokument664676.pdf (legislacja.gov.pl) strona 169 z dnia 23.04.2023.

¹² § 12 rozporządzenia MEN z dnia 22 lutego 2019 r. w sprawie oceniania, klasyfikowania i promowania uczniów i słuchaczy w szkołach publicznych (Dz. U. z 2023 r. poz. 2572 oraz z 2024 r. poz. 438).

Samoocena

W procesie kształcenia umiejętności ucznia się powinniśmy wdrażać uczniów do systematycznej samooceny. Bez samooceny nie ma samorozwoju! W każdym działaniu powinniśmy śledzić bieżące postępy. Nie ma znaczenia czy dotyczy to gotowania (może to trywialne porównanie, ale ile razy kucharz próbuje smak potrawy zanim poda ją na stół?), czy uczenia się. Podobnie w procesie uczenia się na bieżąco powinniśmy kontrolować swoją wiedzę i umiejętności. Uczniowie powinni to robić i robią. Przed klasówką, sprawdzianem „przepytują” się wzajemnie, proszą rodziców o sprawdzenie swojej wiedzy. Zanim wystawię ocenę do dziennika proszę uczniów o samoocenę. Na początku bywają speszeni faktem, że mają „wystawić” sobie ocenę. W miarę upływu czasu moja propozycja oceny i ocena ucznia stają się coraz bardziej zgodne.

Nauczyciele często popełniają błąd wywierania na uczniach nacisku w kwestii zadań domowych, ale również pisania sprawdzianów czy odpowiedzi ustnych. Udało mi się wypracować takie relacje z uczniami, że sami zgłaszają się do odpowiedzi, proponują zadania doświadczalne i inne, które chcą wykonać w domu. Zdarzyło mi się rozstrzygać spór, kto będzie odpowiadał. Gdy usłyszałam „proszę pani, ale byłem pierwszy, ja chcę odpowiadać” ucieszyłam się. Uczniowie sami zgłaszają wolę poprawienia sprawdzianu pisemnego.

W codziennej pracy z uczniami należy uświadamiać im, że uczenie się jest ich sprawą i leży w ich interesie. Wszak nauczyciele swoje dyplomy mają już w kieszeni.

Reasumując: praca domowa powinna być atrakcyjna dla ucznia, przyjmować różne formy (niekonieczne pisemne) i nie powinna być obowiązkowa. Zadawanie prac domowych nie może być formą kary dla ucznia, który mało aktywnie pracuje na lekcji. Sprawdzając pracę domową nauczyciel powinien ją ocenić, wskazać uczniowi mocne i słabe strony pracy. Wstawienie oceny do dziennika powinno być możliwe, zwłaszcza jeśli uczeń wykonał zadanie bardzo dobrze. Nie powinno się zakazywać ogólnie wstawiania ocen za pracę domową do dziennika.

Przychyłam się również do wyrażanych opinii, że zakaz zadawania prac domowych narusza autonomię szkół.

„O naprawie polskiej szkoły”

Nie da się naprawić systemu kształcenia ministerialnymi rozporządzeniami. Polska szkoła wymaga zmian systemowych. O koniecznych zmianach w polskim systemie szkolnym ciekawie pisał Waldemar Reńda¹³. Mam nadzieję, że urzędnicy odpowiedzialni za przeprowadzenie zmian będą uważnie wsłuchiwać się w oddolnie napływające głosy krytyki i propozycje zmian.

Zmiany wymaga system kształcenia nauczycieli. Myślę, że trudno będzie wrócić do sytuacji z czasów funkcjonowania gimnazjów, kiedy to fizyki uczył magister fizyki, a biologii magister biologii. Obecnie, zwłaszcza w małych szkołach, jeden nauczyciel uczy i fizyki, i historii i może

jeszcze jakiegoś innego przedmiotu. Czy krótkie studia podyplomowe zapewnią kompetentnych nauczycieli? Nauczyciel przedmiotu powinien posiadać nie tylko dobre przygotowanie merytoryczne, ale i metodyczne. Wszak każdy przedmiot ma swoją specyficzną metodykę.

Należy odciążyć nauczycieli od biurokracji m.in. poprzez uwolnienie ich od realizacji zadań narzucanych przez inne instytucje. Na przykład SANEPID- narzuca obowiązek realizacji działań np. konkursów, a potem pisania różnych sprawozdań. Podobnie działają inne instytucje – straż, policja, KRUS itd. Instytucje te realizują swoje obowiązki z zakresu edukacji społeczeństwa rękoma nauczycieli.

Zmiany wymagają podstawy programowe. Zmiany podstaw programowych nie mogą polegać na „cięciu” zakresu uczenia. W ten sposób zniknęły z programu fizyki dla szkoły podstawowej ważne działy jak m.in. statyka, astronomia, fizyka jądrowa. Niestety cięcia te były nieprzemyślane i w większości dotyczyły treści, które cieszą się powszechnym zainteresowaniem (jak na przykład astronomia, fizyka jądrowa), czy występujące w życiu codziennym (np. maszyny proste, elementy statyki).

Konieczne są zmiany planów nauczania w taki sposób, aby zwiększyć liczbę godzin matematyki i przedmiotów przyrodniczych. Wszak te przedmioty kształcą kluczowe umiejętności. Przemyślenia wymaga fakt tworzenia „nowych przedmiotów”, wbrew idei nauczania holistycznego¹⁴. Wbrew temu zapowiadane jest wprowadzenie nowego przedmiotu – edukacji zdrowotnej. Czy treści z zakresu edukacji zdrowotnej nie można realizować na biologii?

Kolejną sprawą są podręczniki. W pełni zgadzam się z opinią o podręcznikach przedstawioną przez Jerzego Kuczyńskiego w artykule „Dwadzieścia lat podręczników do fizyki”¹⁵. Gorąco polecam ten artykuł przyszłym autorom i recenzentom szkolnych podręczników nie tylko z fizyki.

Warunki nauczania również pozostawiają wiele do życzenia. Chodzi nie tylko o wyposażenie szkół w odpowiednie pomoce, które muszą być wysokiej jakości. Pomoce dydaktyczne powinni wybierać nauczyciele, a nie urzędnicy ministerialni. Zestaw do pomiarów wielkości fizycznych nie może być zabawką, jaką dostarczały firmy specjalizujące się w dostarczaniu pomocy naukowych do nauczania początkowego. Podczas realizacji projektów „Laboratoria przyszłości”, dotyczących doposażenia szkół podstawowych w pomoce do fizyki, chemii i innych przedmiotów przetargi ministerialne wygrywały oferty o najniższych cenach. Niestety jakość i przydatność tych pomocy pozostawia wiele do życzenia.

Warunki nauczania to również liczba uczniów w oddziale. Niestety małe oddziały to dla organów prowadzących drogie oddziały. W oddziałach liczących powyżej 20 uczniów trudno mówić o indywidualizacji nauczania.

Obecnie wprowadzane zmiany są łatwe do narzucenia szkołom, ale ich wdrożenie, pomimo wielu trudności, nie przyniesie oczekiwanych efektów. Są to działania populistyczne.

Arlleta Biegańska
Kawęczyn

¹³ W. Reńda „Jaka szkoła... jaka edukacja-c.d.”, *Fizyka w Szkole* nr 1/2023 str. 39.

¹⁴ Arleta Biegańska „Współczesne zagrożenia a nauczanie fizyki”, *Fizyka w Szkole* nr 2/2023 str. 34.

¹⁵ Jerzy Kuczyński „Dwadzieścia lat podręczników do fizyki”, *Fizyka w Szkole* nr 3/2023 str. 25.

Muzyka sfer

Niemiecki astronom Johannes Kepler twierdził, że słyszy muzykę sfer, pochodzącą z kosmosu.

Krzysztof Kowalczyk

Historia ze sferami niebios rozpoczęła się już w czasach starożytnych, kiedy to uczeni ustalali pierwsze modele budowy Wszechświata. Modele bardzo fantastyczne, należałoby zaznaczyć. Wiercono – choć nie wszyscy chcieli się z tym zgodzić – że sfery unoszą poszczególne planety, Słońce, Księżyc i świat gwiazd. Dla matematyka Pitagorasa miało to charakter harmonijny, wierzył w matematyczny porządek Wszechświata. Tak Pitagoras, jak i jego uczniowie, uważali, że sfery gwiazdne krążą wokół środka świata, wydając swym ruchem dźwięk harmonijny. Wszechświat taki nazwali kosmosem.

Pierwszy geometrycznie platoński model świata dał Eudoksos (408-355 p.n.e.). Ziemia była tutaj nieruchoma i stanowiła środek Wszechświata, okrężało ją zaś 27 fikcyjnych, koncentrycznych sfer kryształowych. Sfery miały różne rozmiary i poruszały się z różnymi prędkościami kątowymi, wpływając na obserwowane ruchy ciał niebieskich. I tak na przykład, zawiłe ruchy Księżyca wynikały według Eudoksosa z ruchów trzech sfer kryształowych.

Arystoteles (384-322 p.n.e.) – największy autorytet naukowy okresu starożytności – postulował, że sfery realnie istnieją, a zbudowane są z idealnie przezroczystego kryształu. Ciała niebieskie miały poruszać się wokół Ziemi ruchami jednostajnymi po kołach na skutek obrotów 56 sfer kryształowych. Model taki na krótką metę dosyć dobrze odzwierciedlał to, co obserwowano, dzięki czemu się przyjął.



Astronomiczny zegar słoneczny na kampusie Uniwersytetu Johannesa Keplera w Linzu w Górnej Austrii. Foto – commons.wikimedia.org



Johannes Kepler. Foto – commons.wikimedia.org

Przeciwko geocentryzmowi wystąpił Arystarch z Samos (320 – ok. 250 p.n.e.) w traktacie „Hipotezy”. Na podstawie geometrycznych wywodów stwierdził, iż Słońce ma znacznie większe rozmiary niż Ziemia i to zapewne skłoniło go do poglądu, że to Ziemia obiega Słońce, a nie odwrotnie (zapewne, bo traktat „Hipotezy” zaginął, a o tezach Arystarcha wiemy z pracy Archimedesesa „O liczbie ziaren piasku”). Arystarch nie obalił jednak kryształowych sfer. Nigdy w starożytności nie przyjęto arystarchowych tez; zapomniane były też w średniowieczu. Jeszcze osiemnaście wieków trwano przy błędnej koncepcji ruchów jednostajnych po kołach w obrębie sfer kryształowych.

Wielki astronom Hipparch (190-125 p.n.e.), słynący z niezwykle precyzyjnych, jak na swoje czasy, pomiarów astrometrycznych (pozycyjnych), był niestety zarazem zagorzałym zwolennikiem geocentryzmu. Pomierzone, zdawałoby się odstępstwa od ruchów jednostajnych po kołach, tłumaczył ruchami jednostajnymi po kołach zwanych epicyklami, których środki miały obiegać ruchami jednostajnymi większe koła – deferenty. Poszczególnym planetom odpowiadały oczywiście różnych rozmiarów epicykle i deferenty, różne też prędkościątowe. Ponadto opierał Hipparch swe koncepcje na ruchach jednostajnych po deferentach ekscentrycznych, których środki miały znajdować się nie w środku Ziemi, lecz poza środkiem Ziemi. Tłumaczył w ten sposób niejednostajny ruch roczny Słońca na niebie oraz zawiłości ruchów Księżyca.

W II wieku naszej ery, w okresie największego rozkwitu Cesarstwa Rzymskiego, żył słynny astronom Klaudiusz Ptolemeusz. Opracował on na nowo, tworzoną przez Eudoksosa, Arystotelesa i Hipparcha, teorię geocentryczną. Ciała niebieskie uszeregował w następującej kolejności według odległości od Ziemi: najpierw Księżyc, potem Merkury, Wenus, Słońce, Mars, Jowisz, Saturn. Najdalej umieścił sferę gwiazd stałych, tak odległych, że Ziemia wobec ich dystansu to już tylko punkt. Przyjmował ponadto, że wszystkie planety obiegają swe epicykle w okresie

rocznym, zaś średnice epicykli równe są 0,0869 średnicy odpowiednich deferentów.

Dopiero w pierwszej połowie XVI wieku Mikołaj Kopernik wykazał, że epicykle zakreślane są tylko pozornie przez planety, co wynika z ruchu Ziemi wokół Słońca. W słynnym dziele „O obrotach sfer niebieskich” podał Kopernik wiele argumentów przeciwko teorii geocentrycznej, co w znacznym stopniu przyczyniło się do tzw. „rozbicia kryształowych sfer”. Prawie nikt jednak nie wie, że ciosem dla zwolenników Arystotelesa, a zarazem koncepcji kryształowych sfer, nakładających się na siebie, była również niezwykle kometa z 1577 roku, która jasna, wyrazista, widoczna nawet na dziennym niebie, zupełnie przeczyła stałości niebios. Przeczyła może bardziej nawet niż dwie nowe jasne gwiazdy, zaobserwowane w latach 1572 i 1604, które jak dzisiaj wiemy, tylko dlatego były widoczne gołym okiem, że wybuchły jako supernowe. W sytuacji zaś, gdy kosmologia Arystotelesa budziła mnożące się wątpliwości, Galileusz nie tylko na podstawie swoich pierwszych w historii astronomii obserwacji teleskopowych mógł z uporem wypowiedzieć słynne: „A jednak się kręci...”.

Obraz harmonijnego i niezmiennego Wszechświata z centralnie położoną Ziemią, jako wyróżnionym miejscem we Wszechświecie, doskonale pasował do treści Biblii i był przez to bezspornie faworyzowany przez Kościół. Dlatego opinia Kopernika, jakoby to Ziemia nie stanowiła centrum Wszechświata i cała uzasadniająca ją teoria, zdawały się przeczyć nauce Kościoła (choć Kopernik, jako kanonik kapituły warmińskiej, nie był osobą świecką).



Pomnik Mikołaja Kopernika w Toruniu. Foto – Adobe Stock

Utrzymującą się, groźnej dla zwolenników nowego systemu, sytuacji, na swój sposób stawiał czoło Johannes Kepler. Kilkadziesiąt lat po śmierci Kopernika twierdził on, że słyszy skomponowaną w umyśle Boga, harmonijną muzykę sfer (aczkolwiek już nie kryształowych). Czytając o tym dzisiaj, można się głośno roześmiać, zwłaszcza znając dorobek Keplera w gestii mechaniki nieba i matematyki, będący wyrazem prokopernikańskiej orientacji. Zwłaszcza za kilkaset lat wszyscy ludzie mogą się roześmiać z ciągle „pojawiającego się” UFO; horoskopów, które nigdy nie zasegregują przyszłości miliardów ludzi wedle dwunastu znaków Zodiaku; fałszywych jasnowidzów, którzy tak naprawdę nie potrafią wskazać, gdzie jest zaginiona osoba; czy z dziwnych, niefizycznych energii, „pojawiających się” we współczesnych metodach medycyny alternatywnej.

I tak kręci się świat...

Krzysztof Kowalczyk

Deszcz meteorytów w Lubelskiem

Pod koniec lutego we wsi Drelów i okolicy, w północnej części woj. lubelskiego znaleziono meteoryty – dotychczas 13 okazów, największy waży ponad pół kilograma. „Mielśmy do czynienia ze spadkiem deszczu meteorytów. Jest szansa, żeby znaleźć kolejne okazy” – powiedział PAP prezes Polskiego Towarzystwa Meteorytowego prof. Tadeusz Przylibski z Politechniki Wrocławskiej.

Znalezione meteoryty to najprawdopodobniej chondryty zwyczajne (będzie to jeszcze sprawdzane w badaniach). Prof. Przylibski powiedział, że choć nie są one szczególnie wyjątkowe, bo to meteoryty najczęściej znajdowane na Ziemi i są w wielu kolekcjach prywatnych i muzealnych – to jednak taki deszcz meteorytów zdarza się dosyć rzadko i może przynieść ciekawe informacje o kosmosie, o tym, co się dzieje poza atmosferą Ziemi.

„Deszcz meteorytów jest bardzo interesujący dla nauki, bo zawiera informacje na przykład o tym, jak obecna aktywność Słońca wpływa na materię, która w przestrzeni kosmicznej się znajduje. Jeśli uda się zmierzyć, jakie izotopy promieniotwórcze i w jakiej ilości są obecne w meteorycie, to wiemy np. na jaki poziom promieniowania kosmicznego narażeni są astronauty” – powiedział ekspert.

Chondryty zwyczajne przynoszą też wiedzę o tym, jak powstał Układ Słoneczny. „One powstały około 4,5 mld lat temu, kiedy już utworzyło się Słońce, ale jeszcze nie było planet. Mamy tu cenne informacje o tym, jak wy-

glądała ta protoplanetarna, czyli przedplanetarna materia w Układzie Słonecznym” – dodał.

Ekspert podkreślił, że meteoryty powinny być jak najszybciej przebadane w laboratorium. „Część informacji chociażby o izotopach kosmicznych zanika, bo te izotopy się rozpadają i zanikają w ciągu kilku dni. Jeśli ten materiał nie trafi do laboratorium, to te informacje będą utracone” – powiedział.

Meteoryty to fragmenty skał, które zostały odłupane od macierzystych ciał niebieskich. Krążą one wokół Słońca jako meteoroidy. Jak tłumaczy prof. Przylibski, gdy takie ciało wpadnie w atmosferę Ziemi, to ulega spaleni i rozpada się na mniejsze fragmenty. „Te mniejsze fragmenty materii świecą wtedy jako meteory, a jeśli to jest wyjątkowo jasne zjawisko, to mówimy o bolidach. Z takim bolidem mieliśmy do czynienia kilka dni temu” – dodał.

Znalezienie meteorytów było możliwe dzięki tzw. sieci bolidowej w Polsce o nazwie Skytinel. To prywatna inicjatywa wielu osób, które mają zamontowane np. na swoich domach specjalne kamery do obserwacji nieba. Dzięki tej sieci kamer można obliczyć i wyznaczyć trajektorię lotu takiego bolidu i wyznaczyć obszar, na którym mogły spaść fragmenty meteoroidu, który wywołał zjawisko bolidu, czyli meteoryty. „Najczęściej obszar ten ma kształt elipsy. Tym razem wyznaczono go na południe od Międzyrzecza Podlaskiego” – dodał prof. Przylibski. PAP – Nauka w Polsce

Wybrane zagadnienia astrofizyki gwiazdowej

cz. I



Foto – Dreamstime

Marcin Wesołowski

Podstawowym źródłem informacji o gwiazdach jest ich widmo, które charakteryzuje się rozkładem natężenia poszczególnych linii widmowych. Inaczej mówiąc widmo informuje nas o stopniu wzbudzenia fotosfery. Na tej podstawie możemy oszacować temperaturę i ciśnienie panujące w fotosferze gwiazdy. W tym miejscu przypomnijmy, że fotosfera rozważanej gwiazdy (np. Słońca) to najbardziej zewnętrzna, powierzchniowa warstwa gwiazdy.

W tym miejscu ponownie zwracam się z apelem o przestrzeganie zasad towarzyszących bezpiecznej obserwacji tarczy Słońca.

Jasność gwiazd

W astronomii jasność definiuje się jako całkowitą ilość energii elektromagnetycznej emitowanej w jednostce czasu (strumień promieniowania, F) przez gwiazdę, galaktykę lub inne ciało niebieskie np. kometa. Termin ten służy do określenia pozornej jasności obiektu, czyli jak jasny jest obiekt dla obserwatora. Jasność ciała niebieskiego m , która odpowiada strumieniowi promieniowania F dana jest następującą zależnością:

$$m = -2,5 \log_{10} F + C = -2,5 \log F + C. \quad (1)$$

Jednostką jasności danego ciała niebieskiego jest wielkość gwiazdowa, która zwana jest także jako magnitudo. Zauważmy, że w równaniu (1) po jego prawej stronie po-

jawia się stała C , która ustala punkt zerowy dla logarytmicznej skali jasności i może być przyjęta w całkowicie dowolny sposób. Wykorzystując równanie (1) zapiszmy je dla dwóch dowolnych źródeł światła:

$$\begin{cases} m_1 = -2,5 \log F_1 + C, \\ m_2 = -2,5 \log F_2 + C. \end{cases} \quad (2)$$

Dla układu równań (2) wykonajmy teraz odejmowanie stronami, wówczas otrzymamy, że:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log F_1 + C - (-2,5 \log F_2 + C). \quad (3)$$

Przekształcając równanie (3) możemy zapisać, że:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log F_1 + C + 2,5 \log F_2 - C. \quad (4)$$

Wykonajmy teraz redukcję wyrazów podobnych w równaniu (4):

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log F_1 + 2,5 \log F_2. \quad (5)$$

Następnie wyłączmy przed nawias stały czynnik $-2,5$, co możemy wyrazić jako:

$$m_1 - m_2 = -2,5 (\log F_1 - \log F_2). \quad (6)$$

Prawą stronę równania (6) możemy nieco uprościć wykorzystując własności logarytmów – logarytm ilorazu dwóch liczb jest równy różnicy logarytmów tych liczb. Wówczas równanie (6) możemy wyrazić w następującej postaci:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log \frac{F_1}{F_2}. \quad (7)$$

Zauważmy, że $\Delta m = m_1 - m_2$, więc równanie (7) jest równe:

$$\Delta m = -2,5 \log \frac{F_1}{F_2}. \quad (8)$$

Jeżeli założymy, że różnica jasności $\Delta m = 1$ magnitudo, odpowiada to stosunkowi strumieni:

$$\frac{F_1}{F_2} = 10^{(m_2 - m_1)/2,5} = 10^{1/2,5} = 10^{0,4} = 2,512. \quad (9)$$

Wielkość strumienia, który dobiega od rozpatrywanej gwiazdy do obserwatora w głównej mierze zależy od dwóch czynników. Pierwszy z nich stanowi całkowita moc promieniowania wysyłanego przez gwiazdę, a drugim czynnikiem jest odległość gwiazdy. Jeżeli pominiemy wpływ odległości wówczas będziemy mówić o jasności absolutnej badanej gwiazdy.

Rozważmy teraz następujący przykład: wyobraźmy sobie dowolną gwiazdę, która znajduje się w odległości r i ma ona jasność obserwowalną m . Dokonując myślowego zabiegu, przenieśmy tę samą gwiazdę na odległość r_0 i ponownie zmierzmy jej jasność, którą oznaczmy jako M . Zauważmy, że w pustej przestrzeni strumień jest odwrotnie proporcjonalny do kwadratu odległości, więc pomiędzy strumieniem wyjściowym F a strumieniem F_0 jaki zarejestrowalibyśmy w nowej lokalizacji r_0 zachodzi związek:

$$\frac{F}{F_0} = \frac{r_0^2}{r^2}. \quad (10)$$

Wykorzystując ponownie zależność (7) możemy zapisać, że:

$$m - M = -2,5 \log \frac{F}{F_0} = 5 \log r - 5 \log r_0. \quad (11)$$

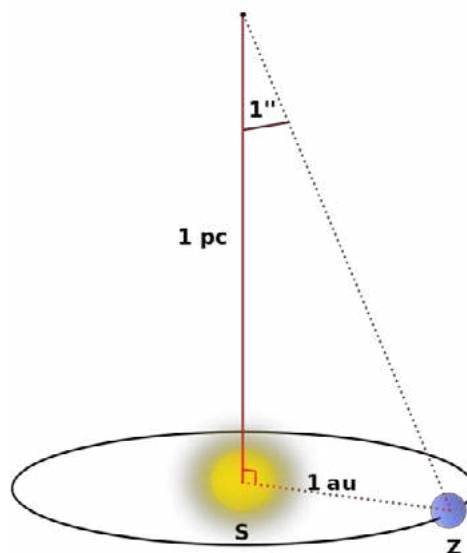
Jeżeli odległość r wyrazimy w parsekach i założymy umownie, że $r_0 = 10$ pc wówczas równanie (11) dane jest jako:

$$m - M = 5 \log r - 5 \log 10. \quad (12)$$

Przypomnijmy, że parsek to odległość, dla której kąt paralaksy (równy połowie kąta całkowitej rocznej zmiany) położenia Ziemi widzianej prostopadle do płaszczy-



Fotografia jasnej gwiazdy Alfa Centauri, która jest najbliższym Układowi Słonecznemu układem gwiazdowym. Foto: NASA



Rys. 1. Graficzna ilustracja parseka.

znych orbity wynosi 1 sekundę łuku. Graficzną ilustrację parsek przedstawił na rys. 1.

Zauważmy, że zgodnie z początkowym naszym założeniem podstawa logarytmu była równa 10 więc równanie (12), a w szczególności drugi człon po jego prawej stronie nieco się upraszcza, to znaczy, że: $5 \log_{10} 10 = 5$. Wówczas otrzymujemy, że:

$$m - M = 5 \log r - 5. \quad (13)$$

Przekształcając równanie (13), obliczmy na jego podstawie jasność gwiazdy M , wówczas mamy:

$$M = m + 5 - 5 \log r. \quad (14)$$

Dodatkowo na podstawie rys. 1. możemy zapisać:

$$\begin{aligned} 1 \text{ pc} &= \frac{1 \text{ au}}{\tan(1'')} = \frac{1 \text{ au}}{\tan\left(\frac{1}{60 \cdot 60} \cdot \frac{\pi}{180}\right)} = \frac{648000}{\pi} \text{ au} \\ &= 206264,81 \text{ au}. \end{aligned} \quad (15)$$

Dodatkowo, aby podkreślić skalę odległości wyrażoną poprzez parsek przeliczmy go jeszcze na podstawową jednostkę odległości stosowaną w fizyce, czyli metry. Wiedząc, że: $1 \text{ au} = 149597870700 \text{ m}$ otrzymujemy:

$$1 \text{ pc} = 206264,81 \text{ au} = 3,085677581 \cdot 10^{16} \text{ m}. \quad (16)$$

Otrzymany parametr M dany równaniem (14) jest jasnością absolutną. Zauważmy, że równanie (14) jest poprawne przy założeniu pustej przestrzeni międzygwiazdowej, gdzie zakładamy, że zmiana strumienia świetlnego zachodzi wyłącznie z przyczyn czysto geometrycznych. W rzeczywistym przypadku światło dochodzące do obserwatora jest osłabiane w wyniku jego oddziaływania z materią międzygwiazdową. Zjawisko to opisujemy poprzez ekstynkcję międzygwiazdową (poczerwienie międzygwiazdowe). Oznacza to sumę procesów pochłaniania i rozpraszania światła w przestrzeni międzygwiazdowej przez znajdującą się tam materię (pył i gaz) między

emitującym obiektem astronomicznym a obserwatorem. Ekstynkcję w widmie ciągłym powoduje wyłącznie materia pyłowa. W związku z tym ciała niebieskie wydają się dla obserwatora mniej jasne i bardziej czerwone niż są w rzeczywistości (synonim ekstynkcji – poczerwienienie). Wynika to z faktu, że ekstynkcja maleje ze wzrostem długości fali światła. Dlatego gołym okiem nie jesteśmy w stanie obserwować centrum naszej Galaktyki, mimo że można je badać w innych zakresach widma, np. w zakresie mikrofal. Obecność ziaren pyłu w obłokach międzygwiazdowych odgrywa kluczową rolę w procesach formowania gwiazd.

W astrofizyce gwiazdowej pomiary strumienia promieniowania prowadzi się zazwyczaj w skończonym zakresie widmowym, który definiowany jest poprzez przepuszczalność filtra barwnego $\phi(\lambda)$ i czułość widmową odbiornika $p(\lambda)$. Niech łączny wynik działania odbiornika i filtra dany jest jako:

$$f(\lambda) = p(\lambda)\phi(\lambda), \quad (17)$$

a norma funkcji $f(\lambda)$ jest dano jako:

$$\int_0^{\infty} f(\lambda) d\lambda = 1. \quad (18)$$

Zauważmy, że funkcja $f(\lambda)$ wyznacza pasmo fotometryczne (inaczej barwę) dla którego określona jest jasność ciała niebieskiego (np. gwiazdy) o rozkładzie widmowym promieniowania:

$$m_f = -2.5 \log \int_0^{\infty} F(\lambda) f(\lambda) d\lambda + \text{const}. \quad (19)$$

Zazwyczaj w celu charakterystyki danego pasma wygodnie jest posłużyć się średnią długością fali (równanie (20)) lub efektywnej długości fali (równanie (21)):

$$\lambda_0 = \frac{\int_0^{\infty} f(\lambda) \lambda d\lambda}{\int_0^{\infty} f(\lambda) d\lambda}, \quad (20)$$

$$\lambda_{\text{ef}} = \frac{\int_0^{\infty} f(\lambda) F(\lambda) \lambda d\lambda}{\int_0^{\infty} f(\lambda) F(\lambda) d\lambda}. \quad (21)$$

Analizując równanie (20) można zauważyć, że średnia długość fali jest całkowicie określona przez widmowy przebieg czułości fotometru. Natomiast z analizy równania (21) wynika, że aktywna długość fali zależy zarówno od czułości fotometru i rozkładu widmowego obserwowanego promieniowania.

Wyznaczanie odległości do gwiazdy

Obliczenie odległości do gwiazd stanowi jeden z fundamentalnych zagadnień wpisujących się w astrofizykę gwiazdową. Wyznaczenie tego parametru umożliwia wyobrażenie o skali odległości we Wszechświecie, a także za jego pomocą możemy obliczyć inne ważne parametry. Określając odległość do gwiazd należy dokonać pomiaru

kąta paralaksy heliocentrycznej gwiazdy. Inaczej mówiąc należy wykorzystać metodę paralaksy trygonometrycznej, w której podstawę (bazę) stanowi orbita Ziemi wokół Słońca, a pomiar kierunku do danej gwiazdy dokonujemy w odstępie czasu co pół roku. Metodologia takiego pomiaru została przedstawiona na rys.2.

Podkreślmy, że obserwacje astronomiczne w praktyce sprowadzają się do śledzenia (pomiaru) zmiany położenia monitorowanej gwiazdy na tle innych. Na podstawie rysunku 2 w łatwy sposób można zauważyć, że pomiędzy kątem paralaksy π , a odległością d od Słońca do danej gwiazdy zachodzi prosta zależność:

$$\text{tg } \pi = \frac{a}{d}. \quad (22)$$

Zauważmy, że zależność dana równaniem (22) wynika bezpośrednio z definicji funkcji trygonometrycznej tangens. Ponieważ kąt paralaksy π jest bardzo mały, więc tangens kąta paralaksy π jest w przybliżeniu równy wartości tego kąta wyrażonego w radianach. Dokładniej mówiąc obowiązuje tu następujący wzór: $\text{tg } \pi \approx \pi$.

Jeżeli kąt paralaksy π wyrazimy w sekundach łuku, a odległość układu Ziemia – Słońce przyjmiemy jako jedną jednostkę astronomiczną (1 au) to odległość do gwiazdy będzie dana jako:

$$d = \frac{206264,81}{\pi''} \text{ au}, \quad (23)$$

gdzie w liczniku równania (23) wykorzystaliśmy wartość z równania (15).

W rzeczywistości wartości kąta paralaksy π są bardzo małe i nawet dla najbliższych gwiazd nie przekraczają jednej sekundy łuku, dlatego też w astronomii powszechnie używamy jednostek o większych zakresach np. rok świetlny czy wspomniany już parsek.

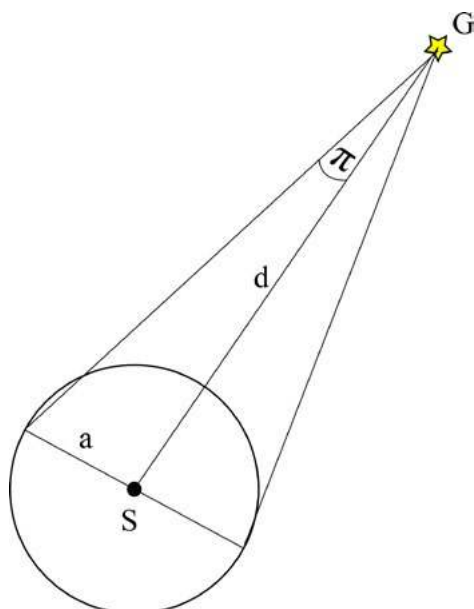
Jeżeli odległość d do danej gwiazdy wyrazimy w parsekach, a paralaksę w sekundach łuku to równanie (24) przyjmuje następującą postać:

$$d = \frac{1}{\pi''} \text{ pc}. \quad (24)$$

Jako przykład obliczmy w parsekach odległość najbliższej gwiazdy od Słońca – Proxima Centauri, która jest gwiazdą typu czerwony karzeł znajdującą się około



Foto – Adobe Stock



Rys. 2. Paralaksa heliocentryczna, na rysunku przyjęto następujące oznaczenia: S to Słońce, G to badana gwiazda, a jest średnią odległością Ziemi od Słońca, d jest poszukiwaną odległością do obserwowanej gwiazdy, a π jest kątem paralaksy. Zauważmy, że gwiazda G znajduje się w płaszczyźnie orbity Ziemi.

4,24 lat świetlnych od Ziemi, w gwiazdozbiornie Centaura. Jednakże jej blask jest zbyt słaby, aby można ją było dostrzec gołym okiem. W obliczeniach przyjmujemy, że paralaksa heliocentryczna tej gwiazdy jest równa $\pi = 0''$, 76850.

Wykorzystując równanie (24) możemy zapisać, że:

$$d = \frac{1}{0'', 76850} \approx 1,3 \text{ pc}.$$

Uwaga:

Ze względu na duże odległości do gwiazd przedstawiona prosta metoda paralaks trygonometrycznych może być stosowana tylko do najbliższych gwiazd.

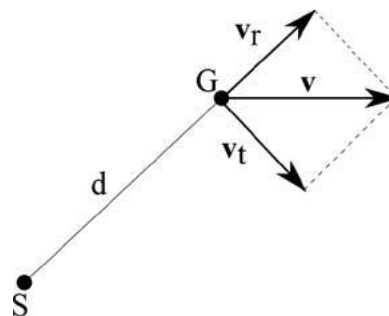
Prędkość gwiazdy

W układzie związanym ze Słońcem wektor prędkości v danej gwiazdy możemy rozłożyć na dwie składowe: tangencjalną v_t czyli składową prostopadłą do kierunku widzenia i radialną v_r czyli składową równoległą do tego kierunku. Prędkość tangencjalna v_t określa zmianę położenia danej gwiazdy na tle innych z reguły bardziej odległych gwiazd. Oznacza to, że składowa tangencjalna prędkości jest obserwowana jako ruch własny gwiazdy na niebie. Rozkład tych dwóch składowych prędkości został przedstawiony na rys.3.

Wykorzystując nasz wcześniejsze rozważania wynikające z mechaniki nieba oraz twierdzenie Pitagorasa możemy zapisać, że:

$$v^2 = v_t^2 + v_r^2. \quad (25)$$

Zauważmy, że ruch własny gwiazdy μ zazwyczaj wyraża się w sekundach łuku na rok. Oznacza to, że znając ruch własny rozpatrywanej gwiazdy możemy określić wartość o jaki kąt na niebie gwiazda ta przesunie się w ciągu roku na tle innych odległych gwiazd. Znając odległość układu Słońce – rozpatrywana gwiazda i jej ruch własny, który jest małym kątem możemy obliczyć wartość prędkości tangencjalnej korzystając z rys. 4.



Rys. 3. Rozkład wektora prędkości rozważanej gwiazdy na dwie składowe: tangencjalną i radialną. Na rysunku przyjęto następujące oznaczenia: S to Słońce, G to gwiazda, d to odległość gwiazdy od Słońca, v to prędkość gwiazdy, v_t i v_r to składowe prędkości gwiazdy odpowiednio tangencjalna i radialna.

Wówczas mamy:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{v_t}{d}. \quad (26)$$

Po prostych przekształceniach mamy:

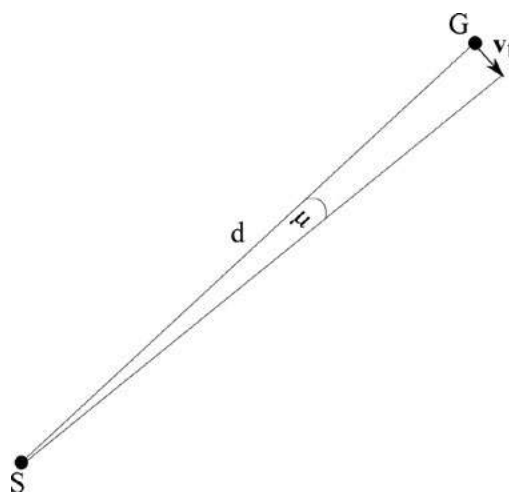
$$v_t = d \cdot \operatorname{tg} \mu = d \frac{\mu''}{206264,81}. \quad (27)$$

Zauważmy, że obliczona w ten sposób prędkość tangencjalna wyrażona jest w parsekach na rok. Wykonajmy teraz dla porządku przeliczenie tej prędkości na bardziej powszechne jednostki np. km/s. W tym celu wykorzystajmy ponownie równanie (16) oraz przypomnijmy, że:

$$\begin{aligned} 1 \text{ rok} &= 365,2422 \text{ doby} = 365,2422 \cdot 24 \text{ godziny} = \\ &= 365,2422 \cdot 24 \cdot 60 \text{ minut} \\ &= 365,2422 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} = 3,156 \cdot 10^7 \text{ s}. \end{aligned} \quad (28)$$

Wykorzystując równania (16), (27) i (28) ostatecznie możemy zapisać, że:

$$\begin{aligned} v_t &= \frac{3,085677581 \cdot 10^{13}}{3,156 \cdot 10^7 \cdot 206264,81} \cdot d \mu'' = 4,74011 \cdot d \mu'' \\ &= 4,74011 \cdot \frac{\mu''}{\pi''} [\text{km} \cdot \text{s}^{-1}]. \end{aligned} \quad (29)$$



Rys. 4. Składowa tangencjalna prędkości v_t gwiazdy i jej ruch własny μ . Ponadto przyjęto, że: S to Słońce, G to gwiazda, d to odległość gwiazdy od Słońca.

Podkreślmy, że ruch własny gwiazdy wyrażony został w sekundach łuku na rok, a jej paralaksa w sekundach łuku a prędkość w km/s.

Druga składowa prędkości gwiazdy, czyli prędkość radialna jest mierzona w oparciu o zjawisko Dopplera. Zgodnie z tym zjawiskiem długość fali światła dobiegająca do obserwatora od badanej gwiazdy (czyli w tym przypadku źródła), które oddala się z prędkością v_r wynosi:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \left(1 + \frac{v_r}{c}\right). \quad (30)$$

W równaniu (30) poszczególne symbole oznaczają: λ_0 jest to długość fali, która jest wysyłana przez gwiazdę (źródło światła), a c stanowi prędkość światła. Zauważmy, że oddalanie się od gwiazdy jako źródła światła powoduje przesunięcie linii widmowych w kierunku podczerwieni. Natomiast jeżeli źródło światła zbliża się do obserwatora będzie dawało to przesunięcie linii widmowych w kierunku fioletu. Oznaczmy jeszcze różnicę w długości fali wysyłanej i odbieranej przez $\Delta\lambda$, które jest równe:

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0. \quad (31)$$

Wykonując proste przekształcenie równania (30) możemy zapisać, że:

$$\lambda = \lambda_0 + \lambda_0 \frac{v_r}{c}. \quad (32)$$

Następnie przekształćmy dalej równanie (32):

$$\lambda - \lambda_0 = \lambda_0 \frac{v_r}{c}. \quad (33)$$

Pomóżmy teraz obustronnie równanie (33) przez c i wykorzystajmy jednocześnie zależność (31), wówczas mamy:

$$\Delta\lambda c = \lambda_0 v_r. \quad (34)$$

Wówczas ostatecznie otrzymujemy, że:

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c. \quad (35)$$

Jeżeli $\lambda > \lambda_0$ to składowa radialna prędkości gwiazdy (źródła światła) ma wartość dodatnią i źródło oddala się od obserwatora. Natomiast jeżeli $\lambda < \lambda_0$ to składowa radialna prędkości gwiazdy (źródła światła) ma wartość ujemną, wówczas gwiazda zbliża się do obserwatora.

dr hab. Marcin Wesołowski, prof. UR

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

LITERATURA:

- [1] Kreiner J. M., Astronomia z astrofizyką, Wydawnictwo Naukowe PWN 1988.
- [2] Kubiak M., Gwiazdy i materia międzygwiazdowa, Wydawnictwo Naukowe PWN 1994.
- [3] Rybka E., Astronomia ogólna, Wydawnictwo Naukowe PWN 1970.
- [4] Wesołowski M., Wybrane zagadnienia z mechaniki nieba cz. I, 2023, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 1, str. 44-50.
- [5] Wesołowski M., Wybrane zagadnienia z mechaniki nieba cz. II, 2023, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 2, str. 46-50.
- [6] Wesołowski M., Wybrane zagadnienia z mechaniki nieba cz. III, 2023, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 3, str. 43-50.

Więcej europejskich rakiet

Europa też ma plany dotyczące wprowadzenia rakiet wielokrotnego użytku, podobnych do rakiet Falcon budowanych przez SpaceX – zwrócił uwagę w rozmowie z PAP dr Tomasz Barciński z Centrum Badań Kosmicznych PAN, komentując ostatnie starty amerykańskiej rakiety Starship i europejskiej Ariane-6.

W ósmym locie testowym wystartował Starship, a Europa po raz drugi wystrzeliła Ariane-6, wynosząc na orbitę francuskiego satelitę wojskowego.

Zdaniem dr. Barcińskiego, kierownika Laboratorium Mechatroniki i Robotyki Satelitarnej CBK PAN, Europa wraca do samodzielnych lotów kosmicznych.

„Można powiedzieć, że Europa nie tyle stara się konkurować z USA czy resztą świata, ile próbuje wrócić do grupy państw, które mają samodzielny dostęp do głębokiej przestrzeni kosmicznej. W czasie pomiędzy lotami Ariane-5 i wprowadzeniem Ariane-6 właściwie nie mieliśmy takiej możliwości. Dzięki Ariane-6 Europa wraca na arenę wynoszenia pojazdów kosmicznych na orbitę geostacjonarną i dalej” – podkreślił ekspert.

Jak zaznaczył, technologie Ariane-6 to nie przełom, ale wprowadzono istotne ulepszenia.

„Konstrukcja Ariane-6 nie jest rewolucyjna, choć rakietą jest oczywiście nowocześniejsza od Ariane-5 i ma kilka znaczących udoskonaleń. Jedno z nich polega na tym, że ostatni człon rakiety może zmieniać orbity. Dzięki temu może np. umieścić satelitę na dwóch różnych orbitach

w trakcie jednego lotu. To zasługa głównie silnika Vinci, który można włączać i wyłączać w kosmosie. W porównaniu do budowy rakiet wielokrotnego użytku, nawet takich jak od dawna używane rakiety Falcon SpaceX, to mały krok, ale jednak istotny” – ocenił ekspert.

Uznał, że warto mieć technologię, która jest już sprawdzona, a jednocześnie rozwijać bardziej nowatorskie podejścia, które będą przełamywały pewne bariery.

„Chodzi m.in. o bariery cenowe. Gdy rakietą wraca i jest ponownie wykorzystywana, takie loty są dużo tańsze od startów rakiet jednorazowego użytku, które za każdym razem trzeba zbudować od nowa. Z drugiej strony sprawdzone rozwiązania są bezpieczniejsze. Z podejścia polegającego na wykorzystaniu sprawdzonej technologii i jednoczesnego rozwijania rewolucyjnych rozwiązań korzysta właśnie SpaceX. Od dawna masowo latają sprawdzone już rakiety Falcon, a w tym samym czasie budowany jest Starship, którego od Falconów pod względem technologicznym dzieli przepaść” – tłumaczył dr Barciński.

Jak zaznaczył, Europa też ma jednak szanse na własne powracające i lądujące rakiety. „Także Europa ma plany dotyczące wprowadzenia rakiet wielokrotnego użytku, podobnych do rakiet Falcon budowanych przez SpaceX. Całość takiego pojazdu lub jego część będzie w kontrolowany sposób lądowała na specjalnej platformie. Na razie są to jednak wstępne projekty” – poinformował.

PAP – Nauka w Polsce

PRENUMERATA 2025

**PRZEDŁUŻ
LUB
ZAMÓW!**

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



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

eprasa.pl 8fc99a0df7

WYDANIE SPECJALNE *FIZYKI W SZKOLE*

WERSJA ELEKTRONICZNA – **PLIK PDF**

- ✓ **Jak to się zaczęło?**
- ✓ **Co to są wielkie pęki?**
- ✓ **Promieniowanie kosmiczne a fizyka cząstek elementarnych**
- ✓ **Promieniowanie kosmiczne a życie na Ziemi**
- ✓ **Zapomniani odkrywcy**
- ✓ **W poszukiwaniu Wyspy Stabilności**



**Cena
25 zł**

(w tym 8% VAT)

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

eprasa.pl 8fc99a0df7