FIZYKA
w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI
371 (LXIV) indeks 35810X Nr 6 listopad/grudzień 2020 CENA 30,00 zł (w tym 8% VAT)

Od balonów do lotów międzyplanetarnych

Jak zbudować domowy spektroskop?

Litosfera i jądro Ziemi

Czym są fale grawitacyjne?

Termodynamika, mechanika płynów, statyka...

STRAŻAK I FIZYKA

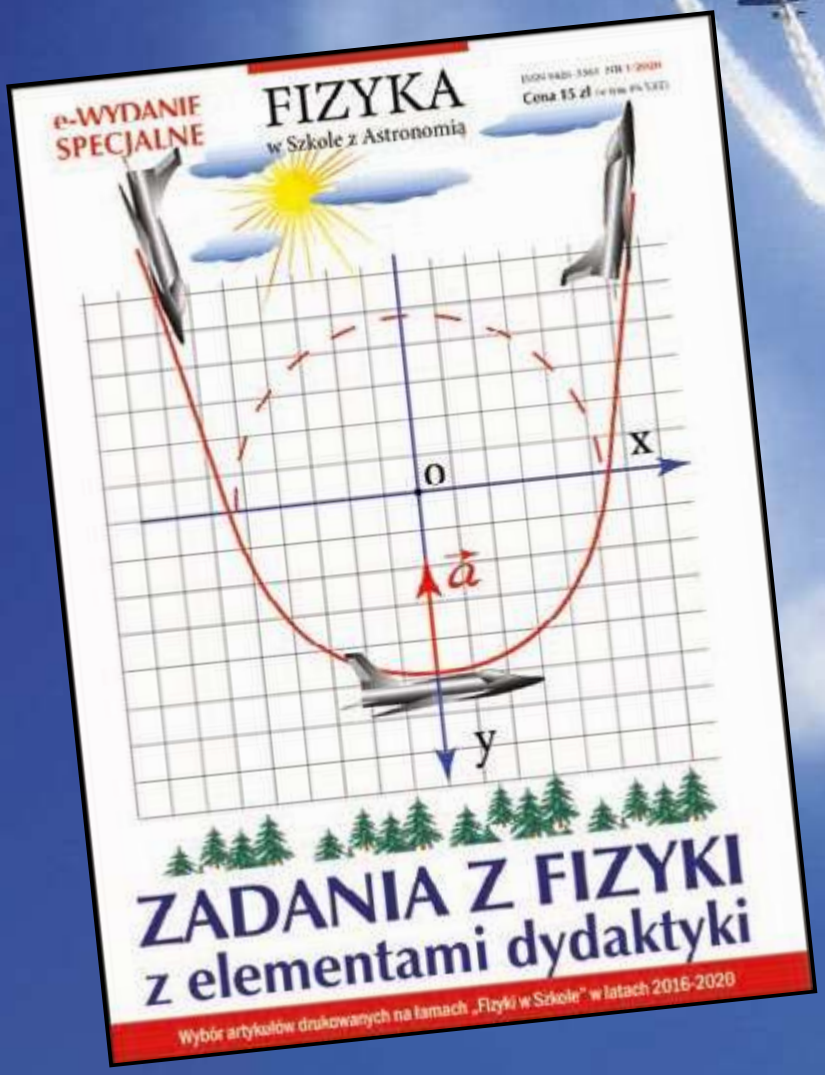
ISSN 0426-3383

eprasa.pl 3058c33c15

90 zadań, 20 przykładów i 10 problemów

(z omówieniem niektórych rozwiązań)

- ✔ **Dlaczego fizyka** jest trudna dla nauczyciela?
- ✔ **Światowe trendy** w dydaktyce fizyki
- ✔ **Które zadania** są dla ucznia interesujące?
- ✔ **Czynniki wpływające** na zapamiętywanie wiedzy



Wydanie specjalne w wersji elektronicznej (PDF)

Ceny 15 zł!

Szczegóły i formularz zamówienia: www.aspress.com.pl/specjalne/

eprasa.pr 3058c33e15

Drodzy Czytelnicy!

Jest nam niezwykle miło przekazać kolejny numer „Fizyki w Szkole”.

Na początek chcielibyśmy polecić artykuł debiutującego na naszych łamach autora Cypriana Sobczaka. Autor w przystępny sposób przybliża tematykę fal grawitacyjnych. Tematyka ta jest praktycznie nieobecna we współczesnych podręcznikach fizyki. Jednak, ze względu na jej „gorący” charakter związany z niedawnymi wynikami eksperymentalnymi, każdy nauczyciel może spodziewać się pytania o nie od dociekliwego ucznia.

Skoro jesteśmy przy gorących tematach to warty polecenia artykuł Tomasza Kubiaka o fizyce w pożarnictwie. Autor omawia w nim najróżniejsze aspekty fizyczne związane zarówno z pożarami jak i sprzętem gaśniczym. Znajdziemy w nim nie tylko opis różnych typów gaśnic, ale nawet analizę sił człowieka stojącego na drabinie.

Andrzej Wasiak z kolei przedstawił artykuł będący matematyczną odpowiedzią na pytanie – dlaczego samoloty nie spadają.

Ambitnym miłośnikom astronomii chcielibyśmy polecić artykuł trójki autorów o tym, jak zbudować spektroskop. Zbudowanie go zgodnie z instrukcją zawartą w artykule pozwoli na wykonanie bardzo profesjonalnych pomiarów składu chemicznego gwiazd i innych obiektów astronomicznych.

Na sam koniec pozwolę sobie złożyć Państwu tradycyjne życzenia miłej lektury oraz Wesołych Świąt i Szczęśliwego Nowego Roku.

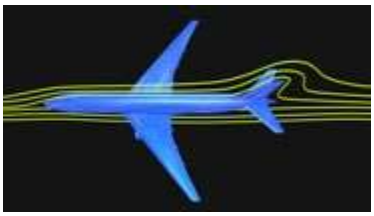
W imieniu redakcji
Zbigniew Wiśniewski

4 **Fale grawitacyjne** ▮ **Cyprian Sobczak**
Czym są fale grawitacyjne, skąd się biorą oraz dlaczego wielu naukowców z zapartym tchem czekało na ich wykrycie, pomimo że sam Albert Einstein uważał, iż nie istnieją one poza światem abstrakcji matematycznej?

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

10 **Fizyka w pożarnictwie** ▮ Tomasz Kubiak
Wiele osób niekoniecznie zdaje sobie jednak sprawę z faktu, że dobry strażak nie tylko musi być sprawny ruchowo, ale również posiadać ugruntowaną wiedzę z fizyki, a w szczególności z termodynamiki, mechaniki płynów czy statyki.

18 **Fizyka latania** ▮ Andrzej Wasiak
Dziś, kiedy o lotach międzyplanetarnych mówi się bez większego przejęcia, jak o rzeczy zupełnie naturalnej, nie zawsze pamięta się o drogach, które do lotów tych prowadziły i ogromnym wkładzie talentu, zapału, pracy i poświęcenia setek i tysięcy ludzi, którzy mimo trudności i niepowodzeń doprowadzili współczesny stan wiedzy lotniczej do tak wysokiego poziomu.



22 **CZARNOBYL – zmorą naszych czasów? Cz. II. To straszące po nocach promieniowanie...** ▮ Wioletta Monika Dynkowska
O co chodzi z jodem? Dlaczego akurat cez? Czym jest promieniowanie beta minus? Czym jest promieniowanie w ogóle?

Z naszych lekcji

28 **Zasada superpozycji pól elektrycznych i jej zastosowanie do rozwiązywania zadań** ▮ Czesław Surowiec

31 **TIK na lekcjach fizyki** ▮ Arleta Biegańska

34 **O analogiach w fizyce (miniatura dydaktyczna)** ▮ Waldemar Reńda

36 **Fidget Spinner w nauczaniu fizyki** ▮ Kazimierz Mikulski

44 **Dwudziestolecie Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki** ▮ Stanisław Bednarek

Astronomia dla każdego

40 **Odkrywanie nieba, czyli domowy spektroskop** ▮ Karol Masztalerz, Agnieszka Pręgowska, Magdalena Osial

Geofizyka

46 **Ziemia planeta wyjątkowa – cz. 13. Wnętrze Ziemi** ▮ Zbigniew Wiśniewski
Jak wszystkie planety Ziemia ma złożoną wielowarstwową strukturę i jej przekrój przypomina cebulę.

FIZYKA w Szkole z Astronomią
CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI
NUMER 6 LISTOPAD/GRUDZIEŃ 2020 Nakład 3000 egz. CENA 30,00 zł
371 (LXIII) indeks 35810X ISSN 0426-3383 (w tym 8% VAT)

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

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

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

Fale grawitacyjne

Czym są fale grawitacyjne, skąd się biorą, oraz dlaczego wielu naukowców z zapartym tchem czekało na ich wykrycie, pomimo że sam Albert Einstein uważał, iż nie istnieją one poza światem abstrakcji matematycznej?

Cyprian **Sobczak**

Pomysł, że oscylacja masy może powodować powstanie fali w czasoprzestrzeni, wywodzi się z poszukiwań analogi pomiędzy równaniami elektrodynamiki i grawitacji. Już Einstein zauważył, że z jego równań, można wyprowadzić równanie falowe, jednak uznał to za sztuczkę matematyczną, która nie ma odbicia w rzeczywistym świecie. Dopiero polski uczony profesor Andrzej Trautman udowodnił, że takie fale rzeczywiście mogą istnieć i że jest sposób na ich zarejestrowanie. Dzięki wysiłkom i staraniom wielu ludzi, w 2015 roku, odkryto pierwszą falę grawitacyjną wędrującą do ziemi 1,3 miliarda lat, powstałą przez zderzenie się dwóch czarnych dziur.

Możliwość wykrywania fal grawitacyjnych daje nam nowe narzędzie do badania Kosmosu i być może pozwoli nam odkryć jego kolejne tajemnice.

Czym są fale grawitacyjne?

Fala grawitacyjna to rozchodzące się z prędkością światła zaburzenie krzywizny czasoprzestrzeni, spowodowane ruchem masywnego układu obiektów. Aby poczuć dobrze analogię, do której zmierzamy, możemy powiedzieć, że mamy do czynienia z sytuacją, gdy oscylacja obiektu wytwarzającego pole powoduje wytworzenie fali. [1] Skojarzenie ze sposobem powstania fali elektromagnetycznej, przedstawianym przez elektrodynamikę, jest w tym przypadku jak najbardziej na miejscu, a podobieństw pomiędzy tymi teoriami napotkamy znacznie więcej. [3]

Już w szkole jesteśmy uczeni, aby zwracać uwagę na konstrukcje wzorów na potencjały grawitacyjny i elektryczny, wyrażone odpowiednio:

$$\Phi = -\frac{GM}{r}, \tag{1}$$

gdzie G to pewna stała, M masa źródła pola oraz r – odległość do masy próbnej.

$$V = \frac{kQ}{r}, \tag{2}$$

gdzie k to pewna stała, Q ładunek źródła pola oraz r – odległość do ładunku próbnego.

Widać, że struktura tych wyrażeń jest identyczna z dokładnością do znaku, a jak to zwykł mawiać Richard Feynman, takie same równania, mają takie same rozwiązania i rzeczywiście, aby wyznaczyć siłę, z jaką działałby ładunek i obojętna masa próbna na źródła, z którymi oddziałują, wystarczyłoby policzyć gradient powyższych równań i wymnożyć przez przyjęte wartości próbne.

Różnica w znaku tyczy się faktu, że grawitacja ma charakter przyciągający i chociaż istnieją pewne problemy związane z faktem, że Wszechświat się rozszerza, a rozszerzanie jest tym większe im coś jest dalej, tak jakby grawitacja powyżej pewnej odległości zmieniała znak, to jednak nie przypisujemy tego ujemnej, odpychającej sile grawitacji, tylko wiążemy ze stałą kosmologiczną, lub jak kto woli ciemną energią.

Obydwa oddziaływania (grawitacyjne i elektromagnetyczne) mają charakter centralny, co nie ulegało wątpliwością od wieków. Do odkrycia kolejnego podobieństwa

eprasa.pl 3058c33e15

pomiędzy opisem wymienionych odziaływań musieliśmy poczekać aż pojawi się Einstein i zdefiniuje pojęcie relatywizmu, za którym stoi stałość prędkości światła (którą można wyliczyć z równań elektrodynamiki) oraz, że prawa fizyki są jednakowe we wszystkich układach, chociaż wybór naszego układu współrzędnych może czasem wpłynąć na ich interpretację. Wymagało to zbudowania nowej teorii grawitacji, nazwanej ogólną teorią względności, która wstrząsnęła naszym sposobem rozumienia świata.

Nowa teoria pokazała nam, że nasze nogi starzeją się wolniej od naszej głowy, światło latarki ma nieco inną barwę w zależności od tego, czy ktoś poświeci nam w oczy z góry, czy z dołu, a obwód pizzy, z którą dostawca czekałby pod oknem kilka pięter pod nami, byłby mniejszy od średnicy pomnożonej przez pi, nawet gdyby nikt po drodze jej nie podjadał [1].

Pokazała nam również, że nasze wyobrażenie o grawitacji, jako o przyciągającym oddziaływaniu między dwoma masami, analogicznym do przyciągania skrawków papieru przez potarty o włosy plastikowy długopis, a jedynie słabszym o 36 rzędy wielkości, jest błędne. I chociaż oddziaływanie dwóch przeciwnych biegunów magnesów jest również niezwykle fascynującym i skomplikowanym procesem, jak to pokazuje elektrodynamika kwantowa, to natura grawitacji jest dalece bardziej nieoczekiwana, niż sądzono za sprawą Newtona.

Grawitacja jako zakrzywienie czasoprzestrzeni

Okazuje się, że masa, którą możemy nazwać źródłową, powoduje, że czasoprzestrzeń, w której się znajduje, ulega deformacji, tak jakby odrobinę się zapadła. Można to z kilkoma zastrzeżeniami porównać do, być może znanego nam zjawiska, zapadania się na trampolinie. Jeżeli usiądziemy na trampolinie w mniej lub bardziej wygodnej pozycji, pozwalającej nam obserwować co się z nią dzieje, to zobaczymy, że owa trampolina, którą roboczo możemy przyjąć za przestrzeń, zapadnie się tworząc pewne zagłębienie, a obiekty takie jak piłka, które się w nim znajdą, starają się dotrzeć do jego centrum, w którym akurat znajdujemy się my.

Jeżeli ten przykład jest zrozumiały, to możemy spróbować odrobinę precyzyjniej odnieść go do rzeczywistości. Otóż przestrzeń nie wyróżnia żadnych kierunków, tak jak dzieje się to na trampolinie, która przez zapadnięcie, wskazuje nam kierunek działania siły ciężkości. W rzeczywistości Słońce wytwarza zagięcie w przestrzeni z każdej strony, co ciężko sobie wyobrazić, a jeszcze trudniej zilustrować. To trochę tak, jakby w każdym punkcie na słońcu umieścić styczną do niego trampolinę, która się zapada. Jakby tego było mało, Słońce nie deformuje tylko przestrzeni, ale również i czas, co razem tworzy czasoprzestrzeń.

No i ostatnia z natychmiast zauważanych różnic w naszym przykładzie: piłka, która znajdowałby się na trampolinie, również wytwarzałaby zagłębienie. Mówiąc precyzyjniej, Słońce odkształca czasoprzestrzeń w taki sposób, że przyciąga do siebie Ziemię, ale Ziemia również odkształca czasoprzestrzeń przyciągając do siebie Słońce. Oba ciała dążą do złączenia się, ale w związku z ich ruchem względem siebie są utrzymywane w stałej odległości za sprawą siły odśrodkowej. Chociaż często mówi się, że Ziemia krąży wokół Słońca, to tak naprawdę obydwa te ciała krążą wokół wspólnego środka masy, który znajduje się bardzo blisko środka naszej gwiazdy.

Dowodem takiej deformacji czasoprzestrzeni jest chociażby efekt soczewkowania grawitacyjnego, przewidziany przez ogólną teorię względności, wynikający stąd, że światło przelatujące obok masywnych obiektów zaczyna poruszać się po krzywej. Skutkuje to tym, że w pewnych okolicznościach możemy zaobserwować gwiazdy w miejscach, w których w rzeczywistości się nie znajdują, lub wręcz pierścień wokół masy, która zakrzywia bieg światła [2].

Efekt ten potwierdził doświadczalnie w 1919 roku Artur Eddnigton, obserwując gwiazdę znajdującą się za Słońcem podczas jego zaćmienia. Zaćmienie było w tamtym czasie jedynym momentem, w którym można było podjąć próbę zmierzenia tego efektu, ponieważ spośród obiektów, które dało się wtedy obserwować, tylko Słońce miało do tego wystarczającą masę.

Pomiar zakrzywienia pędzących fotonów potwierdził przewidywania ogólnej teorii względności, z której wynikało, że owe odchylenie wyniesie 1.75″, czyli 0.00049 stopnia. Pomiar wymagał bardzo dużej precyzji, ponieważ 0.00049 stopnia, to 1/2000 długości łuku na osi zegara, który byłby zakreślony przez wskazówkę minutową pomiędzy 12:00 a 12:01. Widać, że nawet na bardzo dużych zegarach nie jest proste.

Dla jasności, teoria Newtona także przewidywała taki efekt, ale przy uwzględnieniu masy fotonów, która po pierwsze wykluczałaby inne znane efekty, a po drugie fotony zwyczajnie nie mają masy. Ich zakrzywiona trajektoria jest efektem tego, że biegną ślepo na wprost po torze, będącym najkrótszą drogą z możliwych (zwaną geodezyjną), która w pobliżu masywnych obiektów staje się krzywą.

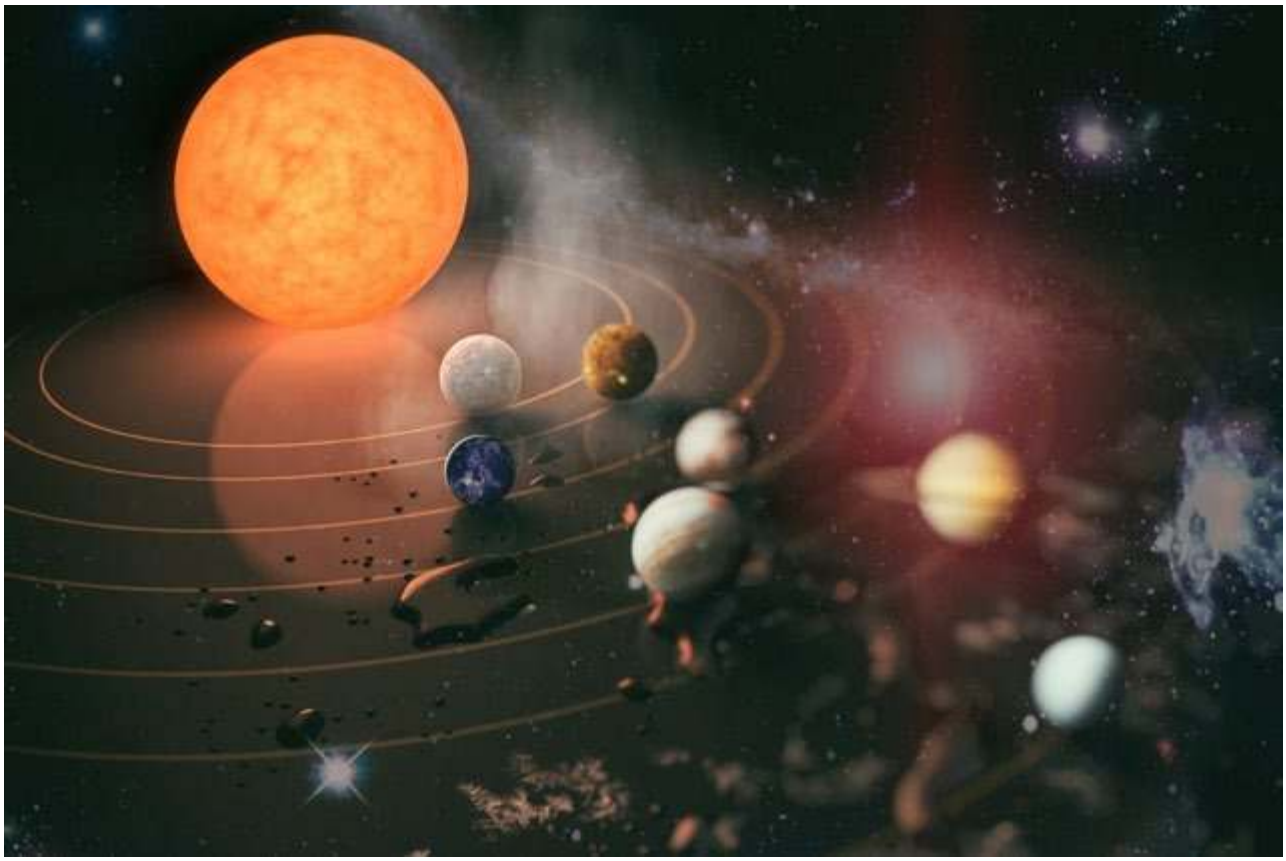
W przypadku problemu z zaakceptowaniem, że coś zakrzywionego może być najkrótszym odcinkiem pomiędzy dwoma punktami, weźmy do ręki piłkę i zaznaczmy na niej dowolne dwa punkty. Okaże się natychmiast, że linia, którą je połączymy nie będzie prostą, tylko łukiem o stałej krzywiźnie, a jej długość będzie miarą długości kątowej pomnożonej przez promień piłki. Geometria na takiej piłce również wymagałaby zdefiniowania na nowo, ponieważ dwie proste równoległe poprowadzone na kuli mogą się przeciąć (co odrzuca 5 aksjomat Euklidesa), natomiast suma kątów w trójkącie może wynieść znacznie ponad 180 stopni i warto mieć tego świadomość, bo w końcu na dużym, kulistym obiekcie żyjemy [1].

Równanie falowe

Pomimo znaczących odstępstw w genezie oddziaływania grawitacyjnego i elektromagnetycznego, równania obydwu teorii są podobne.

Pomijając żmudne wyprowadzenia, przedstawię od razu w zwięzłej postaci równania falowe w płaskiej przestrzeni.

eprasa.pl 3058c33e15



Ziemia i Słońce krążą wokół wspólnego środka masy, który znajduje się bardzo blisko środka naszej gwiazdy.

Dla fali grawitacyjnej w układzie jednostek zgeometryzowanych, gdzie $c = 1$ i $G = 1$

$$\Box \bar{h}_{\alpha\beta} = -16\pi T_{\alpha\beta}, \tag{3}$$

gdzie $\Box$ to operator d'Alemberta równy

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2},$$

$\bar{h}_{\alpha\beta}$ poprawka do tensora metrycznego zawierająca krzywiznę (czyli pewna macierz, której suma z Tensorem Minkowskiego opisuje krzywiznę czasoprzestrzeni w pobliżu słabych źródeł pola.) oraz T tensor energii-pędu.

Dla fali elektromagnetycznej w układzie jednostek masa-długość, gdzie $c = 1$.

$$\Box \mathbf{A} = \mu_0 \mathbf{J}, \tag{4}$$

gdzie **A** to potencjał wektorowy, μ_0 pewna stała, a **J** wektor gęstości prądu [1].

Nie będziemy głębiej analizować tych równań, ale ich obecność pozwala nam dostąpić odrobiny piękna przełamując monotonię tekstu, oraz zauważyć, że podobieństwo tych równań nie jest tak oczywiste, jak dla równań (1) i (2). Ich podobieństwo polega na tym, że obydwa opisują równanie fali biegnącej od źródła: w przypadku równania (4) jest to fala elektromagnetyczna, natomiast równanie (3) opisuje falę grawitacyjną dla słabego źródła i wynika z uproszczonych równań Einsteina opisującego ogólną teorię względności.

Chociaż od niego pochodzi nazwa, sam Einstein nie wierzył w istnienie fal grawitacyjnych, jak w kilka innych rzeczy, do których odkrycia się przyczynił. Uważał, że fale te są spowodowane złym wyborem układu współrzędnych. Zły układ współrzędnych to taki, który sprawia, że obserwujemy coś, czego nie ma. Jeżeli będziemy szli w kierunku ulicy, przy każdym kroku stając na palcach i opadając, to powiemy, że samochody przemieszczają się falując i będziemy próbować opisać ich ruch funkcjami okresowymi. Dobry układ współrzędnych wyeliminuje efekt pozorny, a przejdziemy do niego poprzez zatrzymanie się.

Po rozszerzeniu ogólności równań i pozbyciu się komplikacji związanych z układem współrzędnych, ostatecznie Einstein pozostał sceptycznie nastawiony do idei fal grawitacyjnych i porzucił ją uważając, że to tylko matematyczna zabawa i rozwiązania są nierzeczywiste.

Teoretyczny dowód o realności fal grawitacyjnych w przyrodzie, podał polski fizyk, profesor Andrzej Trautman, który analizując podobieństwa pomiędzy elektrodynamiką i ogólną teorią względności, podał czego powinniśmy się spodziewać po tych falach, co w konsekwencji zrodziło pomysł jak można je wykryć.

Fale grawitacyjne, to tak zwane fale poprzeczne, podobnie zresztą jak elektromagnetyczne. Wyobrazimy sobie falujący sznur, w którym na przemian pojawiają się górki i dołki. Gdybyśmy na takim sznurze próbowali odtworzyć zachowanie fali grawitacyjnej na sznurku, to zamiast dołków sznurek poruszałby się w bok prostopadle do górki. Kiedy już to sobie wyobrazimy, będziemy musieli dołożyć kolejny element, który charakteryzuje falę, to znaczy polaryzację. Polaryzacja, to kierunek drgania naszej

eprasa.pl 3058c33e15

górki. Jeżeli weźmiemy szczotkę na długim kiju w dwie ręce tak, aby była równoległa do podłogi, oraz prostopadle do kierunku, w którym idziemy a następnie spróbujemy przejść z nią przez drzwi, to nam się nie uda, ponieważ kij w tym ustawieniu ma złą „polaryzację", a dopiero gdy zorientujemy go pionowo, stanie się to możliwe. Efekt ten jest wykorzystywany między innymi w okularach polaryzacyjnych, które zmniejszają ilość docierającego do oczu światła odbitego od okien, samochodów, czy innych rzeczy, które mogą nas razić w nieoczekiwanych momentach. Dzieje się tak, ponieważ znacząca część światła po odbiciu jest spolaryzowana [2].

Do zmierzenia fali grawitacyjnej niezbędna jest świadomość, co mamy zamiar zobaczyć, gdzie i kiedy. Gdy mówimy o fali na morzu, oczywiście faluje woda, fale elektromagnetyczne, to przechodzenie pola elektrycznego w magnetyczne i na odwrót. W przypadku fali grawitacyjnej, czynnikiem oscylującym jest sama czasoprzestrzeń, która naprzemiennie kurczy się i rozciąga, co skutkuje oddalaniem się i zbliżaniem nie tylko dwóch kropek na kartce, ale również podziałek linijki pomiędzy nimi. Widać więc, że sama metoda pomiarowa zdaje się być kłopotliwa i jak się okaże, wymaga bardzo subtelnej aparatury.

Gdzie w takim razie szukać fal? Czy jeżeli będziemy odbijać piłkę od ulicy, to oscylacja jej masy będzie wystarczająca, żeby zmierzyć fale? Czy będziemy się musieli namęczyć i kozłować piłką lekarską? Okazuje się, że masa potrzebna do wywołania fal grawitacyjnych, które moglibyśmy zmierzyć, jest dalece większa od masy samej Ziemi, a w dodatku trzeba nią będzie bardzo dynamicznie poruszać. Najprostsza wydaje się odpowiedź na pytanie: kiedy? Ona brzmi po prostu: nie wiadomo.

Wykrycie pierwszych fal, czarne dziury

14 września 2015 naukowcom, pracującym przy projekcie LIGO, udało się wreszcie zaobserwować falę grawitacyjną. Powstała ona w wyniku połączenia się dwóch czarnych dziur około 1,3 miliarda lat temu. Oznacza to, że fala grawitacyjna pędziła do nas dużo ponad miliard lat z prędkością światła. Świadczy to o tym, że do zdarzenia doszło bardzo daleko. Ponad to, po raz pierwszy, uzyskano dowód na istnienie czarnych dziur, czyli obiektów z definicji nie emitujących światła [4].

Może warto wspomnieć więcej o tym, czym są czarne dziury. Otóż, są to obiekty o skrajnie dużej gęstości, nieporównywalnej z niczym, co znamy na Ziemi. Czarne dziury są obiektami przewidzianymi przez rozwiązania równani pola ogólnej teorii względności, które jako pierwszy otrzymał Karl Schwarzschild, przyjmując metrykę gwiazdy sferycznie symetrycznej w odpowiednim układzie współrzędnych. Jest to kolejny przykład rozwiązania równań Einsteina, które ich ojciec uważał, za nierzeczywiste.

Czarna dziura powstaje w wyniku śmierci ogromnej, masywnej gwiazdy, która jest na tyle ciężka, że po ustaniu procesu syntezy pierwiastków budujących gwiazdę w coraz cięższe (który to proces powstrzymuje gwiazdę przed zapadnięciem grawitacyjnym), gwiazda taka po wybuchu, zapadnie się zwiększając swoją gęstość do tak dużych rozmiarów, że prawa starej fizyki kompletnie się załamują, a efekty relatywistyczne stają się kluczowe.

Zasadniczo nie potrafimy powiedzieć, co dzieje się za pewnym obszarem zwanym horyzontem zdarzeń, ponieważ nie może się spod niego wydostać żadna informacja, taka jak liścik, mail, czy chociażby foton. W pobliżu horyzontu zdarzeń pojęcie czasu zmienia swój sens, a w pewnym sensie wydostanie się spod niego oznaczałoby poruszanie się wstecz w czasie. Astronauta, który wyszedłby na kosmiczny spacer z rakiety i przez zagapienie, zaczął wpadać do jednego z najbardziej gęstych obiektów we wszechświecie, byłby przyciągany spadając coraz to bardziej, beznadziejnie w nicość [7].

Przyjmijmy na chwilę, że nasz astronauta bał się wychodzić z rakiety, sądząc, że może zgubić w pustym kosmosie drogę powrotną, więc wziął latarkę, żeby poświecić kolegom w rakiecie. Z jego punktu widzenia, spadanie na taką osobliwość polegałoby na swobodnym poruszaniu się w kierunku czegoś absolutnie czarnego, tak długo, aż nie rozerwałyby go siły pływowe, tak ogromne, że rozrywają cząsteczki. Przypuśćmy jednak, że nasz zbłąkany astronauta jest wykonany z jakiegoś mocnego materiału i nie skończy w tak nudny sposób, tylko pozwoli nam poznać odrobinę więcej efektów.

W trakcie spadania, astronauta miałby szansę zobaczyć dysk akrecyjny, czyli opadający na gwiazdę pył, który w wyniku tarcia rozgrzewa się i promieniuje. Przejście przez sam horyzont zdarzeń nie byłoby dla niego niczym specjalnym, ponieważ nie jest to żaden wyróżniony punkt czasoprzestrzeni, mógłby natomiast odczuć rosnące przyśpieszenie, wynikające z dużego gradientu potencjału grawitacyjnego, który jest źródłem wspomnianych wcześniej sił pływowych. Być może machając swoją latarką w którymś momencie zobaczyłby swoje plecy w oddali, ponieważ w pobliżu czarnej dziury występuje obszar, w którym światło porusza się po orbicie kołowej.

Zmartwieni koledzy zaginionego astronauty, widzieliby jego nieśmiało błyskającą latarkę, której światło stopniowo zmieniałoby kolor na czerwony w wyniku

Obserwator zewnętrzy nigdy nie zobaczy, jak coś wpada do czarnej dziury.

eprasa.pl 3058c33e15

grawitacyjnego przesunięcia ku czerwieni, aż w ogóle przestałaby świecić, bo długość fali, którą by emitował wyszłaby poza zakres światła widzialnego, co i tak wiązałoby się z czasem obserwacji dużo dłuższym, niż życie któregokolwiek z pozostałych na statku. Jeśli jednak przyjmiemy, że astronauci podali wytyczne bardziej wyspecjalizowanej i długowiecznej aparaturze pomiarowej, która mogłaby śledzić ruch kosmonauty bez technicznych kłopotów, to oceniłaby, że nigdy nie przekroczył on horyzontu zdarzeń, ponieważ dla obserwatora znajdującego się w słabszym polu grawitacyjnym, czas, którego potrzebowałby taki astronauta na przejście przez horyzont zdarzeń, jest nieskończony. Oznacza to, że obserwator zewnętrzy nigdy nie zobaczy, jak coś wpada do czarnej dziury.

Naturalnie rodzące się w duchu pytanie, czy nasza gwiazda również zmieni się w żarłoczną czarną dziurę, na którą będziemy próbować zrzucać przedmioty i patrzeć jak nad nią zastygają? Okazuje się, że nie. Czarne dziury powstają z gwiazd co najmniej kilkadziesiąt razy cięższych od naszej gwiazdy. Po wypaleniu się za wiele miliardów lat, Słońce zmieni się w całkiem nieciekawy obiekt, który będzie jednym z wielu śmieci dryfujących w kosmosie, czekającym na, być może, nadchodzący recykling.

Gdyby jednak jakaś pozaziemska cywilizacja, opanowała zdolność niewyobrażalnego kondensowania materii i dla żartu postanowiła zgasić nam Słońce, zmieniając je w czarną dziurę, to przy masie wynoszącej 2 i 30 zer kilogramów, Słońce miałoby średnicę niecałych 6 kilometrów. Gdyby ci sami utalentowani kosmici postanowili zrobić żart Słońcu i zmienić w czarną dziurę krążącą wokół niego niebieską kropkę, na której żyjemy, to jej średnica wyniosłaby niecałe 2 centymetry, co nie budzi grozy.

Powodem kłopotów w obserwacji czarnych dziur jest fakt, że nie emitują one światła, a jeżeli coś nie emituje i nie odbija promieniowania, to ciężko to zobaczyć albo zrobić temu zdjęcie, co właściwie miało miejsce w 2019 roku. Chociaż nie jest to zdjęcie w potocznie rozumianym sensie. Naukowcy pracujący przy projekcie ETH, za pomocą radioteleskopów uzyskali wyniki pomiarów, zgodne z tym, co w zakresie obserwowanych fal pasowało do modelu czarnej dziury. Przyniosło to kolejny dowód na istnienie tych fascynujących obiektów stanowiących często centrum galaktyk, jak ma to miejsce w przypadku naszej drogi mlecznej.

Okazuje się jednak, że jedna czarna dziura, to za mało do wytworzenia fal grawitacyjnych. Nie jest to możliwe ze względu na symetrię sferyczną czarnej dziury, która musi być doskonałą kulą, jak każdy masywny obiekt. Obiekty o tak wysokiej symetrii, nie mogą wytwarzać oscylacji w czasoprzestrzeni podczas ruchu jednostajnego, czy nawet wirowego, ponieważ są zbyt jednorodne.

Do wytworzenia fal grawitacyjnych potrzebujemy co najmniej dwóch masywnych obiektów, które będą próbowały spaść na siebie, obracając się wokół wspólnego środka masy. Dokonanie ich pomiaru jest możliwe dopiero na chwilę przed zderzeniem się tych obiektów, kiedy drgania czasoprzestrzeni będą wystarczająco silne.

Możemy się zastanowić, dlaczego przy takich zjawiskach, masywne obiekty nie wytwarzają takiej równowagi, jak Ziemia i Słońce. Obracające się wokół siebie masywne obiekty, borykają się z nieoczekiwanym problemem. Nie mogą się one spokojnie i beztrosko kręcić, ponieważ podczas wirowania wokół wspólnego środka masy, tracą energię, a im mniej mają energii, tym bardziej zbliżają się do siebie i kręcą szybciej.

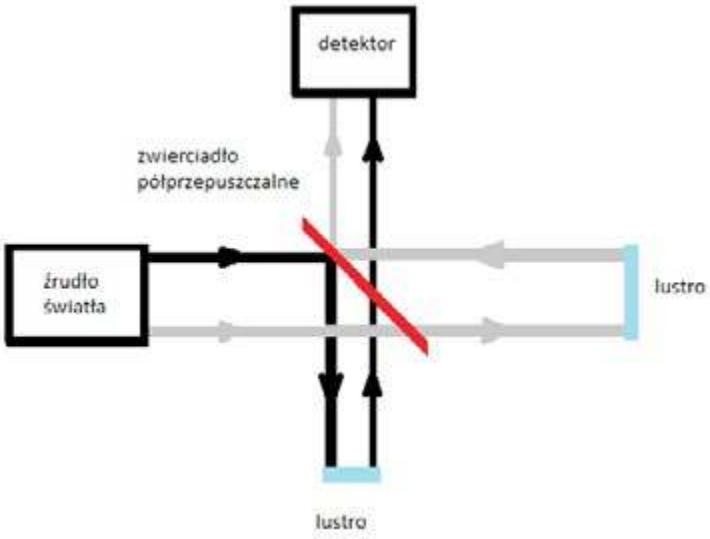
Nasuwa się tu pytanie, co dzieje się z utraconą przez nie energią? Otóż ta energia jest emitowana w postaci promieniowania grawitacyjnego.

Pomiar promieniowania grawitacyjnego

Widzimy, jak historia uporała się z odpowiedzią na dwa z trzech przytoczonych we wstępie pytań. Wróćmy jeszcze do pierwszego i sprawdźmy, jak rozwiązano problemem związany z pomiarem promieniowania grawitacyjnego. Do zmierzenia niezwykle małego efektu zmiany długości wszystkiego, co znajduje się w czasoprzestrzeni, wykorzystano interferometr, prawdopodobnie najdokładniejsze z urządzeń pomiarowych. Jest to urządzenie o niebywale szerokim zastosowaniu, którym można mierzyć zmiany ciśnienia gazu, samo-oddziaływanie fotonu, czy drganie czasoprzestrzeni [4].

Działanie interferometru przebiega następująco: źródło światła, na przykład laser (chcemy, aby światło było spójne), pada na zwierciadło półprzepuszczalne, które dzieli wiązkę światła na dwie. Połowa światła odbija się i leci do lustra (czarna linia), a część przechodzi przez zwierciadło i pada na kolejne lustro (linia szara). Wracając, po odbiciu od luster, tak jak ilustruje to obrazek, światło znowu przechodzi przez zwierciadło i trafia na detektor, w którym następuje zjawisko interferencji, czyli wzajemnego wzmacniania się jednakowych faz fali.

Zjawisko interferencji, jest każdemu z pewnością dobrze znane, chociażby dla fal na wodzie. Jeżeli nasza fala reprezentowana przez górki i zagłębienia spotka się z drugą taką falą nadchodzącą z naprzeciwka, to ich kształty się dodadzą, czyli w przypadku, gdy górka doda się z górką, powstanie większa górka, a gdy dołek z górką, to się z niosą i w efekcie nie zaobserwujemy fali. Dopuszczalne



Rys.1 przedstawia schematyczną budowę interferometru.

eprasa.pl 3058c33e15

są oczywiście wszystkie stany pośrednie, w zależności od konfiguracji fal, które na siebie wpadną.

Interferencja jest zjawiskiem charakterystycznym dla fal, więc dla światła też ono zachodzi, a ze względu na to, że długości fali są z reguły rzędu setek nanometrów dla światła widzialnego, możemy zauważyć nawet bardzo drobne przesunięcia w fazach fal interferujących. Niezwykle mała zmiana, którejkolwiek z dróg, którymi biegnie światło w interferometrze, sprawia, że powstały obraz interferencyjny jest inny, a przecież wiemy, że fala grawitacyjna ma polaryzację, to znaczy zmienia odległość od punktów, w określonych kierunkach.

Jeżeli więc trafimy na falę, która akurat wpłynie na długość jednego z naszych korytarzy, to obraz interferencyjny, który zobaczymy, ulegnie zmianie. Może się również zdarzyć, że fala nadejdzie z niewłaściwego kierunku, na przykład pionowo z góry i wtedy nic nie zaobserwujemy.

Nawet jeśli kierunek był dobry i zaobserwowaliśmy taką falę, to co, jeśli jest to odczyt z drgania sejsmicznego, albo wywołany przez ciężarówkę przejeżdżającą w sąsiedztwie? Na wypadek takich incydentów, aparatura, która jest używana przy projekcie LIGO, jest możliwie najlepiej przystosowana do tego zadania. Nie zmienia to faktu, że czasem nawet najlepsza aparatura może dokonać błędnego pomiaru, dlatego takich obserwatoriów powinno być więcej i oczywiście powinny być one większe, niż laboratoryjny interferometr mieszczący się na biurku, a konkretnie ich ramiona są ogromnymi korytarzami o długości 4 km, aby zwiększyć długość drogi, po której biegnie światło, co zwiększa czułość urządzenia.

Detektory, które zarejestrowały ten sam sygnał w tym samym czasie znajdowały się w Waszyngtonie i Livingston, a analiza wyników, mająca na celu potwierdzenie, że znaleźliśmy to, na co wszyscy czekali, trwała rok. Jeszcze tego samego roku zarejestrowano drugą falę, a w ciągu następnych lat kolejne. Wykrycie fali w 2015 roku poskutkowało w 2017 roku przyznaniem nagrody Nobla aż trzem fizykom, wyróżnionym za przełomowy wkład w budowę detektora oraz obserwacje fal grawitacyjnych.

Podsumowanie

Można zadać sobie pytanie, dlaczego naukowcy w ogóle szukali tych fal? Czy fakt, że już wiemy o ich istnieniu sprawia, że pociągi jeżdżą szybciej, albo że samochody palą mniej benzyny?

Poza zaspokojeniem ciekawości ludzi, którzy zadają zbyt wiele pytań, umiejętność mierzenia fal grawitacyjnych pozwala nam opracowywać nowe techniki obserwowania tego, co dzieje się we Wszechświecie. Dla przykładu, do 1800 roku, widzieliśmy świat tylko w takich kolorach, w jakich pozwalały nam na to oczy. Niektórzy mogli zobaczyć nieco mniej, z fascynującego przedstawienia, jakie prezentuje nami świat, za sprawą daltonizmu, a inni jeszcze mniej, przez brak ciekawości. William Herschel, który bawił się pryzmatem i termometrem ponad 200 lat temu, pokazał nam, że istnieje również zakres promieniowania za czerwienią, które możemy zmierzyć, mimo że go nie widzimy. Odkrycie to zainspirowało innego badacza, który znalazł szczęście na drugim końcu tęczy

Ilustracja czarnej dziury.

i odkrył promieniowanie ultrafioletowe [6]. Następne lata przyniosły nam odkrycie promieni rentgenowskich, dzięki którym mogliśmy zajrzeć głębiej w siebie lub w inne obszary, do których nie mieliśmy dostępu. Badanie promieniowania rentgenowskiego również pozwala nam obecnie poznawać Kosmos.

W połowie XX wieku, intensywnie badano fale radiowe, w zasadzie przez przypadkowe prace nad polepszeniem wydajności anten odkryto fale, które pozwoliły nam usłyszeć Drogę Mleczną, a niewiele lat później, dźwięk rodzącego się Wszechświata, znany jako promieniowanie tła.

Fale grawitacyjne stanowią kolejny sposób na poznanie tego, co kryje przed nami Wszechświat. Okoliczności w jakich odkryto fale grawitacyjne, potwierdzają istnienie czarnych dziur a przewrotna własność tego, że ich oddziaływanie na obiekty, przez które przechodzą jest tak małe sprawia, że docierają do nas w praktycznie niezmienionej postaci. Może dzięki falom grawitacyjnym uda nam się w pewien sposób zobaczyć, jakie tajemnice skrywa przed nami historia. Niels Bhor mawiał, że „przewidywanie jest bardzo trudne, szczególnie jeśli idzie o przyszłość", ale może dzięki poznaniu przeszłości stanie się to prostsze.

mgr Cyprian Sobczak
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego Warszawie
Wydział Matematyczno-Przyrodniczy

LITERATURA:

[1] James B. Hartle „Grawitacja. Wprowadzenie do ogólnej teorii względności", Wydawnictwo UW, 2018.
[2] J. Foster, J. D. Nightingale „Ogólna teoria względności", PWN, 1985.
[3] David J. Griffiths „Podstawy elektrodynamiki" Wydawnictwo naukowe PWN, 2009.
[4] Govet Schilling „Zmarszczki czasoprzestrzeni. Einstein, fale grawitacyjne i przyszłość astronomii", Pruszyński i S-ka, 2018.
[5] Jim Baggott „Masa, od greckich atomów do pól kwantowych", Pruszyński i S-ka, 2018.
[6] Neil DeGrasse Tyson „Astrofizyka dla zabieganych", Insignis, 2017.
[7] Andrzej Dragan „Kwantechizm, czyli klatka na ludzi", Wydawnictwo Fabuła Fraza, Warszawa 2019.

eprasa.pl 3058c33e15

Fizyka w pożarnictwie

Obiegowa opinia głosi, że prawie każdy chłopiec na pewnym etapie swojego życia chciał zostać strażakiem. Wiele osób niekoniecznie zdaje sobie jednak sprawę z faktu, że dobry strażak nie tylko musi być sprawny ruchowo, ale również posiadać ugruntowaną wiedzę z fizyki, a w szczególności z termodynamiki, mechaniki płynów czy statyki.

Tomasz **Kubiak**

Fascynująca fizyka kryje się bowiem nie tylko za nowoczesnym wyposażeniem wozów pożarniczych, ale również za stosowanymi technikami działań ratowniczo-gaśniczych. Spróbujmy zatem nieco poszerzyć swą wiedzę na ten temat.

Podczas pożaru mamy do czynienia z niekontrolowanym rozprzestrzenianiem się ognia. Gazy powstałe w wyniku rozkładu termicznego substancji palnych pochodzenia organicznego a także pary cieczy i stopionych materiałów syntetycznych spalają się intensywnie w obecności tlenu, czemu towarzyszy emisja światła widzialnego. Płomienie mogą wznosić się na znaczną wysokość, podsycane przez opływające je prądy powietrza.[1]

Gwałtowny napływ powietrza i nierównomierne spalanie sprawiają, że płomień przybiera wiele różnych kształtów i obserwujemy to, co potocznie nazywamy „językami ognia". Oczywiście dynamika procesu spalania zależy od ilości paliwa i dostępności tlenu. Jeśli stężenie tego ostatniego będzie niższe niż 12% – 14%, spalanie ustanie. W tym miejscu warto przytoczyć tzw. regułę Thorntona.[2] Wskazuje ona, iż ilość ciepła wyzwalanego w pożarze jest wprost proporcjonalna do ilości tlenu dostarczanego do strefy spalania. Ciepło to zostaje następnie przekazane m.in. na drodze konwekcji. Zarówno gorące substancje lotne (CO_2, CO, SO_2, itp.), jak i sadza oraz inne cząstki stałe unoszą się ponad strefę spalania, tworząc tzw. słup konwekcyjny. W przypadku pożarów wewnętrznych dym gromadzi się w strefie podsufitowej a potem rozchodzi na boki, co może kształtem przypominać grzyb.

Od ogniska pożaru ciepło jest również przekazywane do otoczenia w postaci promieniowania termicznego oraz w niewielkim stopniu w wyniku przewodzenia, np. poprzez stalowe elementy konstrukcyjne. Mogą one ulec odkształceniu, stwarzając ryzyko katastrofy budowlanej. Z kolei ciepło przekazywane do innych, nawet oddalonych ciał palnych, powoduje wzrost ich temperatury a w konsekwencji rozkład termiczny i (w przypadku obecności dostatecznej ilości tlenu) gwałtowne powiększanie się strefy spalania (rozgorzenie). Aby zatem pożar nie przeszedł w fazę w pełni rozwiniętą, należy jak najszybciej podać środki gaśnicze na jego ognisko.

[1] O powstawaniu płomienia rozprawiał już Michael Faraday w swoich słynnych wykładach opublikowanych w książce „Dzieje świecy" (wydanie polskie, Warszawa 1997).

[2] Reguła nazwana jest na cześć brytyjskiego uczonego W. M. Thorntona, który w 1917 r. opublikował słynną pracę „*The relation of oxygen to the heat of combustion of organic compounds*".

eprasa.pl 3058c33e15

Środki gaśnicze

Zapewne każdy czytelnik zapytany o podstawowy środek gaśniczy bez wahania wskaże wodę. Jest ona powszechnie dostępna a jej wykorzystanie podczas akcji nie szkodzi środowisku. Ze względu na dużą pojemność cieplną odbiera ciepło od palącego się materiału, tym samym obniża jego temperaturę. Pobrane ciepło wykorzystane jest na podgrzanie cieczy a także zamianę jej w parę. Ta ostania wypiera tlen z miejsca pożaru, przerywając proces palenia.

Mimo niewątpliwych zalet zastosowanie wody ogranicza się przede wszystkim do walki z pożarami ciał stałych (grupy A). Nie można wykorzystać jej natomiast do gaszenia cieczy palnych, charakteryzujących się mniejszą gęstością (np. benzyny czy olejów). W takich przypadkach przydaje się piana gaśnicza, czyli układ dyspersyjny, w którym fazą rozproszoną jest gaz a rozpraszającą ciecz. Aby wytworzyć pianę, oprócz wody i gazu (najczęściej powietrza) potrzebny jest oczywiście zawierający związki powierzchniowo czynne syntetyczny środek pianotwórczy, dodawany w stężeniu 1-6%. Pianę gaśniczą charakteryzuje tzw. liczba spienienia L_s, której wartość wyznaczymy ze wzoru:

$$L_s = \frac{V_p}{V_r}$$

gdzie: V_p – to objętość uzyskanej piany; V_r – objętość wykorzystanego do jej przygotowania wodnego roztworu środka pianotwórczego. Piana ciężka ($L_s \leq 20$) lub średnia ($20 < L_S \leq 200$) wykorzystywana jest właśnie do gaszenia cieczy palnych. Na ich powierzchni tworzy szczelną warstwę odcinającą dostęp tlenu, schładzającą ciecz i utrudniającą jej parowanie. Z kolei piana lekka ($L_s > 200$) służy do wypełniania zamkniętych pomieszczeń w celu wyparcia z nich gazów i obniżenia temperatury.

Wprawdzie piany są bardzo skutecznym środkiem gaśniczym, ale ze względu na zawartość wody nie nadają się do gaszenia ciał reagujących z nią chemicznie (np. acetylenku wapnia zwanego potocznie karbidem) czy urządzeń elektrycznych pozostających pod napięciem. Dlatego do walki z ogniem stosuje się również inne środki, do których należą m.in. proszki i gazy gaśnicze, np. cięższy od powietrza CO_2. Przechowuje się go w butlach pod ciśnieniem 3-7 MPa w postaci skroplonej. Podczas akcji gaśniczej uwolniony dwutlenek węgla, rozprężając się adiabatycznie obniża swą temperaturę i zestala, tworząc suchy lód (stąd potocznie mówi się o gaśnicach śniegowych). Mamy zatem do czynienia z ochładzaniem miejsca pożaru i odcięciem palącej się powierzchni od dostępu tlenu.

W kontekście gazów gaśniczych warto jeszcze wspomnieć o procedurze tzw. inertyzacji, czyli kontrolowanej redukcji stężenia tlenu w pomieszczeniu poprzez dopływ gazu obojętnego, np. azotu, co pozwala zmniejszyć ryzyko wybuchu czy rozprzestrzenienia się pożaru.

Pożary i związane z nimi niebezpieczeństwo

Bardzo duży odsetek pożarów w Polsce dotyczy traw, trzcinowisk czy nieużytków rolnych.[3] W zdecydowanej większości, niestety, są one spowodowane celowym podpaleniem. Wysuszona materia organiczna pali się bardzo szybko a ogień potrafi rozprzestrzeniać się z szybkością ponad 15 m/min, stanowiąc ogromne zagrożenie nie tylko dla zwierząt (owadów, gryzoni, piskląt ptasich, zwierząt leśnych), ale także ludzi i ich dobytku. Płomienie podczas takiego pożaru mogą osiągać kilka metrów wysokości i towarzyszy im duże zadymienie, co obrazuje fot. 1.

Prostym i skutecznym narzędziem do walki z pożarami traw czy ściółki leśnej są tłumice, zbudowane z osadzonej na długim drążku gumowej albo metalowej (paski blachy) części roboczej. Strażak, uderzając nią o podłoże na granicy frontu ognia, odcina dopływ tlenu, przerywając proces spalania roślinności.

Sytuacja staje się bardziej skomplikowana w przypadku pożaru drzewostanu, gdzie konieczne jest zastosowanie prądów wody w natarciu. Jeśli płonie kompleks leśny, wykorzystuje się dodatkowo naturalne bądź specjalne przygotowane przerwy ogniowe. Pozwalają one zatrzymać rozprzestrzenianie się żywiołu, które zależy m.in. od szybkości wiatru, wilgotności materiałów palnych oraz ich ilości na jednostkę powierzchni a także wilgotności względnej powietrza.

Przypomnijmy, że ta ostatnia definiowana jest jako stosunek ciśnienia cząstkowego (prężności) pary wodnej zawartej aktualnie w powietrzu do prężności maksymalnej (w stanie nasycenia) w danej temperaturze. Warto dodać, że temperatura podczas spalania całkowitego drzewostanu może wynosić nawet 1000°C a wysokość płomieni osiągać kilkadziesiąt metrów. Silne prądy konwekcyjne występujące podczas pożaru skutkują rozprowadzaniem żarzących się cząstek po koronach drzew. W takiej sytuacji akcje gaśnicze są trudne i wymagają zaangażowania dużych sił i środków.

Fot. 1. Pożar trzcin, któremu towarzyszy duże zadymienie.

[3] W 2019 r. w Polsce zarejestrowano 153 520 pożarów, z czego 36,4 % stanowiły pożary traw i nieużytków (dane na podstawie: http://www.siedlce-straz.pl/index.php/badz-bezpieczny/pozary-traw-lak-i-nieuzytkow, dostęp z 3.10.2020).

eprasa.pl 3058c33e15

Fot. 2. Ciężki samochód ratowniczo-gaśniczy wyposażony m.in. w zbiornik wody o pojemności 5000 litrów, autopompę o wydajności 3200 l/min oraz zestaw umieszczonych na dachu drabin.

Fot. 3. Strażacy podczas akcji ubrani są w hełmy oraz specjalną odzież ochronną, posiadają także sprzęt ochrony dróg oddechowych.

Ogromne niebezpieczeństwo dla życia i zdrowia ludzi stanowią pożary wewnętrzne budynków. W obiektach tych znajduje się wiele elementów wyposażenia, które łatwo ulegają termodestrukcji. Dodatkowo domy jednorodzinne czy stare kamienice mogą posiadać palne elementy konstrukcyjne, np. drewnianą więźbę dachową czy stropy.

Podczas pożaru zagrożenie stanowią nie tylko szalejące płomienie i wysoka temperatura, lecz również toksyczne produkty spalania, np. związki chloru powstające w wyniku rozkładu polichlorku winylu czy tlenek węgla. Ten ostatni, zwany potocznie cichym zabójcą, powoduje zaczadzenie. CO trwale łączy się z hemoglobiną, tworząc tzw. karboksyhemoglobinę, która nie jest zdolna do przenoszenia tlenu w organizmie.[4]

W gospodarstwach domowych często zdarzają się pożary olejów spożywczych na patelni. Przyczyną jest samozapłon produktów rozkładu termicznego tłuszczów i rozprzestrzenienie się ognia po całej powierzchni cieczy znajdującej się w podgrzewanym naczyniu.

Należy zapamiętać, że palącego się tłuszczu w żadnym wypadku nie można próbować gasić wodą! Hydrofobowe oleje spożywcze posiadają bowiem mniejszą gęstość niż H_2O. Podana woda natychmiast dostanie się zatem pod warstwę tłuszczu, pobierając ciepło zwiększy swą temperaturę a następnie przejdzie w stan gazowy. Nastąpi tzw. wyrzut, czyli unosząca się gwałtownie para wodna pociągnie za sobą cząsteczki tłuszczu, których spalanie w kontakcie z powietrzem zostanie zintensyfikowane i zaobserwujemy swoistą eksplozję.[5] Może ona skutkować nie tylko ciężkimi poparzeniami u niefortunnego kucharza, ale również objęciem ogniem innych, łatwopalnych elementów wyposażenia kuchni. Dlatego do gaszenia tłuszczów używa się gaśnic typu ABF (pożary grupy F dotyczą właśnie tłuszczów i olejów jadalnych, natomiast pożary grupy B – m.in. cieczy palnych).

W przypadku braku podręcznego sprzętu gaśniczego najlepiej po prostu spróbować odciąć dostęp tlenu od płomieni poprzez szczelne przykrycie naczynia pokrywką. Bardzo często jednak samodzielne stłumienie płomieni ze względów bezpieczeństwa jest niemożliwe i konieczne okazuje się wezwanie strażaków, dysponujących profesjonalnym sprzętem.

Samochody ratowniczo-gaśnicze

Walka z ogniem nie byłaby możliwa bez samochodów ratowniczo-gaśniczych (fot. 2). To właśnie nimi na miejsce zdarzenia docierają zastępy strażaków, czyli pododdziały liczące od trzech do sześciu ratowników. Są oni ubrani w specjalną odzież ochronną wykonaną z niepalnych polimerów syntetycznych: meta-aramidu i para-aramidu z dodatkiem włókna antystatycznego. To ostatnie zmniejsza opór właściwy powierzchni materiału, zapobiegając gromadzeniu się ładunków elektrycznych i obniżając tym samym ryzyko powstania wyładowania iskrowego, które mogłoby np. zainicjować wybuch gazu.

Strażacy są ponadto wyposażeni w elementy odblaskowe a na głowach noszą hełmy, których skorupa posiada dużą wytrzymałość mechaniczną i termiczną (fot. 3). W kabinie pojazdu mogą być przewożone również aparaty powietrzne. Ich zadaniem jest oczywiście ochrona dróg oddechowych ratowników przed toksycznymi, lotnymi produktami spalania.[6] Zakładana na plecy butla ze spręż-

[4] O różnych formach hemoglobiny można przeczytać w artykule: T. Kubiak, Fizyka w karetce pogotowia, Fizyka w Szkole nr 6 (2014), s. 4-7 (w kontekście pomiarów wysycenia krwi tętniczej tlenem SpO_2).

[5] Może towarzyszyć jej również krótkotrwały wzrost ciśnienia w całym pomieszczeniu, skutkujący np. uszkodzeniem okien czy lekkich ścianek działowych.

eprasa.pl 3058c33e15

żonym powietrzem posiada zazwyczaj pojemność 6 albo 6,8 litra i ciśnienie robocze 300 bar (1 bar = 10^5 Pa).

Reduktor pierwszego stopnia obniża wartość ciśnienia do około 7 bar i zapewnia jego stałość w przewodzie doprowadzającym do automatu oddechowego. Ten ostatni zawiera reduktor drugiego stopnia, z którego powietrze przez zawór wdechowy przechodzi do maski. Między jej szybą a twarzą utrzymywane jest nieprzekraczające 3,9 milibara nadciśnienie. Stanowi ono dodatkową asekurację na wypadek ewentualnego rozszczelnienia się maski.

Część twarzowa posiada również zawór wydechowy otwierający się przy nadciśnieniu około 4,5 mbara (aparat pracuje w obiegu otwartym). Warto wspomnieć, że kontrola zapasu powietrza odbywa się przy użyciu manometru, pozwalającego monitorować ciśnienie w butli. Gdy spadnie ono poniżej 55 barów, emitowany jest sygnał ostrzegawczy. Jeśli ze standardowej butli uzyskuje się 1800 l powietrza, to przy zakładanym zużyciu 40 l/min umożliwia ona pracę przez 45 min.[7] Ratownik musi kontrolować ciśnienie w butli, żeby w odpowiednim momencie wycofać się z niebezpiecznego obszaru. Jak już wspomniano sprzęt ochronny dróg oddechowych może być przewożony w szoferce pojazdu w oparciach siedzeń, co pozwala na założenie go już podczas dojazdu w rejon działań gaśniczych.

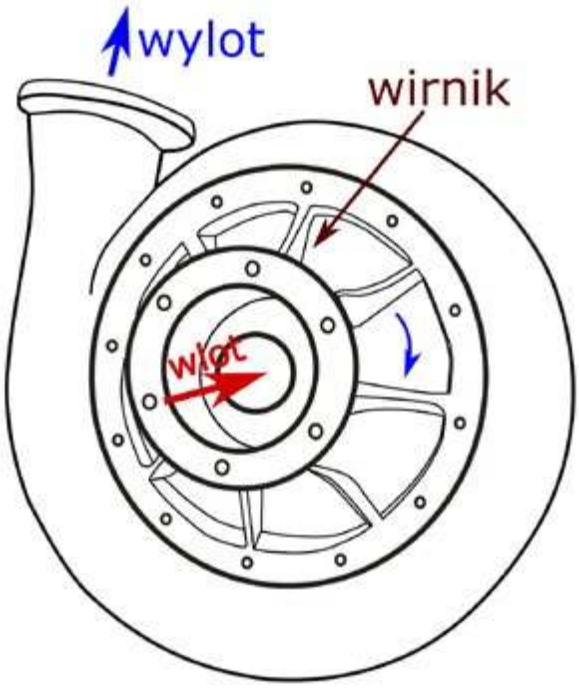
Oczywiście wóz bojowy to nie tylko kabina (często w wersji brygadowej), ale przede wszystkim zabudowa pożarnicza. Znajduje się w niej przede wszystkim układ wodno-pianowy. Dodatkowo w zamykanych aluminiowymi żaluzjami skrytkach kryje się mnóstwo sprzętu, z którego działaniem wiąże się fascynująca fizyka. Wydaje się, że najlepiej przybliżyć ją w kontekście konkretnych działań podejmowanych w miejscu akcji.

Działania gaśnicze

Po przyjeździe na miejsce zdarzenia i dokonaniu rozpoznania strażacy budują linię gaśniczą. W tym celu wykorzystują węże i armaturę wodną przechowywaną w skrytkach samochodu strażackiego (fot. 4). Tłoczenie wody nie byłoby jednak możliwe bez autopompy, która nazywana jest przez wielu „sercem" wozu strażackiego. Ta wbudowana na stałe do pojazdu i napędzana jego silnikiem odśrodkowa pompa wirowa może być jedno albo wielostopniowa. W pierwszym przypadku element ruchomy to pojedynczy wirnik, natomiast w drugim, mamy do czynienia z układem wirników osadzonych szeregowo na wale pompy.

Jak można zauważyć na rys. 1 dopływ cieczy do pompy jest osiowy, natomiast wylot promieniowy. Odpowiednio wyprofilowane łopatki zmieniają bowiem kierunek przepływu wody na prostopadły do osi wirnika a następnie wprowadzają ją w ruch obrotowy, zwiększając energię kinetyczną. Gdy dzięki sile odśrodkowej ciecz opuszcza wirnik, spiralnie uformowany kadłub pompy spowalnia jej przepływ. To dodatkowo zwiększa ciśnienie, z jakim woda kierowana jest do zaworów tłocznych. Nominalna wydajność autopompy, w zależności od modelu, zawiera się zwykle w przedziale 2000 dm^3/min – 7000 dm^3/min przy ciśnieniu 10^6 Pa. Należy podkreślić, że pompy wirowe mogą zacząć tłoczyć wodę jedynie wówczas, gdy są nią wypełnione. Nie stanowi to problemu, gdy zalewamy urządzenie cieczą pochodzącą bezpośrednio z zasobnika pojazdu.

Fot. 4. W skrytkach wozu ratowniczo-gaśniczego przewożone są m.in. węże, prądownice, rozdzielacze, gaśnice i narzędzia ratownicze.



Rys. 1. Schemat odśrodkowej, jednostopniowej pompy wirowej.

[6] O układzie oddechowym człowieka można przeczytać w artykule: T. Kubiak, Biofizyka układu oddechowego - od teorii do eksperymentu, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 1 (2018), s. 4-8.

[7] Zużycie powietrza zależy oczywiście od podejmowanego wysiłku; gdy jest on bardzo intensywny, zapotrzebowanie może wynosić nawet 100 l/min.

eprasa.pl 3058c33e15

Czytelnicy zapewne zastanawiają się jednak, jakie rozwiązanie stosowane jest w sytuacji, gdy lustro czerpanej wody znajduje się poniżej pompy, jak ma to miejsce w przypadku zbiorników przeciwpożarowych czy studni. Okazuje się, że autopompy muszą posiadać urządzenie zasysające. Może mieć ono formę strumienicy gazowej, w której czynnikiem roboczym jest mieszanina par paliwa z powietrzem lub spaliny. Wówczas przepływ tegoż czynnika przez przewężenie powoduje spadek ciśnienia w strumienicy (efekt Venturiego) a w konsekwencji zasysanie wody.

Współcześnie autopompy częściej posiadają jednak urządzenie zasysające w postaci dodatkowej pompy tłokowej. W tym miejscu warto przypomnieć, że praktyczna wysokość ssania przy ciśnieniu atmosferycznym 1013,25 hPa i temperaturze wody 4°C dla pomp stojących na poziomie morza wynosi około 7,5 m.[8] Wysokość ta maleje wraz ze wzrostem temperatury wody. Wartość podciśnienia generowanego po stronie ssawnej podczas pobierania wody ze zbiorników otwartych strażak kontroluje za pomocą manowakuometru.[9] Z kolei drugi miernik (manometr) pozwala odczytać wartość ciśnienia na króćcu tłocznym. Autopompa połączona jest z układem wodno-pianowym wozu gaśniczego.

Mówiąc o pompach pożarniczych, należy wspomnieć jeszcze o przewoźnych lub przenośnych motopompach, które napędzane są silnikiem spalinowym. Zestaw takich urządzeń służyć może do podawania wody na duże odległości. Ciecz jest wówczas przetłaczana pomiędzy rozstawianymi co kilkaset metrów motopompami lub przepompowywana między przenośnymi zbiornikami zasilającymi. Takie sytuacje mają miejsce rzadko, np. podczas rozległych pożarów lasów, dlatego w dalszej części artykułu skupimy się na liniach gaśniczych budowanych podczas standardowych interwencji.

Podczas akcji do odpowiednich nasad układu wodno-pianowego pojazdu podłączane są węże. Na wyposażeniu wozu ratowniczo-gaśniczego standardowo znajdują się trzy rodzaje wężów: tłoczne o średnicy wewnętrznej odpowiednio 52 mm (W52) i 75 mm (W75) oraz ssawne o średnicy 110 mm (W110). Maksymalne ciśnienie robocze dla węży tłocznych określone jest zazwyczaj na 1,5 MPa. Najprostsze rozwinięcie gaśnicze składa się z jednego odcinka węża W75 prowadzącego od nasady tłocznej autopompy do prądownicy, która służy do formowania strumienia wody podawanego na ognisko pożaru. Oczywiście podczas akcji sprawia się również bardziej zaawansowane linie wężowe. Przykładowo linia główna z odcinków węża W75 może łączyć nasadę tłoczną autopompy z rozdzielaczem, do którego przyłączono dwie linie gaśnicze z węży W52 zakończonych prądownicami.

Aby zachować pozycję, prądownik lub rota (dwuosobowy zespół strażaków) musi zrównoważyć siłę reakcji, która działa na zakończenie linii gaśniczej i jest zwrócona przeciwnie do kierunku przepływu wyrzucanej wody. Wartość siły reakcji F_r osiąga wartości kilkuset niutonów, zależnie od ciśnienia w prądownicy oraz wydatku wypływającej cieczy. Do obliczeń służy przybliżony wzór:

$$F_r = 0,2 \cdot p \cdot S$$

gdzie:

p – ciśnienie w wężu przed prądownicą w barach (1 bar = 10^5 Pa);

S – powierzchnia wylotu dyszy w mm^2.

Podczas walki z ogniem stosuje się różne techniki operowania prądami gaśniczymi. Przykładowo podczas bezpośredniego natarcia na palące się powierzchnie wykorzystuje się: malowanie (podawanie zwartego prądu wody po łuku przy niepełnym otwarciu prądownicy) lub ołówkowanie (krótkie strzały zwartym prądem wody po linii prostej). Z kolei omiatanie (ruch prądem gaśniczym zwartym lub rozproszonym, zaczynając od góry pomieszczenia i zakreślając, np. okręgi) to metoda natarcia pośredniego, która pomaga chłodzić wnętrza i wypierać tlen.

Warto uzmysłowić sobie, że prądy zwarte mają duży zasięg, natomiast prądy rozproszone (o stożkowatym strumieniu utworzonym z małych kropelek) zdecydowanie mniejszy, ale za to lepiej pochłaniają ciepło. W trakcie akcji wodę trzeba podawać niekiedy na wyższe kondygnacje. Jednym z parametrów układu pompowego jest tzw. geometryczna wysokość podnoszenia, obliczana jako suma wysokości ssania oraz tłoczenia. Obie składowe mierzy się w pionie, pierwszą między powierzchnią wody a osią nasady ssawnej pompy, natomiast drugą pomiędzy wspomnianą osią a punktem najwyższego rzutu cieczy.

Chociaż woda wykorzystywana podczas akcji gaśniczej może pochodzić bezpośrednio ze zbiornika wozu strażackiego, podczas dużych pożarów konieczny jest jej pobór z zewnętrznego źródła. Linia zasilająca (pojedyncza lub podwójna) tworzona jest poprzez połączenie hydrantu z nasadą ssawną autopompy z wykorzystaniem węży W75. Podłączone do sieci wodociągowej hydranty nadziemne są stałym elementem miejskiego krajobrazu (fot. 5a), a te usytuowane w pobliżu placówek oświatowych niekiedy wyróżniają się nawet figuralnym kształtem (fot. 5b). Wiele hydrantów to urządzenia wyłącznie podziemne (fot. 5c), dlatego w skrytce wozu gaśniczego zawsze przewożony jest stojak hydrantowy wraz z kluczem.

Poza terenem zabudowanym istnieje natomiast opcja czerpania wody bezpośrednio z naturalnego zbiornika z wykorzystaniem linii ssawnej z połączonych węży W110. Jej początkiem jest smok ssawny utrzymywany, dzięki dołączonemu pływakowi, płytko pod powierzchnią. Dzięki temu można zasilić miejsce akcji w wodę lub zatankować zbiornik wozu dowożącego ją do pożaru.

Jak już wspomniano wcześniej, do gaszenia cieczy palnych i ciał stałych topiących się w wysokich temperaturach używa się piany gaśniczej, która powstaje zazwyczaj przez gwałtowne, mechaniczne zmieszanie wodnego

[8] Osoby zaznajomione z pracami Evangelisty Torricellego wiedzą, że teoretycznie wodę można zassać na wysokość około 10,33 m.

[9] Gdy woda pobierana jest z hydrantu, po stronie ssawnej występuje dodatnie ciśnienie.

eprasa.pl 3058c33e15

Fot. 5. Hydranty nadziemne (a, b) oraz podziemne (c) umożliwiają czerpanie wody do celów przeciwpożarowych.

Fot. 6. Pirometr graficzny może być wykorzystywany w ochronie przeciwpożarowej.

roztworu środka pianotwórczego z powietrzem. Do wytworzenia piany ciężkiej służą prądownice pianowe stanowiące zakończenie linii wężowej i samochodowe działka wodno-pianowe, które umożliwiają daleki rzut piany, nawet na kilkadziesiąt metrów.

Dedykowane wytwornice pozwalają z kolei uzyskać piany średnie, natomiast generatory wyposażone w specjalny rękaw dostarczać pianę lekką. Warto uzmysłowić sobie, że wraz ze zwiększeniem liczby spienienia zmniejsza się gęstość piany, jej zasięg, przyczepność i właściwości izolacyjne.

W skład wyposażenia wozów strażackich często wchodzą przenośne wentylatory, których podstawową funkcją jest oddymianie pomieszczeń po ugaszeniu pożaru. Często bowiem dzieje się tak, że wentylacja naturalna (prowadzona poprzez okna, otwory drzwiowe czy klapy oddymiające) nie wystarcza, by usunąć produkty spalania z wnętrza obiektów. Wówczas stosuje się wentylację mechaniczną, wymuszając ruch gazów w wybranym kierunku. Jeśli to wentylator wyciągowy zasysa dym z pomieszczeń, mówimy o wentylacji podciśnieniowej. Zdecydowanie wydajniejsza i popularniejsza jest jednak wentylacja nadciśnieniowa. W tym przypadku ustawiony przed otworem wlotowym (np. drzwiami) agregat, dzięki wirującym łopatkom, tłoczy do obiektu strumień świeżego powietrza, co powoduje wzrost ciśnienia we wnętrzu budynku o przynajmniej 700 Pa ponad ciśnienie atmosferyczne. Dzięki temu gazy pożarowe mogą być wypychane przez przygotowane otwory wylotowe (np. wybite okna).

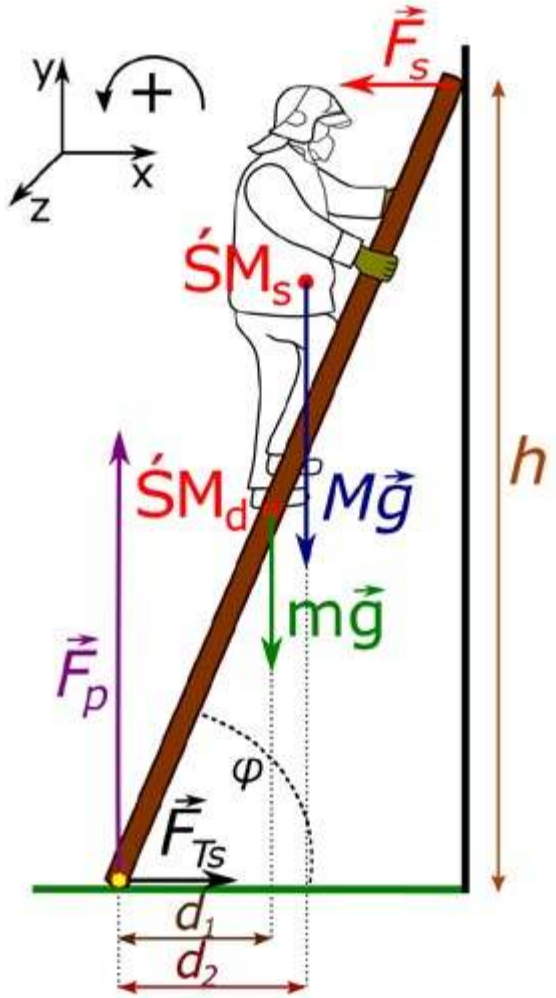
W zależności od mocy stosowanego wentylatora suma pól powierzchni otworów oddymiających powinna stanowić od 75% do 175% pola powierzchni otworu napowietrzającego. Gdy jednak otwory wylotowe okażą się zbyt duże, gazy będą wydostawać się z nich pod zmniejszonym ciśnieniem. Wówczas proces wentylacji może zostać zakłócony przez wiatr. Warto dodać, że czasami doświadczone zespoły ratowników stosują wentylację mechaniczną już w najwcześniejszej fazie walki z ogniem. To tzw. natarcie nadciśnieniowe, prowadzone podczas wprowadzania linii gaśniczych, umożliwia ukierunkowanie przepływu gazów pożarowych w stronę przygotowanych otworów oddymiających (np. wybitych okien) a tym samym zapewnia poprawę widoczności, obniżenie temperatury i sprawniejsze dotarcie do ogniska pożaru.

W kontekście akcji prowadzonych w obszarze o dużym zadymieniu należy wspomnieć o kamerach termowizyjnych. Urządzenia te nie tylko pozwalają na przeprowadzenie rozpoznania i lokalizację źródeł ognia, ale również ułatwiają poruszanie się ratowników w strefach, gdzie widoczność jest znacznie utrudniona. Obrazowanie w paśmie podczerwieni umożliwia również kontrolę przewodów kominowych, wentylacyjnych, szybów zsypów, także wolnych przestrzeni między elementami stropów czy ścian. Lokalizacja miejsc o podwyższonej temperaturze przydatna jest podczas dogaszania pogorzeliska. Dodajmy jeszcze, że proste, przenośne urządzenia mogą być stosowane w ochronie przeciwpożarowej nie tylko przez strażaków, ale również elektryków czy konserwatorów. Przykładem jest przedstawiony na fot. 6 pirometr graficzny. Na jego wyświetlaczu wyniki pomiarów termicznych w podczerwieni (przeprowadzane w zakresie od 6,5 do 14 μm z wykorzystaniem detektora piroelektrycznego) są odzwierciedlane przez paletę kolorów i nakładane na obraz z tradycyjnej kamery cyfrowej rejestrującej światło widzialne. Do bezpośrednich zastosowań w akcjach gaśniczych stosuje się natomiast urządzenia o podwyższonej odporności na wysokie temperatury.

Drabiny i podnośniki

Osoby postronne zapytane, z czym kojarzy im się straż pożarna, na pewno bez wahania wymienią drabinę. Rzeczywiście drabiny są niezbędne w działaniach ratowniczo-gaśniczych, umożliwiają m.in. wejście do budynku przez okno, ewakuację poszkodowanych czy podawanie prądów gaśniczych z wysokości. Większość wozów bojowych jest wyposażona w drabiny przenośne wykonane z drewna lub stopów aluminium. Najprostsze składają się z dwóch bocznic połączonych szczeblami. Podczas akcji tego typu drabiny zawsze muszą opierać się o stabilny element konstrukcji budynku. Warto dodać, że zalecany kąt nachylania bocznic względem podłoża to 75°.

eprasa.pl 3058c33e15



Rys. 2. Siły działające na drabinę, na której znajduje się strażak. Założono, że momenty sił są dodatnie, jeśli powodują obrót w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara.

Miłośnicy fizyki rozwiązywali być może zadanie poświęcone problemowi równowagi statycznej drabiny, na której znajduje się strażak. Warto przeanalizować ten problem w oparciu o rys. 2. Środek masy strażaka oznaczono na nim jako ŚM$_s$, natomiast środek masy drabiny jako ŚM$_d$. Przyjmiemy pewne uproszczenie, zakładając, że drabina opiera się o gładką ścianę, zatem pominiemy siłę tarcia występującą między tymi dwoma ciałami. Wówczas ze strony ściany na drabinę działać będzie jedynie siła pozioma F_s. W analizie uwzględniamy natomiast siłę tarcia statycznego F_{Ts}, działającą na styku dolnych krawędzi bocznic i podłoża. Pamiętamy, że ze strony podłoża działa na drabinę również siła normalna F_p zwrócona w górę. Skoro drabina ma znajdować się w stanie równowagi statycznej, to zarówno siła wypadkowa F_w jak i wypadkowy moment sił M_w muszą być równe zero:

$$\overrightarrow{F_w} = \vec{0} \ \wedge \ \overrightarrow{M_w} = \vec{0}$$

Dla sytuacji zobrazowanej na rys. 2 zastosujemy uproszczony zapis, bo analizowane siły działają w płaszczyźnie rysunku (x,y), a momenty sił mogą spowodować ewentualny obrót ciała tylko wokół osi równoległej do osi z. Warunek równowagi wygląda zatem następująco:

$$F_{w_x} = 0 \ \wedge F_{w_y} = 0 \ \wedge M_{w_z} = 0$$

Co możemy dalej rozpisać:

$$F_{Ts} - F_s = 0$$

$$F_p - Mg - mg = 0$$

gdzie: m – masa drabiny, M – masa strażaka.

Jeśli oś obrotu umieścimy tak, żeby przechodziła przez punkt przyłożenia siły F_p (prostopadle do płaszczyzny rysunku), a przez d_1 i d_2 oznaczymy poziome odległości między osią obrotu a położeniem odpowiednio: środka masy drabiny i środka masy strażaka, wówczas:

$$\sum M = h\left(F_s\right) - d_1\left(mg\right) - d_2\left(Mg\right) = 0$$

Na podstawie tak zapisanych równań możemy m.in. obliczyć wartości odpowiednich sił działających na drabinę. W sytuacji rzeczywistej strażak operujący na drabinie często podaje prąd wody z węża. Musi wówczas posiadać asekurację w postaci pasa i zatrzaśnika ze względu na działającą na niego siłę reakcji prądownicy. W analizie trzeba zatem uwzględnić dodatkową siłę.

Współcześnie regułą jest, że jednostki PSP w miastach dysponują specjalnym pojazdem z osadzoną na obrotnicy drabiną mechaniczną. Jest ona podnoszona automatycznie przez siłowniki hydrauliczne, składa się z kilku przęseł (w formie kratownic rozsuwanych dzięki układowi działających przeciwbieżnie stalowych lin) i zazwyczaj posiada dołączony kosz ratowniczy.

Dla zainteresowanych warto dodać, że w Polsce tego typu samochody strażackie oznacza się symbolem SD <*wr*>, gdzie *wr* to wyrażona w metrach wysokość ratownicza. Mierzy się ją w pionie między ziemią a górną powierzchnią podłogi kosza, gdy drabina ustawiona jest pod największym kątem do podłoża a wszystkie przęsła są maksymalnie wysunięte. Na fot. 7 przedstawiono drabinę SD 37.

Współcześnie drabiny hydrauliczne mogą osiągać imponujące wysokości robocze. Najlepszym przykładem jest składająca się z 7 wysuwanych przęseł, osadzona na 4-osiowym podwoziu drabina Magirus M68L, której wysokość ratownicza to 66 m (robocza 68 m).

Oprócz drabin mechanicznych w ratownictwie wykorzystywane są również samochody specjalne z podnośnikiem hydraulicznym, oznaczane w Polsce symbolem SH. Mogą one swoim koszem sięgać jeszcze wyżej niż drabiny. W zagranicznych metropoliach można spotkać podnośniki Bronto Skylift F112HLA o wysokości roboczej 112 m. Liczba osób mieszczących się w koszu ratowniczym jest jednak ograniczona, dlatego drabiny mechaniczne, zapewniające możliwość ciągłej ewakuacji poszkodowanych, często lepiej sprawdzają się w akcji niż podnośniki.

Fizyk zauważy na pewno, że w obu urządzeniach, w przypadku operowania na znacznym wysięgu, kluczowy jest system stabilizacji w postaci czterech wysuwanych podpór zapewniających stateczność. Podczas akcji wszystkie podpory poprzez swoje talerze muszą mieć kontakt z podłożem. Wyznaczają wówczas tzw. kontur wywrotu mający formę prostokąta. Jeśli poza podporami obciążenia na grunt przenoszą również koła samochodu (tak często dzieje się w przypadku drabin mechanicznych), mamy dodatkowe punkty podparcia.

eprasa.pl 3058c33e15

Fot. 7. Drabina mechaniczna SD-37 podczas działań ratowniczych.

Zachowanie równowagi trwałej jest możliwe, gdy algebraiczna suma momentów ustalających M_u jest większa niż suma momentów wywracających M_w, dążących do przewrócenia drabiny. Momenty ustalające pochodzą od masy ustalającej (elementów samochodu i przęseł, które znajdują się wewnątrz konturu wywrotu), natomiast momenty wywracające związane są z masą części wystających poza ten kontur. Dodatkowo istotny jest wpływ siły wiatru oraz sił reakcji spowodowanych ruchami podnośnika czy podawaniem prądu wody z kosza ratowniczego.

Warto wspomnieć, że nie zaleca się operować drabiną mechaniczną, gdy prędkość wiatru przekracza 12,5 m/s. Co ciekawe, dla wozów pożarniczych problem zapewnienia stateczności nie ogranicza się tylko do rozwiniętych autodrabin czy podnośników hydraulicznych. Również pędzące do zdarzenia samochody muszą utrzymać zadany kierunek jazdy. Jest to utrudnione szczególnie na łukach drogi i powierzchniach pochyłych, nie tylko ze względu dużą prędkość, z jaką te wozy się poruszają, ale również z uwagi na wysoko położony środek masy.

Pozycja transportowa ramion wysięgnika z osprzętem odpowiada za bardzo wysoko położony środek masy samochodów z podnośnikami hydraulicznymi. Podobnie jest w przypadku drabin mechanicznych, gdzie największy przyczynek mają przęsła drabiny i mechanizm obrotnicy. Tego typu pojazdy specjalne mają zatem niekorzystne właściwości ruchowe, szczególnie w zakresie stateczności poprzecznej.

Z kolei w przypadku samochodów ratowniczo-gaśniczych za położenie środka masy odpowiada przede wszystkim umiejscowienie i pojemność zbiorników na środki gaśnicze, a w zdecydowanie mniejszym stopniu rozmieszczenie przenośnego sprzętu w skrytkach. Nietrudno domyślić się zatem, że środek masy jest przesunięty ku tylnej osi, może się też przemieszczać na skutek ruchu cieczy wewnątrz zbiorników.

Reasumując warto jeszcze raz podkreślić, że pożarnictwo, rozumiane jako ogół działań mających na celu zapobieganie i walkę z pożarami, opiera się na solidnym fundamencie wiedzy fizycznej. Należy pamiętać, że przydatna jest ona nie tylko podczas walki z ogniem, ale również w trakcie innych zadań podejmowanych współcześnie przez strażaków, np. ratownictwa technicznego, wodnego, wysokościowego czy ekologicznego.

dr Tomasz Kubiak
Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Hipolita Cegielskiego w Gnieźnie

LITERATURA:

[1] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy Fizyki, T2, PWN, Warszawa 2006, s. 2-25.
[2] A. Gontarz, D. Czerwienko, I. Pogorzelski, L. Jurecki, Bezpieczeństwo samochodów pożarniczych w czasie jazdy i na miejscu akcji, Wydawnictwo Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego, Józefów 2012.
[3] Regulamin rozwinięć samochodów ratowniczo-gaśniczych pod. red. G. Stankiewicza, Warszawa 2016.
[4] G. Bugaj, Wentylacja nadciśnieniowa (cz.1), *Przegląd Pożarniczy*, nr 12 (2013), s. 27-31.
[5] M. Płotica, Konserwacja i eksploatacja motopomp i autopomp [w:] Szkolenie kierowców – konserwatorów sprzętu ratowniczego OSP pod red. Z. Surali, CNBOP, Józefów 2009, s. 56-116.
[6] S. Kokot-Góra, Okiełznać żywioł wody (cz.1), *W akcji*, nr 5 (2019), s. 16-22.
[7] S. Kokot-Góra, Teoria spalania i pożaru – najnowsze badania i stare prawdy, *W akcji* nr 5 (2016), s. 26-32.
[8] B. Król, M. Sobolewski, D. Gancarczyk, M. Swebodziński, Badania wzrostu ciśnienia w pomieszczeniu w wyniku niewłaściwego gaszenia pożaru grupy F, *Zeszyty Naukowe SGSP* 1(66), 2018, 7-22.
[9] M. Karpowicz, J. Gniazdowska, Postęp w technice gaszenia pożarów lasów, *Zarządzanie Ochroną Przyrody w Lasach*, 10 (2016), 156-173.
[10] R. Czarnecki, Bezpieczeństwo pracy na drabinie, *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, 22 (2011), 75-83.
[11] D. Surmacz, Sprzęt ODO/OUO – ważny element bezpieczeństwa strażaka, *W akcji*, nr 2 (2017), s. 19-27.
[12] A. Szajewska, Termowizja w ochronie przeciwpożarowej, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa 2018.
[13] S. Banaszewski, P. Jędrzejewski, Ochrona przeciwpożarowa, gaszenie wodą i dwutlenkiem węgla, *Zabezpieczenia*, nr 2 (2010), s. 24-30.

Co w fizyce piszczy

Wodór z amoniaku

W dwóch poprzednich numerach ukazał się artykuł dotyczący perspektyw wykorzystywania wodoru jako paliwa. Nie tylko my zajmujemy się tą tematyką. W 2008 roku Wydawnictwa Naukowo Techniczne opublikowały książką „Wodór jako paliwo". Jednym z problemów przy wdrażaniu tego pomysłu jest trudność pozyskiwania samego wodoru, czyli skąd wziąć to paliwo. Co prawda w szeroko rozumianym kosmosie stanowi on główny budulec, na Ziemi nie występuje jako złoże w formie niezwiązanej. Można go oczywiście otrzymywać z ropy naftowej lub z wody, ale to wymaga nakładów energetycznych. Najnowszy pomysł to otrzymywanie wodoru z amoniaku. Grupa naukowców opracowała specjalny reaktor chemiczny, który wykorzystuje energie słoneczną do rozkładu amoniaku. Technologia ta reklamowana jest jako czysta, ale co z drugim produktem procesu azotem?

Źródło: Dae-Kwang Lim,at al. Solid Acid Electrochemical Cell for the Production of Hydrogen from Ammonia. Joule, 2020; 4 (11): 2338 DOI: 10.1016/j.joule.2020.10.006

eprasa.pl 3058c33e15

Fizyka latania

Dziś, kiedy o lotach międzyplanetarnych mówi się bez większego przejęcia, jak o rzeczy zupełnie naturalnej, nie zawsze pamięta się o drogach, które do lotów tych prowadziły i ogromnym wkładzie talentu, zapału, pracy i poświęcenia setek i tysięcy ludzi, którzy mimo trudności i niepowodzeń doprowadzili współczesny stan wiedzy lotniczej do tak wysokiego poziomu.

Andrzej **Wasiak**

Pierwszych lotów dokonano nie na samolotach, ale balonach. W roku 1783 bracia Joseph i Jacques Montgolfier dokonali wzlotu balonem na ogrzane powietrze. Pod koniec XIX stulecia Niemiec Otto Lilienthal dokonał szereg udanych lotów na zbudowanych przez siebie szybowcach. W czasie prób szybowca w roku 1886 uległ on wypadkowi i zmarł. Szybowce budował Polak Czesław Tański wykonując loty na odległość do 30 m.

Pierwszego udanego lotu silnikowego dokonali Amerykanie – bracia Orville i Wilbur Wright. Było to w grudniu 1903 r. Ta data jest uznawana jako początek lotnictwa silnikowego. Zwraca uwagę ich naukowe podejście do zagadnienia. Przed zbudowaniem samolotu skonstruowali oni tunel aerodynamiczny, w którym przebadali przeszło 200 profili lotniczych. Następnie zbudowali latawiec, potem szybowiec a dopiero na końcu samolot.

Podstawowe wiadomości o przepływach

Pojęcia podstawowe

Aerodynamika, jako nauka zajmuje się zagadnieniami ruchu ciał stałych w ośrodku gazowym i wzajemnego oddziaływania ciał stałych i gazu. Z punktu widzenia stosowanych metod aerodynamika dzieli się na doświadczalną i teoretyczną.

Aerodynamika doświadczalna gromadzi materiały pomiarowe potrzebne do zagadnień teoretycznych i do celów praktycznych. **Aerodynamika teoretyczna** zajmuje się matematyczną stroną zagadnienia. Jako model teoretyczny służy tzw. **gaz doskonały**. Jest to ośrodek ciągły, pozbawiony lepkości, dzięki czemu przenosi tylko ciśnienie prostopadłe do powierzchni ciała.

W **gazie rzeczywistym** (lepkim) na skutek tarcia między warstwami, oprócz sił prostopadłych powstają siły styczne. Gaz można rozpatrywać jako ściśliwy (w przypadku prędkości przydźwiękowych i naddźwiękowych).

Strumień gazu jest to zespół cząsteczek gazu, poruszających się w określonym kierunku (np. opływającym ciało stałe).

Linia prądu jest to krzywa charakteryzująca się tym, że w każdym jej punkcie styczna do niej wyznacza kierunek prędkości cząstek gazu w tym punkcie i w danej chwili.

Tor cząstki jest to linia łącząca kolejne położenia cząstki. Rozpatrując przepływ gazu wykorzystujemy dwa najbardziej ogólne prawa przyrody: prawo zachowania masy i prawo zachowania energii.

W zastosowaniu do strumienia gazu prawo zachowania masy sprowadza się do równania ciągłości strumienia, które mówi, że przy dowolnych odkształceniach i zmianach stanu, towarzyszących przepływowi strumienia gazu, cała przestrzeń jest stale wykorzystywana przez gaz, tzn. nie ma w nim przerw.

eprasa.pl 3058c33e15

W przypadku **gazu nieściśliwego** prawo zachowania masy przybiera postać prawa zachowania objętości. Badając przepływ strumienia gazu można założyć, że prędkość jest stała w całym jego przekroju. Ponadto, ponieważ gaz jest nieściśliwy, tzn. gęstość jego jest stała ($\rho = const$), więc równanie ciągłości, wyrażające w tym przypadku zachowanie objętości, ma postać

$$v_1 \cdot F_1 = v_2 \cdot F_2, \tag{1}$$

gdzie

v_1 i v_2 – prędkości przepływu w dwóch dowolnych przekrojach strumienia,

F_1 i F_2 – odpowiednie pola przekrojów tego strumienia.

W przypadku **gazu ściśliwego** masa gazu przepływająca w jednostce czasu przez dowolny przekrój strumienia pozostaje stała i wyraża się iloczynem $\rho \cdot v \cdot F$. W tym przypadku równanie ciągłości ruchu ma postać

$$\rho_1 \cdot v_1 \cdot F_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot F_2. \tag{2}$$

Stosując do strumienia gazu prawo zachowania energii otrzymujemy tzw. równanie Bernoullego. Dla gazu nieściśliwego równanie to ma postać

$$p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}, \tag{3}$$

gdzie p_1 i p_2 oraz v_1 i v_2 oznaczają odpowiednio ciśnienia i prędkości w dwóch dowolnych przekrojach strumienia ($\rho = const$). Wszystkie składniki występujące w równaniu (3) mają wymiar ciśnienia. W związku z tym p_1 i p_2 przyjęto nazywać **ciśnieniem statycznym**, a $\frac{\rho \cdot v^2}{2}$ **ciśnieniem dynamicznym** lub **ciśnieniem prędkości**.

Równanie Bernoullego określa związek między ciśnieniem i prędkością w strumieniu gazu i umożliwia wyznaczanie rozkładu ciśnień na powierzchni opływanego ciała, jeżeli są znane prędkości w odpowiednich punktach.

Wir i cyrkulacja

Ważny pojęciem umożliwiającym wyjaśnienie mechanizmu powstawania **siły nośnej płata nośnego** jest wir i określany za jego pomocą **strumień cyrkulacyjny**.

Pojęcie wiru wiąże się z ruchem cząsteczek gazu, mianowicie cząsteczki gazu oprócz przemieszczeń liniowych mogą również mieć przemieszczenia kątowe (mogą ulegać obrotowi).

Jeżeli **linia wirowa**, w skrócie nazywana wirem, jest prostą prostopadłą do pewnej płaszczyzny, to linie prądu w tej płaszczyźnie są okręgami współśrodkowymi o środku będącym punktem przebicia linii wirowej i płaszczyzny. Można wykazać, że w odległości r od osi wiru prędkość przepływu v styczna do okręgu o tym promieniu czyni zadość związkowi

$$r \cdot v = C, \tag{4}$$

gdzie C jest wartością stałą.

Wzór (4) przedstawia równanie hiperboli równobocznej.

Cyrkulacja prędkości

Rozważmy okrąg o promieniu r. Cząsteczka gazu porusza się po tym okręgu ze stałą prędkością v. **Cyrkulacją** wzdłuż tego okręgu nazywamy iloczyn prędkości przez drogę, którą przebyła cząsteczka gazu. Podczas jednego okrążenia cyrkulacja jest równa

$$\Gamma = 2\pi r v. \tag{5}$$

Pojęcie cyrkulacji jest więc analogiczne do pojęcia pracy (siła razy droga), z tym że przy obliczaniu cyrkulacji prędkości rolę siły odgrywa prędkość styczna do toru cząstki.

Cyrkulację prędkości cząsteczki, której ruch po okręgu jest wywołany wirem, można uważać za miarę intensywności wiru.

Powstawanie sił aerodynamicznych

Siła nośna i siła oporu czołowego

W rozważaniach dotyczących opływu ciała stałego przypuśćmy, że ciało o opływowym kształcie (bez załamań) znajduje się w strumieniu gazu. W takim przypadku poszczególne strugi strumienia gazu w pobliżu powierzchni ciała ulegają tym silniejszemu zagęszczeniu m większa jest krzywizna ciała (Rys. 1).

Rys. 1. Zagęszczenie strug występujące przy opływie ciała stałego.

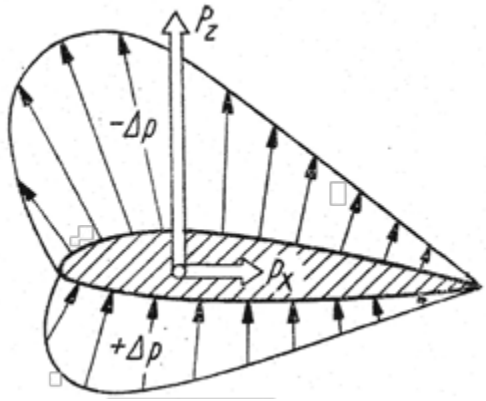
eprasa.pl 3058c33e15

Zgodnie z równaniem ciągłości ruchu (2), w tych miejscach, gdzie przekrój strumienia zmniejsza się, prędkość musi wzrastać, tak że w rezultacie w różnych punktach ciała występują różne prędkości styczne do jego powierzchni. Zgodnie z równaniem Bernoullego (3) w punktach tych będą panowały różne ciśnienia. Na rys. 2 jest przedstawiony rozkład ciśnień na powierzchni ciała opływowego, zadanego profilem aerodynamicznym.

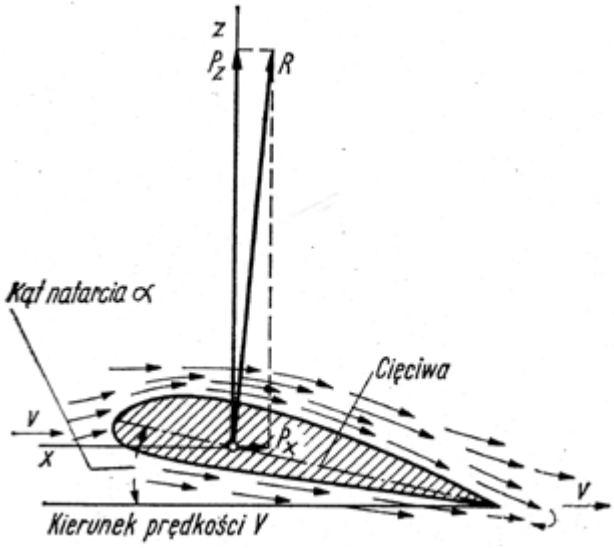
Podciśnienie oznacza się znakiem minus i odkłada prostopadle do obrysu od zewnątrz. Zwykle w ten sposób przedstawia się również rozkład ciśnień wiatru na różnego rodzaju budowlach (hangary lotnicze itp.).

Wykres przedstawiony na rys. 2 można otrzymać bezpośrednio metodą doświadczalną przez pomiar w tunelu aerodynamicznym. Sumując wszystkie wektory o kierunku pionowym (z uwzględnieniem znaku) otrzymuje się wektor wypadkowy skierowany pionowo do góry. Podobnie sumując wszystkie wektory poziome otrzymuje się wypadkowy wektor poziomy skierowany przeciwnie do kierunku ruchu ciała względem ośrodka gazowego (w naszym przypadku w prawo).

Wektor pionowy stara się unieść profil w górę, stanowiąc siłę nośną. Wektor poziomy stanowi siłę oporu czołowego. Obie te siły zależą od kształtu opływanego ciała



Rys. 2. Rozkład ciśnień na profilu aerodynamicznym



Rys. 3. Siły aerodynamiczne na profilu

oraz od innych czynników. Jednym z nich jest **kąt natarcia**, którym nazwano kąt między cięciwą profilu a kierunkiem przepływu strumienia gazu (Rys. 3.).

Siłę nośną i siłę oporu przykłada się w tym samym punkcie profilu. Punkt ten nazywamy **środkiem parcia**. Położenie środka parcia nie jest stałe i zmienia się wraz z kątem natarcia. Wypadkowa siły nośnej i siły oporu stanowi całkowitą siłę aerodynamiczną (Rys. 3).

Współczynniki aerodynamiczne

Siły aerodynamiczne są proporcjonalne do gęstości gazu ρ i kwadratu prędkości v jego przepływu oraz do powierzchni S, charakteryzującej dane ciało. Stąd wynikają równania na siłę nośną P_z, siłę oporu P_x, oraz całkowitą siłę aerodynamiczną R.

$$P_z = C_z \frac{\rho v^2}{2} S, \tag{6}$$

$$P_x = C_x \frac{\rho v^2}{2} S, \tag{7}$$

$$R = C_r \frac{\rho v^2}{2} S, \tag{8}$$

przy czym, jak wynika z rys. 3

$$R = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} \tag{9}$$

Współczynniki proporcjonalności C_z, C_x i C_R są bezwymiarowe i noszą odpowiednie nazwy: C_z – współczynnik siły nośnej, C_x – współczynnik oporu i C_R – współczynnik całkowitej siły aerodynamicznej. Współczynniki te wyznacza się doświadczalnie w tunelach aerodynamicznych. Wartości ich zależą od wielu czynników, przede wszystkim jednak od kształtu opływanego ciała, od jego położenia względem strumienia gazu (w danym wypadku od kąta natarcia) oraz od lepkości gazu, czyli od siły tarcia między cząsteczkami gazu. Warto tu przypomnieć, że lepkość gazu, w przeciwieństwie do lepkości cieczy rośnie wraz z temperaturą gazu. W zakresie prędkości przydźwiękowych oraz ponaddźwiękowych współczynniki te zależą od liczby Macha (liczba Macha to stosunek prędkości ciała do prędkości dźwięku w gazie).

W przypadku ciał osiowo symetrycznych lub o kształtach nieregularnych za powierzchnię S przyjmuje się pole rzutu płata na powierzchnię poziomą.

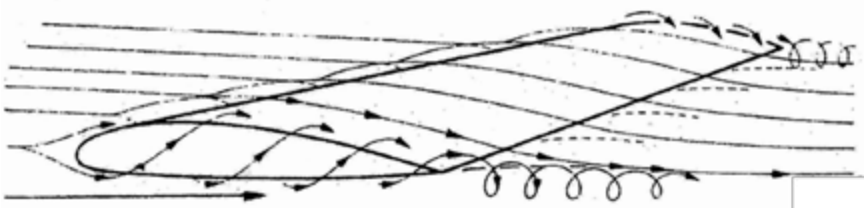
Wzór Żukowskiego

M. J. Żukowski (1847–1921), wyjaśnił proces powstawania siły nośnej na skrzydle.

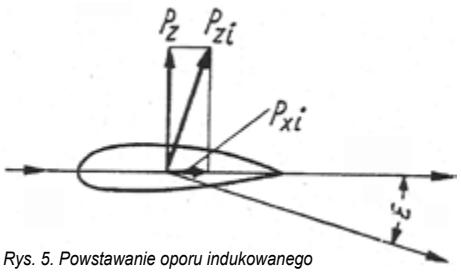
Wychodząc z założenia, że opływane skrzydło oddziałuje na strumień równoległy tak samo jak strumień cyrkulacyjny, zaproponował zastąpienie skrzydła przez wir o odpowiednio dobranej cyrkulacji, a mianowicie takiej, aby oddziaływanie wiru na strumień było takie samo jak oddziaływanie skrzydła. Wir taki nie jest unoszony, lecz zajmuje względem strumienia położenie nieruchome. Wir ten nazwał Żukowski wirem związanym.

Za pomocą metod matematycznych można wyznaczyć cyrkulację wiru związanego oraz obraz opływu profilu, a co za tym idzie – rozkład ciśnień i siłę nośną.

eprasa.pl 3058c33e15



Rys. 4. Opływ skrzydła o skończonej długości



Rys. 5. Powstawanie oporu indukowanego

Wzór na siłę nośną wyprowadzony przez Żukowskiego ma postać

$$P_z = \rho \cdot \Gamma \cdot l \cdot v, \tag{10}$$

gdzie: Γ – cyrkulacja wiru związanego, ρ – gęstość gazu, v – prędkość strumienia równoległego, niezaburzonego obecnością profilu w dostatecznie dużej od niego odległości.

Równanie (10) określa siłę nośną działającą na wycinek o długości l skrzydła nieskończenie długiego. Wzór ten ma w aerodynamice podstawowe znaczenie.

Skrzydło o skończonej długości. Opór indukowany

Zagadnienia omówione w poprzednim rozdziale dotyczą skrzydła nieskończenie długiego. Wir związany dla takiego skrzydła jest nieskończenie długi. Dla skrzydła o skończonej długości rozumowanie jest podobne, jednak zastępując skrzydło wirem związanym zakłada się, iż z końców skrzydła spływają wiry, będące jak gdyby przedłużeniem wiru związanego.

Taki model wiru zastępczego ma uzasadnienie doświadczalne, gdyż wiry spływające z końców skrzydła można zaobserwować w rzeczywistości. Zatem skrzydło o skończonej długości w najprostszym przypadku można zastąpić podkowiastym, który z punktu widzenia powstawania sił aerodynamicznych jest równoważny ze skrzydłem.

Rozważania teoretyczne i doświadczalne wskazują, że oddziaływanie wiru podkowiastego na otaczający go ośrodek, w porównaniu z oddziaływaniem wiru zastępczego ze skrzydłem nieskończenie długim, wywołuje zmianę w rozkładzie prędkości, a więc i w rozkładzie ciśnień. Jak się jednak okazuje, zmiana ta nieznacznie wpływa na wartość siły nośnej, natomiast wywiera istotny wpływ na opór skrzydła; jest ona źródłem dodatkowego oporu, tzw. **oporu indukowanego**.

Można wykazać, że średnia prędkość wzbudzenia, czyli indukowana przez włókna wirowe, spływające z końców skrzydła, skierowana jest prostopadle do płaszczyzny wyznaczonej przez te włókna. W rezultacie kierunek prędkości strumienia za skrzydłem ulega zmianie, odchylając się od kierunku istniejącego przed skrzydłem ku dołowi o kąt ε zwany **kątem odchylenia strug** (Rys. 5).

Do obliczania siły oporu indukowanego służy wzór podobny do wzoru (7) tzn.

$$P_{xi} = C_{xi} \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot S, \tag{11}$$

gdzie C_{xi} – współczynnik oporu indukowanego. C_{xi} – jest określany zależnością

$$C_{xi} = \frac{1+\delta}{\pi \cdot \lambda} C_z^2, \tag{12}$$

gdzie λ – wydłużenie skrzydła, δ – współczynnik doświadczalny, zależny od wydłużenia i obrysu skrzydła. (Dla skrzydła o obrysie prostokątnym wydłużenie jest równe stosunkowi rozpiętości do cięciwy $\lambda = \frac{b}{l}$, zaś dla skrzydła o dowolnym obrysie $\lambda = \frac{b^2}{S}$).

Współczynnik δ ma wartość zerową w przypadku skrzydeł o obrysie eliptycznym (np. myśliwiec z okresu II Wojny Światowej słynny Spitfire), w skrzydłach trapezowych różni się nieznacznie od zera.

Skrzydło rzeczywiste o skończonej rozpiętości, w porównaniu ze skrzydłem nieskończenie długim, odznacza się więc nieco mniejszym współczynnikiem siły nośnej i większym współczynnikiem oporu. To ostatnie daje się zauważyć zwłaszcza w skrzydłach o małym wydłużeniu (np. skrzydła delta) i w locie na dużej wysokości lub z małą prędkością, gdyż C_x ma wtedy dużą wartość.

Warto zauważyć (wzór 12), że współczynnik oporu indukowanego C_{xi} jest odwrotnie proporcjonalny do wydłużenia λ, tak więc skrzydła o dużym wydłużeniu charakteryzują się mniejszym oporem indukcyjnym.

Stosunek siły nośnej wytwarzanej przez aparat latający do jego całkowitego oporu nazywamy **doskonałością aerodynamiczną**. I tak dla przykładu doskonałość aerodynamiczna promu kosmicznego wynosi 7, dla przeciętnego samolotu jest rzędu kilkunastu (np. samolotu TS-11 Iskra wynosi 11), zaś dla szybowców wysokowyczynowych przekracza 40, a dla samolotów komunikacyjnych ok. 20.

Tak więc w celu uzyskania wysokiej doskonałości należy stosować skrzydła o dużym wydłużeniu (np. skrzydła szybowców). Celem zmniejszenia oporu indukowanego stosuje się często na końcach skrzydeł tzw. **winglety** (podgięte końcówki skrzydeł – zwłaszcza w szybowcach i samolotach komunikacyjnych). Winglety powodują rozproszenie wirów brzegowych na końcach skrzydeł i zmniejszenie ich intensywności.

Andrzej Wasiak

LITERATURA

[1] Abłamowicz A., Nowakowski W., Podstawy aerodynamiki i mechaniki lotu. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1980.
[2] Bielawski R., Wybrane zagadnienia z budowy statków powietrznych. Definicje, pojęcia i klasyfikacje. Akademia Obrony Narodowej. Warszawa 2015.
[3] Stewart S., Edwarts J., Lotnictwo komunikacyjne Podręcznik ogólnej wiedzy lotniczej, Pileus 2016.

eprasa.pl 3058c33e15

CZARNOBYL – zmorą naszych czasów? Cz. II.

To straszące po nocach promieniowanie...

O co chodzi z jodem? Dlaczego akurat cez? Czym jest promieniowanie beta minus? Czym jest promieniowanie w ogóle?

Wioletta Monika **Dynkowska**

Pomimo iż dla przeważającej większości osób słowo „promieniowanie" nadal wzbudza panikę, to jednak należy pamiętać, że ze zjawiskiem promieniotwórczości mamy do czynienia na co dzień. Nie jest powiedziane, że aby zostać narażonym na promieniowanie, do tego celu potrzebne jest specjalne źródło promieniowania lub źródło promieniotwórcze.

Jednym ze źródeł promieniowania jest promieniowanie kosmiczne, przed którym w ogromnym stopniu chronią nas górne warstwy atmosfery. Konsekwencją promieniowania kosmicznego jest obecność promieniotwórczego izotopu węgla ^{14}C w organizmach żywych.

Innym źródłem promieniowania jest gleba i naturalnie występujące w niej izotopy potasu ^{40}K, uranu ^{238}U i w bardzo niewielkim stopniu ^{235}U, toru ^{232}Th i radu ^{226}Ra, a także produkty ich rozpadu, przede wszystkim dwa promieniotwórcze izotopy radonu: ^{220}Rn i ^{222}Rn. Radon jest gazem szlachetnym, obydwa wymienione izotopy tego pierwiastka to składniki rodzin promieniotwórczych, tzw. szeregów promieniotwórczych rozpoczynających się odpowiednio od ^{232}Th i ^{238}U, pierwiastków występujących w materiałach budowlanych. Tym samym długotrwałe przebywanie w budynkach powoduje, że stają się źródłem narażenia na promieniowanie emitowane przez radon i jego pochodne; jest ono tym większe, im na niższej kondygnacji przebywamy.

Kolejnym źródłem promieniowania jesteśmy my sami, z uwagi na występujący powszechnie wspomniany wcześniej radioaktywny izotop potasu ^{40}K, oraz inne naturalne izotopy promieniotwórcze nieodmiennie związane z przyrodą ożywioną.

Słowo „promieniowanie" dla przeciętnego Polaka kojarzy się z dwoma awariami obiektów jądrowych: wspomniana awaria czwartego bloku energetycznego Czarnobylskiej Elektrowni Jądrowej w Czarnobylu (Ukraina) oraz Elektrowni Atomowej Fukushima nr 1 (Japonia) jako następstwo trzęsienia ziemi 11 marca 2011 roku i wystąpienia niszczycielskiej fali tsunami. O ile w drugim przypadku awaria ta spowodowana została czynnikami niezależnymi od człowieka, to reaktor czarnobylski uległ awarii w wyniku błędów konstrukcyjnych. W siedmiostopniowej skali INES (ang. **I**nternational **N**uclear and Radiological **E**vent **S**cale) zakwalifikowano je jako „Wielka awaria".

Promieniowanie definiowane jest jako energia emitowana przez dany układ w postaci fali lub strumienia cząstek. Ustawa Prawo Atomowe definiuje promieniowanie jonizujące jako promieniowanie składające się z cząstek bezpośrednio lub pośrednio jonizujących albo z obydwu rodzajów tych cząstek lub fal elektromagnetycznych o długości do 100 nm. Jednakże mówiąc o zjawisku promieniotwórczości i związanym z nim promieniowaniem jonizującym, mamy na myśli proces dotyczący przede wszystkim jąder atomowych, szczególnie tych nietrwałych, a konkretnie ich rozpadu z emisją cząstki i fali promieniowania elektromagnetycznego.

W niniejszym artykule aspekt promieniotwórczości ograniczony zostanie jedynie do cezu – pierwiastka, którego izotop ^{137}Cs zaraz po innym izotopie promieniotwórczym – izotopie jodu ^{131}I był sprawcą największego narażenia na promieniowanie jonizujące wywołanego awarią reaktora jądrowego w Czarnobylu.

Dla przypomnienia, jądro atomowe pierwiastków składa się z dwóch rodzajów cząstek elementarnych: protonu i neutronu, każda o masie $1{,}67\times10^{-27}$ kg. Cząstki te określa się wspólnym mianem nukleonów. Proton to dodatnio naładowana cząstka elementarna o ładunku

eprasa.pl 3058c33e15

$1{,}602\times10^{-19}$ C, natomiast neutron jest pozbawiony ładunku elektrycznego.

Równowaga ładunku elektrycznego w przyrodzie powoduje, że aby z jądra atomowego został wyemitowany elektron – cząstka beta minus[1], musi również powstać cząstka naładowana dodatnio. Prawo to spełnia rozpad neutronu:

$$ {}_{0}^{1}n \rightarrow {}_{1}^{1}p + {}_{-1}^{0}e + \bar{\nu} $$

Elektron jest cząstką elementarną o masie $9{,}11\times10^{-31}$ kg, ale o takiej samej wielkości ładunku elektrycznego jak posiada proton, lecz ze znakiem przeciwnym. Trzecim produktem rozpadu neutronu jest antyneutrino elektronowe. Zmiana ilości protonów w jądrze atomowym jest jednoznaczna z powstaniem izotopów innego pierwiastka. Na podstawie obserwowanych zjawisk niezależnie od siebie Kazimierz Fajans i Frederick Soddy wprowadzili pojęcie prawa przesunięć, historycznie zwanym od nazwisk obydwu uczonych prawem Fajansa i Soddyego.

W kwestii ilości rozpadów promieniotwórczych posługujemy się pojęciem aktywności źródła promieniotwórczego. Aktywność definiujemy jako ilość rozpadów promieniotwórczych w jednostce czasu, jaką jest sekunda. Jednostkę aktywności promieniotwórczej izotopu opisującą ilość rozpadów dokonujących się w jednej sekundzie nazwano bekerelem (Bq) na cześć laureata Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki Henri Becquerela. Figuruje ona w wykazie jednostek pochodnych układu SI. Jednostka ta jest bardzo niewielka, w praktyce posługujemy się jej wielokrotnościami.

Przemiany promieniotwórcze są zaliczane do procesów stochastycznych; nie można przewidzieć, czy konkretne jądro atomowe w danym momencie ulegnie rozpadowi, natomiast można przewidzieć prawdopodobieństwo, z jakim ten proces może zajść. Rozpad jądra atomowego może nastąpić w czasie mniejszym niż jedna sekunda, ale równie dobrze ten proces może trwać kilka, kilkanaście lub kilkadziesiąt lat.

Czas, w którym ilość atomów izotopu promieniotwórczego ulega zanikowi określany jest jako czas połowiczego rozpadu. Ze względów formalnych ustawa Prawo atomowe oraz Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 grudnia 2015r. w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego (Dz.U. 29.12.2015r., Poz.2267) podaje granicę 30 lat dla kwalifikacji izotopów krótkożyciowych i długożyciowych.

Promieniowanie beta minus jest promieniowaniem silnie jonizującym, czyli powoduje powstawanie jonu z molekuły obojętnej; zderzenie atomu lub cząsteczki z elektronem o wysokiej energii powoduje wybicie innego elektronu, tym samym pojawia się niedomiar ładunku ujemnego i w konsekwencji otrzymujemy jon dodatni. Zjawisko jonizacji zachodzi wówczas, gdy na torze swego lotu cząstka beta minus natrafi na przeszkodę w postaci atomu; poprzez zderzenia sprężyste wysokoenergetyczny elektron wystrzelony z jądra atomowego oddaje część swojej energii innemu elektronowi, powodując jego odrzut i w konsekwencji wspomnianą jonizację tej molekuły.

Ponieważ mamy tu do czynienia z promieniowaniem korpuskularnym, pod uwagę musimy wziąć zasięg emitowanych cząstek. Zależność jest tu prosta: im wyższą energię ma wyemitowany elektron, tym większą drogę może pokonać. Długość tej drogi zależy jednak od rodzaju ośrodka, w którym porusza się ta cząstka. Im gęstszy ośrodek, tym droga ta staje się coraz krótsza, gdyż poprzez niezliczone zderzenia sprężyste następuje wytracenie energii i przez to znaczne spowolnienie ruchu elektronu. Zjawisko to zostało wykorzystane do konstrukcji osłon przed promieniowaniem w celu poprawy bezpieczeństwa użytkownika pracującego ze źródłem promieniotwórczym.

Natrafiamy tu na kolejny problem. Dla przeciętnego zjadacza chleba nietrudnym jest wydedukowanie, że jeśli na drodze promieniowania postawimy sobie osłonę, to ona zatrzyma lub przynajmniej osłabi wiązkę promieniowania. Z założenia: im grubsza osłona, tym lepiej, a jeszcze, jeśli weźmiemy pod uwagę rodzaj materiału, z którego ją skonstruujemy i zamiast, dajmy

Badanie poziomu promieniowania dozymetrem w strefie wykluczenia w Czarnobylu – Adobe Stock.

Eksperci MAEA opuszczają jednostkę 4 elektrowni jądrowej TEPCO Fukushima Daiichi w dniu 17 kwietnia 2013 r. W ramach misji przeglądu japońskich planów likwidacji obiektu. Zdjęcie: Greg Webb / MAEA https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IAEA_Experts_at_Fukushima_(02813336).jpg

[1] Określenie „beta minus" precyzuje rodzaj emitowanej cząstki. Istnieją również izotopy emitujące pozyton – cząstkę o masie i wielkości ładunku elektrycznego elektronu, ale ładunek pozytonu jest dodatni. W niniejszym artykule nie będziemy się nim zajmować

eprasa.pl 3058c33e15

na to, szkła, użyjemy do tego celu płyty ołowiane, to bezpieczeństwo mamy zapewnione. Nic bardziej mylnego. Rzeczywiście podniesiemy sobie poziom bezpieczeństwa w przypadku narażenia na wysoce przenikliwe promieniowanie elektromagnetyczne gamma, jednakże w przypadku promieniowania beta minus ściągniemy na siebie dodatkowe niebezpieczeństwo w postaci zjawiska z nim powiązanego – występowaniem promieniowania hamowania.

Promieniowanie hamowania jest składową promieniowania rentgenowskiego. Podobnie jak gamma jest promieniowaniem elektromagnetycznym, różni się jednak zakresem długości fal i energią. Powstaje ono na skutek przebicia się wysokoenergetycznego elektronu przez powłoki elektronowe atomów tworzących materiał osłony, tym samym pojawiając się w pobliżu jądra atomowego.

W tym momencie zaczyna do głosu dochodzić elektrodynamika: dodatnio naładowane jądro przyciąga do siebie ujemny elektron, w wyniku czego przelatująca cząstka beta minus – która jest tym wysokoenergetycznym elektronem, traci część swojej energii, wypromieniowywanej w postaci promieniowania elektromagnetycznego, zwanego promieniowaniem charakterystycznym. Ponieważ emisja ta nie pochodzi bezpośrednio z jądra atomowego a jedynie z jego otoczenia, wobec powyższego w odróżnieniu od promieniowania gamma zdecydowano się nadać mu inną nazwę. Zjawisko to, negatywne w kontekście osłon przed promieniowaniem, przez genialny umysł Williama Roentgena zostało przekute na pożyteczny aspekt życia współczesnego, jakim są stosowane w medycynie (i nie tylko) lampy nazwane od jego nazwiska.

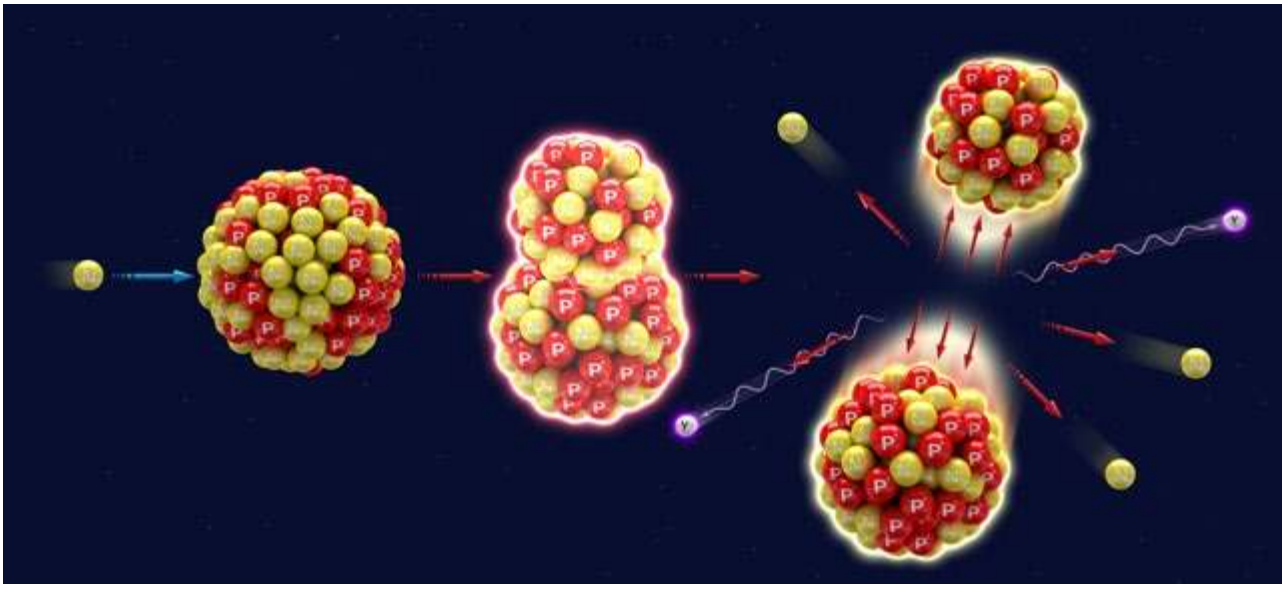
Aby nie narazić się na promieniowanie hamowania, do konstrukcji osłon przed promieniowaniem beta minus używa się materiałów z pierwiastków o niewielkim ładunku jądra atomowego. Takimi materiałami są na przykład szkło organiczne, aluminium (glin), węglowodory. Niskie ładunki jąder atomowych pierwiastków wchodzących w skład wymienionych mediów (wodór: $Z = 1$; węgiel: $Z = 6$; tlen: $Z = 8$; glin: $Z = 13$; krzem: $Z = 14$;) nie wywołują aż takich ogromnych strat energii cząstki beta minus, jak ma to miejsce w przypadku atomów ołowiu ($Z = 82$) czy wolframu ($Z = 74$).

Innym rodzajem promieniowania, w mniejszym stopniu jonizującym, ale znacznie bardziej przenikliwym niż beta minus jest promieniowanie elektromagnetyczne gamma. Towarzyszy ono emisji cząstek beta minus i jest wynikiem wypromieniowywania nadmiaru energii zawartej w jądrze atomowym w wyniku przeskoków nukleonów na inne poziomy energetyczne. Określane jest to jako przejście jądra atomowego ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego.

W przeciwieństwie do beta minus promieniowanie elektromagnetyczne powoduje jonizację ośrodka na sposób pośredni. W zależności od wielkości niesionej energii promieniowanie gamma oddziałuje z materią na trzy sposoby: energia niesiona przez kwant zostaje częściowo lub całkowicie zaabsorbowana przez elektron. Jeśli energia kwantu ma wartość minimalną 1,022 MeV a ten kwant znajdzie się w pobliżu jądra atomowego, wówczas następuje zjawisko kreacji par elektron-pozyton.

Czy możemy zmierzyć promieniowanie?

Tak. Do tego celu służą nam odpowiednie przyrządy, do których należą liczniki scyntylacyjne, liczniki Geigera-Muellera (od nazwiska pomysłodawców i konstruktorów) a także dozymetry, szczególnie istotne elementy wyposażenia w przypadku, gdy w wyniku pracy ze źródłami promieniowania jesteśmy narażeni na otrzymanie wyższej dawki promieniowania, niż jest to określone w przepisach. Warto wiedzieć, że roczne tło promieniowania w Polsce wynosi 2,4 mSv, natomiast całkowitą dawkę skuteczną, jaką możemy otrzymać zarówno od naturalnych źródeł promieniowania jak i w wyniku poddania się diagnostyce



Reakcje w procesie rozszczepienia uranu-235 – Adobe Stock.

eprasa.pl 3058c33e15

Aparat do rezonansu magnetycznego – MRI – Adobe Stock.

medycznej, to 3,5 mSv w ciągu całego roku. Ustawa Prawo atomowe przewiduje, że roczna dawka graniczna dla osób z ogółu ludności wynosi 1 mSv (nie wliczając w to promieniowania tła), natomiast powyżej 1 Sv występują objawy kliniczne i duże prawdopodobieństwo wystąpienia skutków późnych. Dla wątpiących dodajmy, że istnieją miejsca na Ziemi, gdzie naturalne tło promieniowania jest znacznie wyższe niż w Polsce; przykładem może być irańska miejscowość Ramsar, gdzie wartość dawki rocznej wynosi średnio 260 mSv. Jeszcze wyższe tło promieniowania odnotowano we Francji, w miejscowości Lodeve (870 mSv/rok). Pomimo tak wysokich dawek nie odnotowano żadnych skutków zdrowotnych dla zamieszkałej tam ludności. Margines błędu jest więc stosunkowo duży.

Garść informacji o cezie i emitowanym przez niego promieniowaniu

Cez jest aktywnym metalem z grupy litowców, w układzie okresowym znajdziemy go w grupie 1, w okresie 6. Pomijając niezwykle rzadki promieniotwórczy frans, cez jest najbardziej miękkim i najbardziej ściśliwym metalem, o największej aktywności chemicznej, niezmiernie szybko ulegającym korozji, o najniższej elektroujemności. Temperatura topnienia cezu to 28,4ºC, gęstość 1,87 $g \cdot cm^{-3}$.

Z uwagi na wysoką reaktywność chemiczną cez nie występuje w stanie wolnym. Tworząc związki chemiczne cez oddaje swój jedyny elektron z powłoki walencyjnej stając się jednododatnim kationem i właśnie w takiej postaci występuje w przyrodzie. Jego sole są łatwo rozpuszczalne w wodzie. Należy jednak pamiętać, że związki cezu są trujące. Nazwa cezu pochodzi od dwóch charakterystycznych niebieskich prążków (łac. *caesius* – błękitny). Według tabeli rozpowszechnienia pierwiastków w przyrodzie cez jest na 37. miejscu, jego zawartość w skorupie ziemskiej określono na 0,0007% (700 ppm).

Największe zagrożenie niesie ze sobą najpowszechniejszy pośród radioaktywnych izotopów tego pierwiastka, izotop cezu ^{137}Cs z 55 protonami i 82 neutronami w jądrze atomowym, stanowiący produkt rozszczepienia i tym samym występujący w opadzie radioaktywnym i wypalonym paliwie jądrowym. Jego niebezpieczeństwo polega na rodzaju emitowanego promieniowania. Izotop ten umiejscowiony jest nad ścieżką stabilności nuklidów co powoduje, że wobec stosunku liczby neutronów do liczby protonów (1,49) predysponowany jest do rozpadu neutronu a w konsekwencji emisję elektronu z jądra atomowego. Izotop cezu ^{137}Cs po emisji cząstki beta minus o energii 512 keV, staje się stabilnym izotopem baru ^{137}Ba (którego sole są toksyczne), zawierającym 56 protonów i 81 neutronów:

$$^{137}_{55}Cs \rightarrow ^{137}_{56}Ba + ^{0}_{-1}e + \bar{\nu}$$

Po izotopie jodu ^{131}I cez stanowi drugi najliczniej uwalniany radioizotop w przypadku awarii reaktorów jądrowych, pomijając gazy szlachetne. Ze względu na jego chemiczne podobieństwo do potasu, jednowartościowego pierwiastka, podobnie jak cez zaliczanego do grupy litowców, stanowi zagrożenie dla zdrowia poprzez zjawisko substytucji – atomy cezu zostają wbudowane w cały organizm człowieka w miejsce atomów potasu ^{39}K, ze szczególnym uwzględnieniem śledziony, wątroby i mięśni, jak już wcześniej o tym wspomniano.

Oczywiście nie jest to tak, że dokładnie wszystkie atomy potasu ulegną podstawieniu na atomy cezu, jednakże już ta ilość, która zostanie wbudowana wystarczy do wywołania anomalii w funkcjonowaniu organizmu. Roczny limit spożycia (Annual Limit of Intake) cezu wynosi 3,7 MBq. Wspomnianą wielkość należy rozumieć jako aktywność radionuklidu (Bq) wprowadzoną do organizmu, prowadzącą do otrzymania rocznej dawki skutecznej (Sv) przy założeniu, że osoba ta będzie narażona na promieniowanie pochodzące wyłącznie od tego radionuklidu.

Cez ^{137}Cs, jest negatywnym „bohaterem" w historii wielu wypadków jądrowych. Przykładowo: w 1984 roku, po likwidacji kliniki radioterapii w Goiânii (Brazylia) na miejscu nieczynnej placówki pozostawiono pojemnik z tym izotopem nie troszcząc się o jego bezpieczeństwo. Trzy lata później, we wrześniu 1987 roku został on stamtąd zabrany przez nieświadomych potężnego zagrożenia łowców złomu i sprzedany na okoliczne złomowisko. Tam również nikt nie miał pojęcia o rodzaju nabywanego materiału. Według relacji świadków, właściciel złomowiska widząc przepiękną niebieską poświatę wydobywającą się z pojemnika postanowił z tego metalu zrobić pierścionek dla małżonki. W wyniku napromienienia zmarło kilku pracowników a także członkowie rodziny właściciela złomowiska. Sam materiał promieniotwórczy został rozproszony po okolicy.

Dlaczego jod, a przede wszystkim płyn Lugola?

Płyn Lugola to popularna nazwa wodnego roztworu czystego jodu w jodku potasu. Jego nazwa pochodzi od nazwiska Jeana Lugola, który opracował sposób przygotowania takiego preparatu. Jod występujący w stanie wolnym jest bardzo trudno rozpuszczalny w wodzie, jednakże obecność jodku potasu (KI), soli dobrze rozpuszczalnej w wodzie powoduje powstawanie jonów kompleksowych:

$$I_2 + I^- \rightarrow I_3^-$$

Roztwór ten ma działanie antyseptyczne, jest również stosowany w leczeniu niektórych schorzeń tarczycy.

Jod jest mikroelementem niezbędnym dla zdrowia człowieka. Pierwiastek ten wchodzi w skład hormonów: tyroksyny i trijodotyroniny, substancji niezbędnych do

eprasa.pl 3058c33e15

Płyn Lugola, początkowo służył do przemywania ran

Pomiar poziomu promieniowania przy pomocy dwóch dozymetrów i licznika Geigera – Adobe Stock.

funkcjonowania wszystkich komórek organizmu. Tyroksyna jest bardzo ważnym hormonem dla rozwoju fizycznego i psychicznego młodych organizmów. Z kolei trijodotyronina warunkuje prawidłowy wzrost wzdłużny i dojrzewanie organów wewnętrznych, w szczególności tkanki kostnej i mózgu. Niedobór jodu w organizmie może powodować powstania wola tarczycy i wrodzony zespół niedoboru jodu, dawnej zwany kretynizmem lub matołectwem, gdyż charakteryzuje się on niedorozwojem umysłowym ciężkiego stopnia.

Obecność izotopu jodu ^{131}I jest swoistym wskaźnikiem do wykrywania awarii reaktorów jądrowych, gdyż jest on charakterystycznym produktem rozszczepienia jądrowego i nie występuje naturalnie. Krótki czas połowicznego rozpadu tego izotopu spowodował, że znalazł on zastosowanie jako radiofarmaceutyk. W wyniku reakcji rozpadu tworzy się trwały izotop gazu szlachetnego – ksenonu:

$$^{131}_{53}\mathrm{I} \rightarrow {}^{131}_{54}\mathrm{Xe} + \beta^{-} + \bar{\nu}$$

Na podstawie tej reakcji widać jasno, że podstawienie „zwykłego" jodu jego nietrwałym izotopem po pewnym czasie może spowodować znaczne obniżenie zawartości tego pierwiastka w organizmie i w efekcie upośledzenie działania organizmu. Nie wspominając oczywiście o narażeniu wewnętrznym na promieniowanie jonizujące!

Prawdopodobnie to z tego właśnie powodu Rada Ministrów w Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 roku w sprawie planów postępowania awaryjnego w przypadku zdarzeń radiacyjnych (Dz.U. Nr 20 Poz. 169) zdecydowała się wprowadzić zapis nakazujący podanie preparatów ze stabilnym jodem ludności, która w wyniku zdarzenia radiacyjnego może otrzymać dawkę promieniowania jonizującego przekraczającą dawkę graniczną dla ogółu ludności (1 mSv/rok).

Po katastrofie czarnobylskiej, w całej Polsce w dniu 29 kwietnia 1986 roku, na wniosek specjalistów z Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie, płyn Lugola zaaplikowano bezpłatnie wielu obywatelom. W ciągu kilkudziesięciu godzin preparat ten przyjęło około 18,5 mln osób, w znacznej większości dzieci do lat siedemnastu.

Celem akcji było zapobieżenie wchłaniania radioaktywnego izotopu jodu ^{131}I z opadów promieniotwórczych powstałych w wyniku wybuchu i pożaru elektrowni, jako element profilaktyki raka tarczycy. Nadwyżki „zwykłego" jodu ^{127}I przyjęte w płynie Lugola miały za zadanie powstrzymywać wbudowywanie radioaktywnych izotopów jodu w hormony tarczycowe.

Nominalnie w takich przypadkach należy podawać tabletki jodowe, jednakże wobec ich niedostępności zdecydowano się na wykorzystanie płynu Lugola. Był to jeden z niewielu przypadków w PRL, kiedy władze polskie mimo początkowych oficjalnych zaprzeczeń strony radzieckiej podjęły działania wbrew ich zaleceniom, ale w interesie własnych obywateli.

Należy jednak pamiętać, że ówczesny system polityczny nie gwarantował tak płynnego i szybkiego przepływu informacyjnego, jak jest to obecnie. Pomijając fakt ogromnego skoku technologicznego i rozwoju Internetu, w szczególności mediów społecznościowych, władze ZSRR (pamiętajmy, że katastrofa w Czarnobylu wydarzyła się w 1986 roku, a rozpad Związku Radzieckiego na Rosję i inne państwa, w tym Ukrainę, na której terenie doszło do awarii – nastąpił dopiero, o ironio, równo pięć lat i osiem miesięcy później, 26 grudnia 1991 roku!) nie informowały na bieżąco o katastrofie, starając się wyciszyć to tragiczne w skutkach wydarzenie.

Dopiero dwa dni po katastrofie, gdy stacja monitoringu radiacyjnego Służby Pomiarów Skażeń Promieniotwórczych (SPSP) odnotowała pół miliona wyższą od normalnej aktywność izotopów promieniotwórczych a analiza skażeń promieniotwórczych dowiodła, że źródłem ich obecności w powietrzu był pożar reaktora atomowego, okazało się, że musiało właśnie wydarzyć się coś niezwykłego w położonym w odległości około 650 km w linii prostej od stacji w Mikołajkach Czarnobylu. Słuszność podejrzeń potwierdziły informacje płynące z radia BBC.

Z perspektywy czasu można snuć dywagacje, czy zaaplikowanie płynu Lugola było słuszne. Z jednej strony słowa ówczesnego członka Polskiej Komisji Rządowej, profesora nauk medycznych radiologa Zbigniewa Jaworowskiego świadczą, że działanie to było zbędne W wywiadzie udzie-

eprasa.pl 3058c33e15

lonym dla tygodnika „Polityka”, 26 kwietnia 2006 roku Jaworowski oświadczył: „[…] *Gdybym miał wówczas obecną wiedzę na temat skali skażeń i tego, co dokładnie wydarzyło się w czarnobylskiej elektrowni, nie rekomendowałbym nawet podawania ludności płynu Lugola*”.

Z drugiej jednak strony, wobec blokady informacyjnej ze strony ZSRR, nie znając prognozy nasilenia promieniowania, naukowcy brali pod uwagę najbardziej pesymistyczny wariant. Podanie ludności płynu Lugola było uzasadnione, tym bardziej, że nawet wobec braku skażenia terapia zapobiegawcza tym specyfikiem nie wywołuje negatywnych skutków ubocznych. Takie działanie profilaktyczne skutkuje wypełnieniem tarczycy stabilnym jodem, więc ochrona jodowa dotyczy jedynie tego gruczołu. Natomiast nie stanowi to bezpośredniej ochrony przed promieniowaniem, a jedynie jest czynnikiem zapobiegającym przed wystąpieniem niektórych skutków narażenia na promieniowanie jonizujące. Nie uchroni natomiast zupełnie przed wystąpieniem ogólnych następstw zdrowotnych wskutek narażenia na promieniowanie.

Monitoring radiacyjny w Polsce.

Obowiązek systematycznej oceny sytuacji radiacyjnej kraju przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki nakłada ustawa Prawo atomowe w rozdziale „Ocena sytuacji radiacyjnej kraju”. Według art. 72 realizacja tego zadania odbywa się przy pomocy wydzielonego w strukturze Państwowej Agencji Atomistyki Centrum do Spraw Zdarzeń Radiacyjnych (CEZAR). Jest to komórka odpowiadająca za realizację zadań Prezesa PAA w zakresie systematycznej oceny sytuacji radiacyjnej kraju oraz udziału w postępowaniach w przypadkach zdarzeń radiacyjnych.

Centrum pełni swą funkcję nieprzerwanie, 24 godziny, przez 7 dni w tygodniu. W celu dokonania takiej oceny, Prezes PAA zbiera, weryfikuje i analizuje informacje otrzymywane ze stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych, z placówek prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych, oraz od służb, które dysponują danymi potrzebnymi do oceny sytuacji radiacyjnej kraju, w tym służby meteorologicznej.

Stacje wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych rozmieszczone są na terenie kraju, a ich sieć jest systematycznie rozbudowywana, z uwzględnieniem potencjalnie zagrożonych obszarów. Nie są to jedyne źródła informacji; jednostki prowadzące działalność ze źródłami promieniotwórczymi obowiązane są do zgłaszania ewentualnych zdarzeń radiacyjnych występujących na terenie jednostki lub poza nią, zwłaszcza jeśli zdarzenie radiacyjne miało miejsce podczas transportu źródła promieniotwórczego.

Rolę informacyjną pełnią również krajowe punkty kontaktowe, przyjmujące powiadomienia o ewentualnych awariach jądrowych poza granicami naszego kraju, jak i o wszelkich negatywnych działaniach związanych ze źródłami promieniowania jonizującego, w szczególności o kradzieży lub utracie źródła promieniotwórczego bądź zawładnięciu i nieuprawnionym użyciu materiałów jądrowych.

Weryfikacja i analiza uzyskanych informacji skutkują utworzeniem bazy danych oraz systemów informatycznych istotnych dla oceny sytuacji radiacyjnej kraju. Uzyskane informacje oraz utworzona baza danych pozwala na analizę i dokonywanie prognoz rozwoju sytuacji radiacyjnej kraju oraz zagrożenia ludności i środowiska. Art. 80 i 81 wspomnianej ustawy obliguje Prezesa PAA do ogłaszania komunikatów dla ludności, w tym o poziomie skażeń promieniotwórczych w warunkach normalnych i w sytuacji zdarzeń radiacyjnych. Komunikaty te ogłaszane są nie rzadziej niż raz na kwartał w Dzienniku Urzędowym „Monitor Polski”.

Na koniec mała uwaga: jest oczywistym, że wszelkie akty prawne zawarte w niniejszym tekście dotyczą obszaru Rzeczypospolitej Polskiej, natomiast trudno jest odnosić się do aktów prawnych Ukrainy. Niemniej jednak należy zauważyć, że zarówno ustawa Prawo atomowe jak i dostosowane do niej akty wykonawcze są zbieżne z dyrektywami unijnymi.

Serdeczne podziękowania dla dr inż. Krzysztofa W. Fornalskiego za niezwykle konstruktywne uwagi merytoryczne podnoszące jakość niniejszego artykułu.

dr Wioletta Dynkowska
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin IHAR-PIB Radzików

LITERATURA:

[1] Ustawa Prawo Atomowe (Dz.U. 2001 Nr 3 poz.18; Dz.U. 2019 poz. 1972; Dz.U. 2020 poz. 284, 322)
[2] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 14 grudnia 2015 roku w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego (Dz.U. 2015 Poz. 2267)
[3] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 roku w sprawie planów postępowania awaryjnego w przypadku zdarzeń radiacyjnych (Dz.U. 2005 Nr 20 Poz. 169)
[4] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 27 kwietnia 2004 roku w sprawie wartości poziomów interwencyjnych dla poszczególnych rodzajów działań interwencyjnych oraz kryteriów odwołania tych działań (Dz.U. 2004 Nr 98 Poz. 987)
[5] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lipca2006 roku w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz.U. 2006 Nr 140 Poz. 994)
[6] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 roku w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz.U. 2005 Nr 20 Poz. 168)
[7] Gostkowska, B. Fizyczne podstawy ochrony radiologicznej. Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa 1992
[8] Gostkowska, B. Ochrona radiologiczna. Wielkości, jednostki, obliczenia. Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa 2018
[9] Eichstaedt, I. Księga pierwiastków. Wiedza Powszechna, Warszawa 1970
[10] Sieńczuk W (red.) Toksykologia współczesna. Wydawnictwo Lekarskie PZWL Warszawa 2005
[11] Sobkowski, J. Chemia radiacyjna i ochrona radiologiczna. Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2009
[12] Fornalski, K. W. Byłem w Czarnobylu, byłem w Fukuszimie, byłem w Hiroszimie… Postępy Techniki Jądrowej”. 58 (Z.4), s. 22-26, 2015
[13] Walanus, A. Tajemnice „14C”: po co nam datowanie radiowęglowe? Archeologia Żywa 1 (47) 2010
[14] Strona internetowa Państwowej Agencji Atomistyki, https://www.paa.gov.pl
[15] Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers. A report of a Task Group of Committee 2 of the International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP. 1994;24(4):1-83.
[16] http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C81836%2Cpozar-w-czarnobylu-widoczny-na-zdjeciach-europejskich-satelitow.html (dostęp 29 04 2020)
[17] https://www.tvp.info/47540444/od-tygodnia-trwa-gaszenie-pozaru-w-strefie-czarnobyla-setki-strazakow-sto-pojazdow-samoloty-wideo (dostęp 29 04 2020)
[18] https://www.tvp.info/47552045/pozar-wokol-elektrowni-w-czarnobylu-zbliza-sie-do-skladu-odpadow-radioaktywnych (dostęp dnia 29 04 2020)
[19] https://www.tvp.info/47558668/pozar-czarnobyla-spadl-ublagany-deszcz-ale-ogien-strawil-skazone-tereny (dostęp dnia 29 04 2020)
[20] https://polskieradio24.pl/5/1223/Artykul/2491415,Trwa-walka-z-pozarem-w-poblizu-elektrowni-w-Czarnobylu-Ogien-gasi-kilkaset-osob (dostęp 29 04 2020)
[21] https://tvn24.pl/swiat/czarnobyl-pozar-lasow-w-strefie-czarnobylskiej-wokol-elektrowni-atomowej-4566471 (dostęp dnia 29 04 2020)
[22] https://pl.wikipedia.org/wiki/Cez (dostęp 29 04 2020)
[23] https://wiadomosci.dziennik.pl/swiat/artykuly/6482373,czarnobyl-pozar-prypec.html (dostęp 29 04 2020)
[24] https://wiadomosci.dziennik.pl/swiat/artykuly/555733,katastrofy-elektrowni-atomowych-czarnobyl-fukushima.html (dostęp 30 04 2020)
[25] https://www.tvp.info/47561824/pomogl-deszcz-pozar-w-poblizu-czarnobylskiej-strefy-zamknietej-ugaszony-wideo (dostęp 29 04 2020)
[26] https://www.rmf24.pl/fakty/swiat/news-w-czarnobylu-oddano-do-eksploatacji-nowa-oslone-na-zniszczon,nId,3088367 (dostęp 3 05 2020)

eprasa.pl 3058c33e15

Zasada superpozycji pól elektrycznych
i jej zastosowanie do rozwiązywania zadań

Czesław **Surowiec**

1. Zasada superpozycji pól elektrycznych.

Rozpatrzmy pole wytwarzane przez układ spoczywających ładunków elektrycznych q_1, q_2, ... q_n. Z zasady niezależności sił wynika, że wektor wypadkowej siły $\vec{F_w}$ z jaką działa badane pole na próbny ładunek q_0 równa się sumie wektorowej sił $\vec{F_i}$, przyłożonych do niego ze strony każdego z ładunków q_i

$$\vec{F_w} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F_i} \qquad ①$$

Podstawowe zadanie elektrostatyki polega na tym, żeby w oparciu o dany rozkład przestrzenny i wielkość źródeł pola, którymi są ładunki elektryczne każdorazowo określić wartość i kierunek wektora natężenia pola elektrycznego $\vec{E_w}$ w dowolnym punkcie pola. Wyrażamy $\vec{F_w}$ przez $\vec{E_w}$ korzystając z zależności

$$\vec{F_w} = q_0 \vec{E_w} \quad \text{oraz} \quad \vec{F_i} = q_0 \vec{E_i}$$

Podstawiając do ① otrzymujemy:

$$q_0 \vec{E_w} = \sum_{i=1}^{n} q_i \vec{E_i} = q_0 \sum_{i=1}^{n} \vec{E_i}$$

stąd $$\vec{E_w} = \sum_{i=1}^{n} \vec{E_i} \qquad ②,$$

co pozwala nam sformułować następująco otrzymaną zależność.

Natężenie pola elektrycznego układu ładunków punktowych jest równe sumie wektorowej natężeń pól wytwarzanych przez każdy z nich.

Możemy to również wyrazić inaczej: pole wypadkowe możemy wyznaczyć przez nałożenie (superpozycję) pól poszczególnych ładunków. Uzyskany wynik nosi nazwę zasady niezależności działania pól elektrycznych lub zasady superpozycji pól elektrycznych.

Jeśli oznaczymy przez $\vec{r_i}$ wektor poprowadzony od ładunku punktowego q_i do rozpatrywanego punktu pola, wówczas możemy zapisać

$$\vec{E_i} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_i}{r_i^3} r_i$$

a podstawiając do ② otrzymamy

$$\vec{E_w} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i}{r_i^3} \vec{r_i} \qquad ③$$

Zasada superpozycji stosuje się również do prądów elektrycznych. Zainteresowanym tym zagadnieniem polecam moją publikację w nr. 1 z roku 1973 w „Fizyce w Szkole" pt. Zastosowanie zasady superpozycji prądów elektrycznych do rozwiązywania zadań.

2. Zastosowanie zasady superpozycji pól elektrycznych do rozwiązywania zadań.

Wykorzystując zasadę superpozycji pól elektrycznych do rozwiązywania zadań pamiętajmy o tym, że:

a) Każde naładowane ciało można podzielić na tak małe części, że każda z nich będzie odpowiadać ładunkowi punktowemu, dlatego wzór ③ jest przydatny do obliczania dowolnych pól elektrycznych.

b) Obliczanie pola elektrycznego wytworzonego przez kilka ładunków nie stwarza większych trudności. Trudności pojawiają się przy obliczaniu pól wytwarzanych przez naładowane płaszczyzny lub w przypadku pól elektrycznych wewnątrz przewodników, dlatego ograniczyłem się do tych zagadnień.

c) Natężenie pola elektrycznego wytwarzanego przez naładowaną płaszczyznę wyraża się wzorem $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_r\varepsilon_0}$ ④ gdzie σ jest gęstością powierzchniową ładunku elektrycznego (wartością ładunku przypadającego na jednostkę powierzchni). Ponieważ zazwyczaj zadania dotyczą powietrza, dla którego $\varepsilon_r = 1$ wzór ma postać $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ ⑤ Pole jakie wytwarza równomiernie naładowana płaszczyzna jest jednorodne, a linie pola elektrycznego są prostopadłe do powierzchni płaszczyzny. Zależność ⑤ stosuje się do naładowanej równomiernie płaszczyzny nieskończenie długiej.

d) Dla płaszczyzny o skończonych wymiarach zależność ⑤ stosuje sią tylko dla odległości małych w porównaniu z rozmiarami płaszczyzny, a dla odległości porównywalnych z rozmiarami płaszczyzny pole jest niejednorodne.

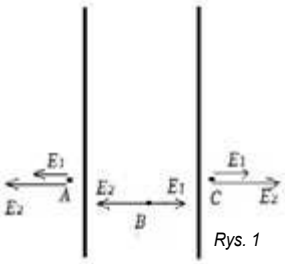
e) Jeśli rozpatrujemy pole elektryczne w dielektrykach wówczas jest on superpozycją wszystkich ładunków w tym i powstałych w wyniku polaryzacji dielektryka związanych ładunków.

f) Zasada superpozycji stosuje się tylko do liniowych układów fizycznych, czyli do układów opisywanych równaniami liniowymi.

3. Przykłady zastosowania zasady superpozycji pól elektrycznych do rozwiązywania zadań.

Przykład 1.

Oblicz natężenie pola elektrycznego wytworzonego przez dwie równoległe naładowane płaszczyzny. Gęstość ładunku na jednej płaszczyźnie wynosi σ_1, a na drugiej σ_2



Rys. 1

eprasa.pl 3058c33e15

Rozwiązanie:

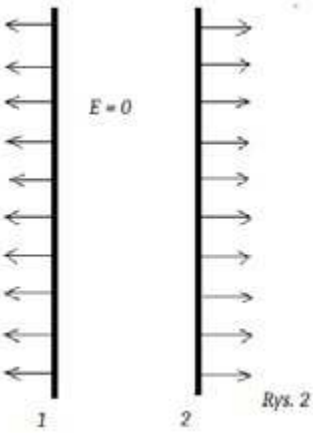
Pole elektryczne w całej przestrzeni jest superpozycją pól wytwarzanych przez każdą płaszczyznę oddzielnie. Dlatego w dowolnym punkcie na lewo od płaszczyzny 1, np. w punkcie A natężenie pola $E_A = E_1 + E_2$ i linie pola są zwrócone w lewo (jeśli obydwie płaszczyzny są naładowane dodatnio). Między płaszczyznami (np. w punkcie B), $E_B = E_1 - E_2$. Zwrot pola zależy od wielkości ładunków σ_1, σ_2. Jeśli $\sigma_2 > \sigma_1$, $E_2 > E_1$ i sumaryczne pole 1.

$$E_B = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{2\varepsilon_o} \quad \text{jest zwrócone w lewo}$$

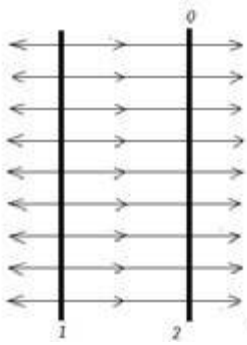
Na prawo od płaszczyzny 2 natężenie pola jest również równe sumie $E_C = E_1 + E_2$, ponieważ linie pola zwrócone są w prawo, jak w punkcie A.

Rozpatrzmy kilka najczęściej spotykanych przypadków:

1. Gęstość powierzchniowa ładunków na obydwu płaszczyznach jest jednakowa: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ W tym przypadku $E_1 = E_2$ i sumaryczne pole między płaszczyznami wynosi 0 a po prawej i lewej stronie płaszczyzny wynosi $E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ (rys. 2).
2. Gęstości powierzchniowe ładunków na płaszczyznach mają jednakową wartość, ale przeciwne znaki $\sigma_1 = -\sigma_2 = \sigma$. Taki układ nazywamy kondensatorem płaskim. W tym przypadku pole elektryczne jest skupione między okładkami kondensatora. Natężenie pola elektrycznego między okładkami kondensatora $E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ a na zewnątrz kondensatora wynosi 0 (dla rzeczywistych kondensatorów jest to spełnione w przybliżeniu).
3. Gęstość powierzchniowa drugiej płaszczyzny wynosi 0, $\sigma_2 = 0$. Pole elektryczne wytwarzają tylko ładunki elektryczne na płaszczyźnie 1. Pole elektryczne w tym przypadku przedstawia rys. 3. Należy pamiętać, że jest to słuszne tylko w przypadku, jeśli płaszczyzny są równoległe i jeśli nienaładowana płaszczyzna pokrywa się z jedną z powierzchni ekwipotencjalnych.



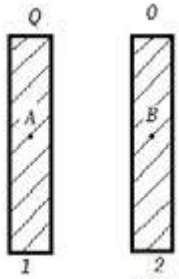
Rys. 2



Rys.3

Przykład 2.

Dwie płytki są równoległe do siebie (rys. 4). Płytka 1 posiada ładunek elektryczny Q, płytka 2 nie jest naładowana. Powierzchnie płytek są jednakowe i wynoszą S. Ile wynosi gęstość powierzchniowa ładunków na obydwu powierzchniach płytek?



Rys. 4

Rozwiązanie:

Oznaczamy przez

σ_{1l} – gęstość lewej strony płytki 1

σ_{1p} – gęstość prawej strony płytki 1

σ_{2l} – gęstość lewej strony płytki 2

σ_{2p} – gęstość prawej strony płytki 2

Ładunki zgromadzone na płytkach 1 i 2 możemy zapisać następująco

$$(\sigma_{1l} + \sigma_{1p})\, S = Q \qquad (\sigma_{2l} + \sigma_{2p})\, S = Q \qquad ①$$

Zgodnie z zasadą superpozycji pole w dowolnym punkcie, (również i na zewnątrz płytki) otrzymujemy sumując pola wytworzone przez cztery naładowane płaszczyzny z powierzchniowymi gęstościami ładunków σ_{1p}, σ_{1l}, σ_{2l}, σ_{2p}

Natężenie pola elektrycznego w punkcie A, E_A wyniesie

$$E_A = \frac{\sigma_{1l}}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_{1p}}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_{2l}}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_{2p}}{2\varepsilon_0} \qquad ②$$

a w puncie B wyniesie E_B

$$E_B = \frac{\sigma_{1l}}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma_{1p}}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma_{2l}}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma_{2p}}{2\varepsilon_0} \qquad ③$$

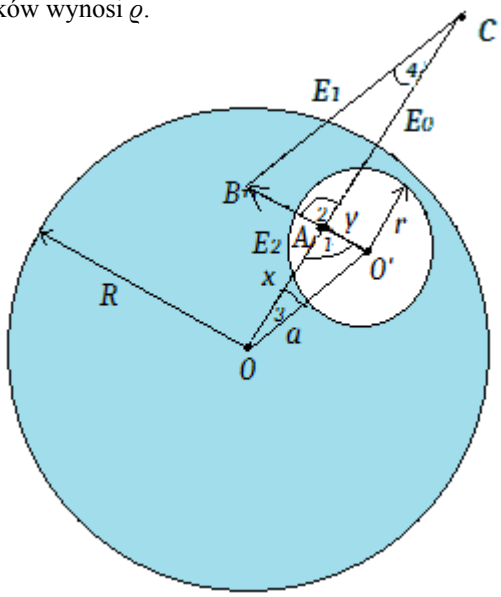
Natężenie pola elektrycznego wewnątrz przewodnika wynosi 0, dlatego $E_A = E_B = 0$ ④ Rozwiązując układ równań ①, ②, ③, ④ otrzymujemy

$$\sigma_{1l} = \sigma_{1p} = \frac{Q}{2S} \qquad \sigma_{21l} = \sigma_{2p} = -\frac{Q}{2S}$$

W ten sposób nienaładowana płytka 2 tworzy z 1 jakby kondensator płaski. Całe pole elektryczne wytworzone przez wyindukowane ładunki o różnych znakach σ_{1l} i σ_{2p} jest zawarte wewnątrz płaszczyzny 2. Wszędzie poza płaszczyzną drugą pole jest takie, jak bez płytki, czyli wytwarzane przez naładowaną płaszczyznę 1.

Przykład 3.

W kuli o promieniu R naładowanej jednorodnie znajduje się wydrążenie o promieniu r w odległości a od środka kuli (rys. 5). Określ natężenie pola elektrycznego w różnych punktach wydrążenia, jeśli objętościowa gęstość ładunków wynosi ϱ.



Rys. 5

eprasa.pl 3058c33e15

Rozwiązanie:

Przyjmijmy, że początkowo kula jest naładowana równomiernie w całej objętości, a następnie część ładunku znajdująca się wewnątrz wydrążenia zostaje usunięta. Zgodnie z zasadą superpozycji natężenie pola w dowolnym punkcie jednorodnie naładowanej kuli jest równa sumie wektorowej natężenia pola wytwarzanego przez kulę z wydrążeniem i natężenia pola ładunku elektrycznego usuniętego z wydrążenia. Rozpatrzmy dowolny punkt A wewnątrz wydrążenia. Oznaczmy jego odległość od środka kuli O_1 przez x a od środka wydrążenia O_2 przez y. W oparciu o prawo Gaussa można udowodnić, że natężenie pola elektrycznego E_1 przez jednorodnie naładowaną kulę o promieniu R w odległości $x < R$, jest skierowane wzdłuż promienia i wyraża się wzorem

$$E_0 = \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R^3}\right)x \qquad ①$$

gdzie $Q = \varrho V = \frac{4}{3}\pi R^3 \varrho$

Podstawiając do ① otrzymujemy

$$E_0 = \frac{1}{3\varepsilon_0}\pi\varrho x \qquad ②$$

Analogicznie natężenie pola elektrycznego wytworzonego przez ładunek, który wcześniej znajdował się w wydrążeniu jest skierowana wzdłuż promienia r i równe co do wielkości

$$E_0 = \frac{1}{3\varepsilon_0}\pi\,\varrho\, y$$

Natężenie pola wypadkowego E_1 wyróżnia się wzorem

$$\vec{E_1} = \vec{E_0} - \vec{E_2}$$

Kąty 1 i 2 są równe jako kąty naprzemianległe. Trójkąty $O_1\,O_2\,A$ i ABC są podobne z czego wynika, że:

$$\frac{E_1}{a} = \frac{E_0}{x}, \quad \text{stąd otrzymujemy}$$

$$E_1 = E_0 \cdot \frac{x}{a} = \frac{1}{3\varepsilon_0}\pi\cdot\varrho\cdot x\cdot\frac{a}{x} = \frac{1}{3}\pi\cdot a\cdot\varrho \qquad ③$$

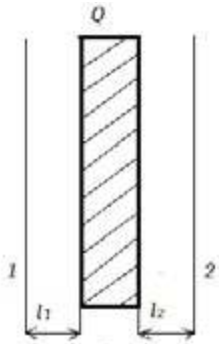
Z podobieństwa trójkątów wynika, że kąty 3 i 4 są równe, co oznacza, że wektor $\vec{E_1}$ jest równoległy do odcinka O_1O_2. Wartość liczbowa wektora $\vec{E_1}$ nie zależy od tego, w jakim miejscu wydrążenia znajduje sią punkt A, co oznacza, że pole elektryczne wewnątrz wydrążenia jest jednorodne.

Zadania

1. W płaskim izolowanym kondensatorze jedna z okładek ma ładunek Q_1 a druga Q_2. Wewnątrz kondensatora równolegle do okładek umieszczono nienaładowaną metalową płytkę. Jaki ładunek będzie indukowany na lewej i prawej powierzchni płytki?

Odp.: $q_l - q_p = \frac{Q_1}{2} - \frac{Q_2}{2}$

2. W przestrzeni między płytkami nienaładowanego kondensatora płaskiego wprowadzono metalową płytkę posiadającą ładunek Q tak, że między płytką i okładkami kondensatora powstały luki l_1 i l_2 (rys. 6). Powierzchnie wszystkich płytek są jednakowe i wynoszą S. Określ różnicę potencjałów między okładkami kondensatora.



Rys. 6

Odp.: $V_{1,2} = \frac{Q}{2\varepsilon_0 S}(l_1 - l_2)$

3. Cztery jednakowe płytki metalowe umieszczono w powietrzu w jednakowych odległościach od siebie d. Powierzchnia każdej płytki wynosi S. Skrajne płytki są połączone między sobą przewodnikiem, a środkowe są połączone z ogniwem o napięciu U. Oblicz ładunek środkowych płytek, przyjmując, że odległość d między płytkami jest mała w porównaniu z rozmiarami płytek.

Odp.: $q_2 = -q_3 = \frac{3\varepsilon_0 S}{2d}\cdot U$

4. Wykaż, wykorzystując prawo Coulomba i zasadę superpozycji, że natężenie pola elektrycznego wewnątrz naładowanej kuli metalowej jest równe 0.

5. W środku metalowej sfery umieszczono ładunek. Określ pole elektryczne wewnątrz i na zewnątrz sfery, w przypadku, jeśli sfera: a) nie jest naładowana, b) jest uziemiona. Czy wynik zależy od kształtu otoczki ładunku i miejsca jego umieszczenia?

Odp.

a) Pole elektryczne na zewnątrz i wewnątrz sfery jest polem wytworzonym przez ładunek Q umieszczony w jej środku.

b) Uziemiona sfera stanowi ekran elektrostatyczny.

6. Wykaż, że pole elektryczne wewnątrz naładowanej równomiernie objętościowo kuli zmienia się wprost proporcjonalnie do odległości od jej środka.

Odp.: Dla $r \le R$ $E = \frac{\varrho}{3\varepsilon_0}\cdot r$, a dla $r \ge R$, $E = \frac{\varrho}{3\varepsilon_0}\cdot\frac{R^3}{r^2}$

7. Przewodząca kula o promieniu R jest okrążona sferyczną koncentryczną przewodzącą osłonką. Ładunek kuli Q a sfera nie jest naładowana. Wewnętrzny promień osłonki R_1, a zewnętrznej R_2. Określ natężenie pola elektrycznego osłonki i kuli (względem nieskończoności).

Odp.: $E = 0$ dla $r < R$ i $R_1 < r < R_2$

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \quad \text{dla } R < r < R_1 \text{ i } r > R_2$$

$$V_{\text{osł}} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R_2} \qquad V_{\text{kuli}} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R_2}\cdot\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}\right)$$

Czesław Surowiec
Dębica

eprasa.pl 3058c33e15

TIK na lekcjach fizyki

Arleta **Biegańska**

Termin **TIK**, oznaczający technologie informacyjno-komunikacyjne został wprowadzony w §2 ust. 2 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 19 lipca 2017 r. w sprawie szczegółowych warunków, form i trybu realizacji „Rządowego programu rozwijania szkolnej infrastruktury oraz kompetencji uczniów i nauczycieli w zakresie technologii informacyjno-komunikacyjnych – Aktywna tablica” (Dz. U. poz. 1401). Program „Aktywna tablica” został ustanowiony uchwałą nr 108/2017 Rady Ministrów z dnia 19 lipca 2017 r.

Rozporządzenie to określa m.in. zakres i formę finansowego wspierania organów prowadzących szkoły w obszarze rozwijania szkolnej infrastruktury oraz kompetencji uczniów i nauczycieli w zakresie stosowania technologii informacyjno-komunikacyjnych realizowanego na podstawie.

Na realizację programu „Aktywna Tablica” w latach 2017–2019 przewidziano kwotę 224 mln zł z budżetu państwa. Program finansowany był w 80% ze środków budżetu państwa i w 20% z wkładu własnego organów prowadzących szkołę. Szkoły mogły otrzymać wsparcie w maksymalnej wysokości 14 tys. zł, co przy wsparciu organu prowadzącego dawało kwotę 17,5 tys. złotych. Za te środki można było zakupić m.in. tablice interaktywne lub interaktywne monitory dotykowe o przekątnej ekranu co najmniej 55 cali. Udział w programie zobowiązywał do zapewnienie szkole dostępu do Internetu na poziomie co najmniej 30 Mb/s. Wdrażaniu programu towarzyszyły szkolenia dla nauczycieli.

Program ten niewątpliwie umożliwił szkołom rozwój infrastruktury, dostęp do zasobów Internetu w czasie codziennej pracy oraz wpłynął na znaczący postęp w zakresie rozwoju kompetencji nauczycieli i uczniów.

W sytuacji nauczania zdalnego możliwości jakie stwarzają nowoczesne technologie są nie do przecenienia. Umożliwiają bezpośredni kontakt z uczniami w trakcie lekcje audio oraz ocenianie zdalnie przesyłanych prac uczniowskich. Pozwalają na efektywne wykorzystanie czasu zamknięcia szkół. Na pewno w przyszłości będziemy wymieniać się doświadczeniami ze zdalnego nauczania. Dobrze się stało, że programy „Aktyna Tablica”, „Cyfrowa Szkoła” i inne dały szkołom narzędzia wspierające zdalne nauczanie. Z drugiej strony trzeba przyznać nie byliśmy do zdalnej pracy organizacyjnie i merytorycznie przygotowani chociażby pod względem prawa oświatowego czy kompetencji nauczycieli.

TIK na fizyce

Mam to szczęście, że w czasie lekcji mogę korzystać z bardzo wygodnego narzędzia jakim jest interaktywny monitor dotykowy. Monitory te wypierają ze szkół tablice interaktywne. Są zdecydowanie łatwiejsze w obsłudze niż tablice, do pracy nie potrzebują żadnych zewnętrznych urządzeń. Na dużym ekranie mamy możliwość prowadzenia prezentacji bezpośrednio z pendriva, bez użycia komputera. Możemy wygodnie korzystać z zasobów Internetu. Możemy także tworzyć, edytować oraz zapisywać pliki na monitorze a następnie odtwarzać je na komputerze.

Bardzo często wykorzystuję na lekcji możliwości jakie daje monitor interaktywny. Korzystam na przykład z e-podręczników, Wikipedii, prezentuję filmy ilustrujące wybrane zjawiska fizyczne, czy doświadczenia, których nie możemy zrealizować w szkolnej pracowni. Uczniowie prezentują własne opracowania na wybrany temat, zdjęcia i filmy z doświadczeń realizowanych w domu.

eprasa.pl 3058c33e15

Do utrwalania i sprawdzania wiedzy korzystam z aplikacji umożliwiających tworzenie testów, interaktywnych gier, ćwiczeń. Aplikacje te znajdziemy m.in. na stronach https://learningapps.org/, https://quizizz.com/, i innych. Możemy wykorzystać gotowe testy, gry lub stworzyć swoje własne dostosowane do potrzeb naszych uczniów. Uczniowie wykorzystując wymienione wyżej aplikacje mogą, rozwiązując quizy, gry kształcić umiejętność samooceny postępów w nauce.

Technologie informatyczno-komunikacyjne dają nowe możliwości w pracy z uczniami o specjalnych potrzebach edukacyjnych. Pracując z uczniem, który nie mówił wykorzystywaliśmy specjalne programy do komunikacji, min. Mówik. Inny uczeń z dużym niedosłuchem, który potrafił mówić, ale w nowych lub trudnych sytuacjach nie odzywał się wcale lub mówił tak cicho, że nie można było go usłyszeć. Chętnie natomiast rozwiązywał zadania, testy z użyciem komputera. Wykazywał duże zainteresowanie filmami, różnymi animacjami. Dostępnych jest wiele specjalistycznych programów, co daje nowe możliwości kształcenia uczniów niepełnosprawnych.

Nowoczesne technologie dostarczają wiele ciekawych rozwiązań w zakresie rozwijania zainteresowań uczniów czy poszerzania wiedzy. Pozwala na kształcenie ważnych umiejętności z zakresu uczenia się jak chociażby poszukiwania i selekcjonowania informacji oraz sztuki prezentacji.

TIK a doświadczenia

Przywołane we wstępie rozporządzenie zobowiązuje organy prowadzące szkoły do zapewnienia, aby szkoły, które uzyskały wsparcie finansowe, podjęły stosowne działania dotyczące wdrożenia stosowania TIK w procesie nauczania. W §6 pkt 4 zobowiązano m.in. do „wykorzystywania TIK na zajęciach edukacyjnych prowadzonych w każdym oddziale szkoły (...) w liczbie co najmniej 5 godzin zajęć edukacyjnych średnio w każdym tygodniu nauki w każdym roku szkolnym realizacji Programu począwszy od dnia zainstalowania i uruchomienia pomocy dydaktycznych”

Zapis ten zobowiązuje dyrektorów do monitorowania liczby zrealizowanych zajęć edukacyjnych z zastosowaniem TIK. W szkołach zobowiązuje się nauczycieli do odnotowywania stosowania TIK w zapisach tematów zajęć w dziennikach lub do wypełniania specjalnych zestawień itp. Niektórzy dyrektorzy wyznaczyli „normy” liczby lekcji z zastosowaniem TIK. Na przykład jedna lekcja fizyki w przedziale dwóch tygodni powinna być zrealizowana z zastosowaniem narzędzi informatycznych.

Pięć godzin tygodniowo to dużo i mało. W ciągu dnia przynajmniej jedna lekcja powinna przebiegać z zastosowaniem TIK. Nie jest to zadanie trudne do zrealizowania, gdy w każdej izbie lekcyjnej jest tablica lub monitor interaktywny lub gdy uczniowie mają indywidualne tablety. Taka sytuacja jest w szkołach, które uczestniczyły w programie „Cyfrowa szkoła” lub innych podobnych np. Cyfrowa Wielkopolska. Są jednak szkoły, w których nauczyciele mają trudności w dostępie do sali z monitorem czy aktywną tablicą. Jak by nie patrzeć, stosowanie technologii informatycznych jest pewnym przymusem.

Obawiam się jednak sytuacji, że nowoczesne technologie wyprą z codziennej pracy szkoły doświadczenia, ćwiczenia uczniowskie realizowane w rzeczywistości. Byłoby to wbrew oczekiwaniom uczniów. Uczniowie klas starszych szkoły podstawowej, ale i młodsze dzieci oraz dorośli uwielbiają eksperymentowanie. Świadczą o tym propozycje doświadczeń nawet dla przedszkolaków jakie znajdziemy chociażby w Internecie. W sklepach znajduje się wiele „małych laboratoriów” do eksperymentowania w domu. Popularność Centrum Kopernika i innych podobnych ośrodków dowodzą potrzeby samodzielnego eksperymentowania w świecie rzeczywistym.

Korzystając z monitora dotykowego lekcji z elektrostatyki pokazałam fragmenty filmu ilustrującego doświadczenia z zakresu elektrostatyki. Prezentowany fragment dotyczył elektryzowania przez indukcję[1]. Film został przygotowany na zamówienie wydawnictwa ZamKor przez Pracownię Dydaktyki Fizyki z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Film poprawny pod względem merytorycznym i metodycznym jednocześnie bardzo ciekawy. Jednym słowem bardzo dobry i wart polecenia.

Na następnej lekcji w ramach przypomnienia wiadomości rozmawiamy nt. filmu. Wielu uczniów nie potrafi odtworzyć przebiegu doświadczenia, odpowiadają pojedynczymi słowami. Rozdaję uczniom aluminiowe naczynia od kalorymetrów, plastykowe rurki (mogą być plastykowe menzurki), płyty od elektroforów. Uczniowie w parach przeprowadzają doświadczenie. Ileż radości wzbudza w nich fakt, że po zbliżeniu naelektryzowanej rurki cylinder aluminiowy się poruszył. Wielokrotnie powtarzają doświadczenie, sprawdzają przebieg doświadczenia u kolegów. To samo widzieli na filmie. Teraz samodzielnie eksperymentują, rozbudziły się ich emocje, przeżywają radość z faktu, że doświadczenie się udało. Doświadczenie to na dłużej zapisze się w ich pamięci niż obejrzany film.

Na innej lekcji musieliśmy wyjść poza pracownię (zmiany organizacyjne z powodu zastępstw). Temat lekcji „Przewodnik z prądem jako źródło pola magnetycznego”. Wzięłam z pracowni tylko kompas, płaską baterię i kawałek przewodu. W prosty sposób pokazuję doświadczenie Oersteda. Nad kompasem rozciągamy przewód i jego końce podłączamy do baterii. Igła się odchyla. Fakt ten wywołał zdziwienie i zachwyt uczniów. Dominik wykrzyknął „Pani popsuła Ziemię, przestawiła bieguny Ziemi” Jest wiele śmiechu. Uczniowie sami eksperymentują, sprawdzają, czy uda im się uzyskać taki sam efekt. Dalej prowadzę lekcję z wykorzystaniem ilustracji w podręczniku.

W czasie zdalnego nauczania prowadząc lekcję audio odwołuję się do doświadczenia Oersteda. Uczniowie kolejno się zgłaszają mówiąc: „nie pamiętam doświadczenia”, „a które to było?”, itp. Kiedy przypomniałam, że

[1] https://www.youtube.com/watch?v=P7WhUwFeNq

eprasa.pl 3058c33e15

chodzi o doświadczenie, podczas którego Dominik posądził mnie o popsucie Ziemi uczniowie zgłaszając się do rozmowy prawidłowo opisują doświadczenie. Po raz kolejny okazuje się, że zapamiętywaniu sprzyjają emocje, fakt samodzielnego wykonywania czynności. Efektywna nauka możliwa jest wtedy, gdy mózg jest aktywny i wykonuje pracę. Przyswajamy 20% tego co słyszymy, 30% tego co widzimy i aż 90 % tego co robimy[2].

Odwołam się do artykułu „Po pierwsze doświadczenie", w którym napisałam „Chyba to nie jest w porządku, jeśli zamiast przeprowadzać doświadczenia nauczyciel wyświetla film czy prezentuje animacje komputerowe. Odczarujmy trochę te nowinki techniczne a pieniądze zamiast wydawać na szybko starzejące się technologicznie komputery i oprogramowanie przeznaczmy na sprzęt laboratoryjny umożliwiający przeprowadzenie doświadczeń z uczniami."[3] Słowa te nic nie straciły na aktualności.

Doświadczenia przeprowadzane w rzeczywistości sprzyjają skutecznemu uczeniu się fizyki, zapamiętywaniu, są źródłem radości. Gdy doświadczenia się udają, nakłaniają do poszukiwań nowych rozwiązań. Nawet w okresie zdalnego nauczania skupiłam się na doświadczeniach uczniowskich. W wysyłanych instrukcjach wskazywałam możliwości wykonania doświadczeń wykorzystując przedmioty codziennego użytku. Kuchnia jest bardzo dobrą pracownią fizyczną, co udowodnił swego czasu Wiktor Niedzicki przeprowadzając doświadczenia z synami w cyklu audycji telewizyjnych pt. „Kuchnia".

Co na to neurodydaktyka?

Neurodydaktyka ukierunkowana jest na wykorzystanie wiedzy o pracy mózgu do zmiany metod nauczania, tj. zwiększenia skuteczności kształcenia i uczenia się.

Badania mózgu i jego wpływu na proces uczenia się wykazały, że stawianie przez uczniów hipotez i samodzielne ich weryfikowanie, wykorzystywanie kilku zmysłów naraz, odniesienie zdobytej wiedzy do świata realnego sprzyja wytwarzaniu przez mózg dopaminy, zwiększeniu siły połączeń neuronalnych oraz aktywizowaniu struktur korowych. Gdy informacje zostają uznane za ciekawe i nowe są magazynowane przez hipokamp i powstaje ich neuronalna reprezentacja. Wiedza przetwarzana jest w dużo efektywniejszy sposób.

Wszystkie te warunki spełnione są przy samodzielnym eksperymentowaniu.

Nasi uczniowie to pokolenie wychowane na obrazkach. Najmłodsi siedzą z tabletami i oglądają bajki. Starsi namiętnie oglądają filmy, w tym fantastyczne. Czy może ich, w szczególny sposób, zainteresować film wyświetlany na lekcji. Film dydaktyczny jest kolejnym oglądanych przez nich „obrazkiem". Filmy dydaktyczne, z punktu widzenia ucznia, są zrealizowane w mniej atrakcyjny sposób. Nie ma w nich jakiś szczególnych efektów.

Samodzielnie wykonywane doświadczenia to coś nowego. W okresie zdalnego nauczania, tuż przed Wielkanocą zadałam uczniom serię doświadczeń z jajkiem. Uczniowie przesyłali sprawozdania z tych doświadczeń w postaci zdjęć i filmów. Kacper przysłał film, w którym nagrał przebieg doświadczenia z udziałem rodziny. Komentując powiedział „cała rodzina się wkręciła". To doświadczenie na pewno długo pozostanie w pamięci ucznia, ale i jego rodziny.

W opisanej sytuacji TIK sprzyja w nawiązaniu zdalnego kontaktu z nauczycielem, utrwaleniu przebiegu doświadczenia, pochwaleniu się doświadczeniem w sieci. Uczeń rozwija inne umiejętności. na przykład fotografowania, filmowania.

Narzędzia informatyczne pomagają uczniom w przygotowywaniu referatów i wystąpień, w tym na temat zagadnień, którymi się szczególnie interesują. Dawid z VIII klasy na lekcji o przyrządach optycznych pochwalił się serią zdjęć obiektów oglądanych swoim mikroskopem.

Wydaje mi się, że obecnie nadszedł czas, w którym role się odwracają. Kiedyś nauczyciel pokazywała doświadczenia, ilustracje, filmy. Nadszedł czas, że to uczeń będzie prezentował swoje filmiki, zdjęcia. Nauczyciel będzie widzem. Rolą nauczyciela będzie zachęcenie ucznia do podejmowania aktywności ukierunkowanej na zdobywanie wiedzy i doświadczeń. Nauczyciel będzie ucznia wspomagał, korygował ewentualne błędy i oceniał. Przy takim podejściu TIK może bardzo wspomagać nauczanie i uczenie się.

Podsumowując TIK to nowe narzędzie pracy z uczniem, które stwarza nowe możliwości. Pokazy doświadczeń a w szczególności doświadczenia uczniowskie to narzędzia sprawdzone, z których nie wolno rezygnować, co potwierdza neurodydaktyka.

[2] D. Gordon, J. Vos, Rewolucja w uczeniu, Poznań 2000, s. 100.
[3] Arleta Biegańska „Po pierwsze doświadczenie", Fizyka w Szkole nr 2/2012 strona 61-6.

eprasa.pl 3058c33e15

O analogiach w fizyce

(miniatura dydaktyczna)

Waldemar **Reńda**

Współczesna dydaktyka nie narzuca ściśle określonej **metody nauczania**. Jej dobór zależy od poziomu nauczania, przekazywanych treści, typu lekcji,[1] dostępnych środków dydaktycznych oraz twórczej inwencji nauczyciela.

Nazwa *metoda* pochodzi z języka greckiego, w którym słowo *mèthodos* oznacza *drogę*, czyli sposób postępowania dla osiągnięcia określonego celu. W fizyce jest to ściśle określony sposób badania rzeczy i zjawisk, będący zwykle zestawem reguł postępowania w dochodzeniu do prawdy o przyrodniczej rzeczywistości.

Zwykle wymienia się trzy podstawowe metody badawcze: metoda **indukcyjna**, **dedukcyjna** i **rozumowanie przez analogię**. I właśnie tej ostatniej metodzie poświęciłem tę pracę.

Na wstępie pragnę zaznaczyć, że wspomniane metody należą zarówno do metod badawczych, jak i do metod dydaktycznych. Przy czym o ile metody stosowane przez uczonych prowadzą do odkrywania nowych faktów naukowych, to w dydaktyce służą do skutecznego przekazywania uczniom wiedzy określonej w programie nauczania. W swojej pracy ograniczę się jedynie do metody zwanej **rozumowaniem przez analogię**.

Greckie słowo *analogiã* tłumaczy się jako *właściwy stosunek* (*relacja*) pomiędzy rzeczami, zjawiskami itp. Przy czym na wstępie pragnę zastrzec, że nie będę używał słowa „analogiczny" w znaczeniu „tożsamy" (taki sam), gdyż słowo *analogia* oznacza równocześnie podobieństwo jak i niepodobieństwo.

W historii fizyki rozumowanie przez analogię było wielokrotnie stosowane i przynosiło ciekawe rezultaty. Niech przykładem będzie chociażby planetarny model atomu wodoru Nielsa Bohra. Model ten jest podobny do modelu układu planetarnego z zachowaniem stosownych proporcji. Pamiętamy tu oczywiście o istniejących różnicach, nie tylko odnośnie proporcji, ale i w funkcjonowaniu. O ile bowiem wydaje się, że planety mogą krążyć po orbitach o niemal dowolnych promieniach,[2] to elektron w atomie wodoru może znajdować się jedynie na dość dobrze określonej orbicie.[3] A zatem między tymi modelami istnieje zarówno podobieństwo jak i znacząca różnica, o czym zawsze należy pamiętać, korzystając z różnego rodzaju analogii.

Podobnie było w przypadku modelu powłokowego jądra atomowego zaproponowanego przez Age Bohra.[4] Warto zauważyć, że w obu przypadkach analogia dotyczyła jedynie niektórych cech danego obiektu.

To, że nie zawsze analogia może być użyta poprawnie, niech świadczy próba zastosowania prawa analogicznego do prawa Coulomba w opisie oddziaływania biegunów magnetycznych. Okazało się, że o ile bowiem prawo to dość dobrze opisywało oddziaływanie biegunów magnetycznych pod warunkiem, że nie występowało zakłócenie oddziaływania pozostałych dwóch biegunów badanych magnesów, to jednak wymagało założenia o punktowości owych biegunów oraz istnieniu tak zwanej „masy magnetycznej" czy też „ilości magnetyzmu" zawartego w danym biegunie. Nic więc dziwnego, że wycofano się z tego pomysłu.

---

[1] Zwykle wymienia się następujące typy lekcji: lekcja poświecona opracowaniu nowego materiału, lekcja ćwiczeniowa (z ćwiczeniami laboratoryjnymi) oraz lekcja powtórzeniowo-utrwalająca.

[2] Zwracam tu uwagę na istnienie niewyjaśnionej dotąd reguły określającej promienie orbit naszego Układu Planetarnego. Mam tu na myśli znaną regułę Titiusa-Bodego.

[3] Tu określa się jedynie prawdopodobieństwo znajdowania się elektronu na danej orbicie.

[4] Age Bohr, czwarty syna Niella Bohra, urodził się w 1922 roku – tym samym, w którym jego ojciec otrzymał Nagrodę Nobla. Age Bohr również został laureatem Nagrody Nobla.

eprasa.pl 3058c33e15

A zastosowanie analogii w dydaktyce szkolnej?

Zastosowanie to jest tu powszechne. Poprzez porównywanie i szukanie podobieństw własności ciał i przebiegu zjawisk powodujemy, że owe cechy i zjawiska stają się bardziej zrozumiałe dla ucznia. Ponadto sprzyja to tworzeniu struktur pojęciowych dotyczących danej klasy ciał, zjawisk czy procesów, co pomaga w zapamiętywaniu treści nauczania. Często owe analogie wykorzystujemy w lekcjach podsumowujących i utrwalających materiał nauczania. Oto przykład:

Możemy sporządzić zestawienie wzorów i równań dotyczących ruchu punktu materialnego po okręgu oraz ruchu obrotowego bryły sztywnej. Analogie są tu natychmiast widoczne, co ułatwi zapamiętanie tych treści.

Możemy również porównać opisy, wzory i równania dotyczące pól grawitacyjnego i elektrostatycznego. Zauważymy, że w obu przypadkach występują analogiczne pojęcia, jak natężenie i potencjał pola oraz energia potencjalna ciał i ładunków w danym polu. Podobnie oblicza się także pracę wykonaną przez siły pola czy siły zewnętrzne przy przemieszczaniu ciał i ładunków w danym polu. Podobne są tu również definicje odpowiednich wielkości oraz wzory i równania. Przy czym zasadniczą różnicą jest fakt, iż w przypadku pola grawitacyjnego mamy do czynienia wyłącznie z siłami przyciągającymi, choć prawo powszechnej grawitacji Newtona i prawo Coulomba opisujemy z użyciem bardzo podobnych wzorów. Wszelkie też pola – zarówno źródłowe jak i bezźródłowe – możemy porównać na przykład do odpowiednich pól prędkości cieczy.[5]

Warto także porównywać opisy zjawisk związanych z rozchodzeniem się fal na wodzie, fal akustycznych i elektromagnetycznych, pamiętając o znanych różnicach odnośnie zarówno struktury owych fal jak i ich właściwości, a które pojawiają się nawet w tej samej „rodzinie" fal elektromagnetycznych.[6]

Metoda rozumowania przez analogię może być bardzo pomocna przy wprowadzaniu nowych pojęć, jak np. pojęcia napięcia jako różnicy potencjałów. Tu możemy posłużyć się podobieństwem do różnicy poziomów wody w naczyniach połączonych czy różnicy ciśnień gazu w zbiornikach.[7]

W fizyce jądrowej mówimy o *wale* czy też *dole*/*studni* potencjału. Pozwala to uczniowi wyobrazić sobie mechanizm zderzenia cząstki z jądrem atomu oraz zrozumieć warunki potrzebne do wniknięcia jej do wnętrza atakowanego jądra, a także do emisji cząstki alfa czy protonu, pamiętając oczywiście o tym, że w przypadku cząstki występuje określone prawdopodobieństwo tego zjawiska (efekt tunelowy), a w przypadku toczącej się kuli efekt ten nie wystąpi.[8]

I prawo Kirchhoffa można zilustrować rozgałęzieniem strumieni wody w rzece, a II prawo – wędrówką po okrężnym szlaku górskim, w którym po wyjściu z danego schroniska wędrujemy tyle samo metrów w górę, co potem schodzimy. Podobne analogie możemy wykorzystać przy wprowadzaniu prawa Ohma.[9] Tu natężenie strumienia cieczy w przewodzie łączącym zbiorniki jest proporcjonalne do różnicy poziomów cieczy w naczyniach czy też różnicy ciśnień gazu w zbiornikach, a natężenie prądu elektrycznego jest proporcjonalne do różnicy potencjałów/napięcia na końcach przewodu.[10]

Podobnie jest z przepływem ciepła przez ściankę. W tym przypadku ilość ciepła przepływającego przez nią w jednostce czasu jest wprost proporcjonalna do powierzchni ścianki i różnicy temperatur, a odwrotnie do jej grubości. Zależy też od rodzaju materiału, z którego tę ściankę sporządzono.[11]

Pewne analogie występują w zjawisku drgań harmonicznych wahadła matematycznego i drgań prądu w układzie RLC, a także w opisie uzyskiwania obrazów z użyciem soczewek i zwierciadeł sferycznych. Zauważmy też, że w opisie zjawiska załamania światła czy fal można zastosować zasadę Fermata, a zjawisko dyfrakcji czy interferencji światła można opisywać stosując tę samą metodę opartą o zasadę nieoznaczoności Heisenberga. Można także porównywać mechanizm termoemisji ze zjawiskiem parowania cieczy.

Ciekawe są także analogie matematyczne – choćby fakt, iż tory ciał poruszających się w odosobnionym i centralnym polu grawitacyjnym są krzywymi stożkowymi, a także fakt, że podobne zjawiska opisywane są podobnymi równaniami.

Analogie występują także w definiowaniu wielkości i w zapisie odpowiednich wzorów. Oto przykład: szybkość zmiany położenia ciała[12] definiowana jest jako stosunek przebytej drogi do czasu, w którym nastąpiło dane przemieszczenie. Szybkość zmiany wartości prędkości to stosunek tej zmiany do czasu jej trwania, a szybkość wykonywania pracy, czyli moc mechaniczną definiujemy jako stosunek wykonanej pracy do czasu, w którym ta praca została wykonana. Natężenie prądu elektrycznego czy też natężenie prądu strugi cieczy to stosunek ładunku czy też masy wody do czasu, w którym te przepływy nastąpiły itp., itd.

Analogie stosowane są również w rozwiązywaniu różnego rodzaju zadań, zarówno obliczeniowych jak i logicznych/problemowych. Podobne zadania rozwiązujemy w podobny sposób, stosując ten sam zestaw wzorów, praw i reguł jak np. zasady dynamiki Newtona, zasada d'Alemberta, zasady termodynamiki, reguła śruby prawoskrętnej czy reguła Lenza. Uniwersalnymi równaniami są: równanie Clapeyrona, równanie falowe czy też równania Maxwella. Posługujemy się także uniwersalnymi zasadami, jak zasada zachowani energii, pędu czy momentu pędu.

Na koniec dodam, że uczniowie bardzo chętnie korzystają z możliwości stosowania analogii, przy czym powinni pamiętać, że analogia nie oznacza tożsamości.

Waldemar Reńda
Olkusz, wrzesień 2020

[5] Zob.: W. Reńda, *Pole prędkości cieczy*, Fizyka w Szkole 6/1988.

[6] Zob.: W. Reńda, *Foton. Co to takiego?,* Fizyka w Szkole 6/2019.

[7] Zob.: W. Reńda, *Napięcie – kłopotliwe pojęcie.* Fizyka w Szkole 2/2017.

[8] W akapicie tym użyłem stosowanych w tych przypadkach nazw: „wał/studnia" potencjału, „atakowanie" jądra czy też „efekt tunelowy". Mamy tu również pewien rodzaj analogii.

[9] Zob.: W. Reńda, *Prawo Ohma? Ależ to proste!*, Fizyka w Szkole 3/2017.

[10] Pragnę zauważyć, że nie każda różnica potencjałów jest napięciem. Nie należy też mylić spadku napięcia spowodowanego obciążeniem sieci ze spadkiem potencjału czyli napięciem.

[11] Porównaj to ze wzorem: $I = U/R = U \cdot S/\rho \cdot l$.

[12] Tu: wartość wektora prędkości.

eprasa.pl 3058c33e15

Fidget Spinner w nauczaniu fizyki

Zabawka pozwalająca zająć na pewien czas palce i jednocześnie rozładowująca napięcie zdobyła w ostatnich kilku latach ogromną popularność i można ją zobaczyć niemal wszędzie. Czy można ją zastosować na lekcji fizyki, na każdym etapie kształcenia, podczas prostych i dość widowiskowych nie tylko demonstracji, ale jako środek dydaktyczny?

Kazimierz **Mikulski**

W literaturze przedmiotu czytamy, że Fidget Spinner to zabawka zręcznościowa wprowadzana w ruch obrotowy tak, aby kręciła się długo i swobodnie wokół własnej osi.[1] W formie spopularyzowanej powstała w 2017 roku, a składa się z czterech lub z trzech łożysk, połączonych wytrzymałym plastikiem lub metalem, kształtem przypominająca trójkąt, ale nie tylko.[2]

Media informują, iż twórczynią zabawki była pierwotnie amerykańska inżynier Catherine Hettinger, która w 1993 roku złożyła wniosek patentowy[3]. Sama Catherine w wywiadzie dla „New York" post powiedziała, że pomysł na tę zabawkę zrodził się w jej głowie, kiedy zobaczyła dość przykre zdarzenie podczas pobytu w Izraelu. Otóż, była świadkiem agresji grupy nastolatków (chłopców), którzy obrzucali kamieniami kordon policji.

Natomiast projekt zabawki powstał podczas wykrycia u niej choroby immunologicznej (Miastenii), której jednym z objawów było osłabienie mięśni. Niemożliwość zabawy z córką, wpłynął na wymyślenie Fidget Spinner. W 1993 roku chciała sprzedać swój pomysł firmie Hasbro, ale oni nie widzieli w tym projekcie żadnego biznesowego potencjału. Dopiero po 24 latach zabawka stała się hitem i firma zdobyła fortunę, a sama Hettinger nie zarobiła na nim nawet dolara.

Tylko nieliczni wiedzą, że jej prototyp znacznie się różnił od dzisiejszego Fidget Spinnera. Przypominał rozłożony parasol, który nakłada się na palec i kręci. Catherine rozpoczęła niedawno publiczną zbiórkę na rozpoczęcie produkcji jej klasycznego Fidget Spinnera. Ta pierwotna klasyczna zabawka Fidget Spinner Spinning De-stresor na palec jest do obejrzenia na stronie o adresie: https://www.kickstarter.com/projects/638415231/classic-fidget

Foto 1. *Wersja Fidget Spinnera z jednym centralnym i dwoma łożyskami w osi oraz Fidget Spinner z trzema - przypominającymi kształtem trójkąt.*
Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Fidget_spinner#cite_note-biow-1 oraz materiały własne, a także https://www.chefik.pl/zajecia-online/co-ma-wspolnego-spinner-z-tarciem/

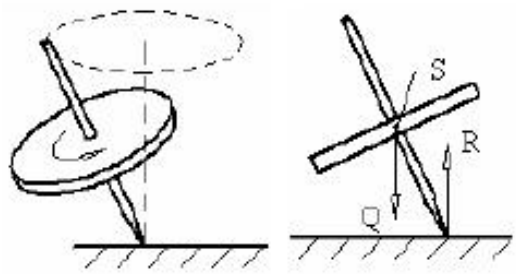
Foto 2. *Różne rodzaje Fidget Spinnera – od lewej do prawej: spinner metalowy z dwoma drążkami, spinner z trzema drążkami i spinner 5-kierunkowy oraz spinner LED.*
Źródło: na podstawie treści z strony https://www.real.de/fidget-spinner/ https://www.nebule.pl/fidget-spinner-co-to-jest/

[1] Ciekawostka: nazwa „Fidget Spinner" pochodzi od angielskiego określenia Fidget = denerwować i spin = wir / spinner = proca [za] https://www.nebule.pl/fidget-spinner-co-to-jest/

[2] https://pl.wikipedia.org/wiki/Fidget_spinner

[3] As fidget spinner craze goes global, its inventor struggles to make ends meet (ang.). theguardian.com. [dostęp 2017-06-11]. Spinning toy (ang.). patents.google.com. [dostęp 2017-06-11]. https://pl.wikipedia.org/wiki/Fidget_spinner#cite_note-4

eprasa.pl 3058c33e15



Rys 1. *Ruch bąka symetrycznego w polu grawitacyjnym, gdy wiruje ze stałą prędkością kątową* **ω** *wokół osi poziomej doznaje działania pary sił: siły ciężkości* **Q** *i siły reakcji* **R** *w punkcie podparcia osi, co powoduje, że moment sił działający na bąka jest różny od zera*
Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9on_Foucault

Foto 3. *Wynalazca żyroskopu Jean Bernard Leon Foucault (1819-1868).*

-spinner-spinning-de-stressor-finger. Tam też można obejrzeć prototyp.[4]

Początkowo celem takiej zabawki miała być pomoc w polepszeniu koncentracji oraz redukowaniu lęków i niepokoju u dzieci z ADHD i autyzmem. Sugerowanych właściwości terapeutycznych, mimo przeprowadzonych badań, nie udowodniono. Zabawka bardzo mocno spopularyzowała się dopiero w połowie 2017 roku, zyskując znaczne zainteresowanie zarówno w USA, jak i na świecie, w tym w Polsce[5] stając się zabawką roku.[6]

Fidget Spinner, jest zabawką, która pozwala na eksperymenty wykraczające poza te funkcje, o których myślała jej wynalazczyni. Pobieżna analiza pozwala wskazać, że ***po pierwsze*** – spinner pozwala na obserwację efektu żyroskopowego – ciekawego zjawiska, które wymyka się intuicji, a wynika z tego, że ruch obrotowy także jest charakteryzowany pewnym rodzajem wektora – wektorem prędkości kątowej – którego kierunkiem jest oś obrotu. Własności żyroskopu posiada wiele ciał np.: ciała niebieskie w tym Ziemia, pociski karabinowe, wirniki maszyn, koła.

Żyroskop ma najczęściej postać metalowego krążka, który raz wprawiony w ruch obrotowy zachowuje pierwotne położenie swojej osi obrotu. Żyroskop został wynaleziony w 1852 roku przez Leona Foucaulta[7], jako demonstracja zasady zachowania momentu pędu.

Po drugie, można zaproponować zagadnienia do pracy z uczniem.

Propozycja zagadnień jako ćwiczenia dla ucznia

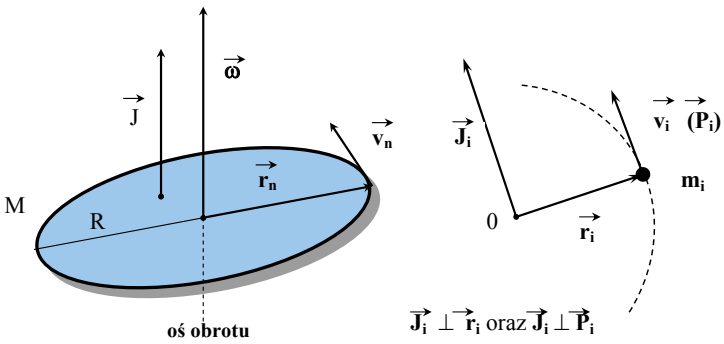
Oszacuj możliwe wielkości fizyczne dla tej zabawki a dotyczące ruchu obrotowego

W pierwszej kolejności przypomnijmy, że pęd, moment pędu, moment siły są określone następująco:

Tabela 1. *Określenia i wzory pędu, momentu pędu i momentu siły*

	Punkt materialny	Układ punktów materialnych (bryła sztywna)
Pęd	$\vec{p}_i = m_i\vec{v}_i$	$\vec{P} = \sum \vec{p}_i = \sum m_i\vec{v}_i$
Moment pędu	$\vec{J}_i = \vec{r}_i \times \vec{p}_i = m_i\vec{r}_i \times \vec{v}_i$ $\vec{v}_i = \vec{\varpi} \times \vec{r}_i$	$\vec{J} = \sum \vec{J}_i = \sum \vec{r}_i \times \vec{p}_i = \sum m_i\vec{r}_i \times \vec{v}_i$
Moment siły	$\vec{N}_i = \vec{r}_i \times \vec{F}_i$	$\vec{N} = \sum \vec{N}_i = \sum \vec{r}_i \times \vec{p}_i$

Źródło: na podstawie treści ze strony http://www.carbon14.pl/c14new/download/pdf/dydaktyk/apazdur/04_Ruch_obrotowy_bryly_sztywnej.pdf



Rys. 2. Wielkości fizyczne potrzebne do interpretacji określeń z tabeli 1
Źródło: na podstawie treści ze strony http://www.carbon14.pl/c14new/download/pdf/dydaktyk/apazdur/04_Ruch_obrotowy_bryly_sztywnej.pdf

Powyższe wzory powstały z wykorzystaniem oznaczeń na rysunku 2.

Szczególnie ważny jest wzór

$$\vec{J} = I\vec{\omega}$$

gdzie I jest współczynnikiem proporcjonalności. Współczynnik ten nosi nazwę **momentu bezwładności**, określa on pewną charakterystyczna cechę ciała – rozkład masy ciała względem osi obrotu. Powyższa relacja pomiędzy <J> i <ω> jest również słuszna w przypadku ciał o symetrii osiowej i jednorodnym rozkładzie masy oraz ciał wykonujących ruch obrotowy względem jednej z tzw. osi głównych ciała.

Budowa stosowanego Fidget Spinnera i oszacowanie momentu bezwładności

Tym samym jest to konstrukcja składająca się z walca i trzech (3) cylindrów. Dla całości można wskazać moment bezwładności, z ogólnym założeniem, że poszczególne elementy mają jednakową masę, a ich suma jest masą pomierzoną danego Fidget Spinnera.

[4] Catherine Hettinger pracowała z Sarą Hettinger nad projektem i budową klasycznego Fidget Spinner. Sara Hettinger to artystką zajmująca się sztuką trójwymiarową. Catherine Hettinger jako inżynier uzupełnia wiedzę techniczną i produkcyjną. Otrzymała nagrodę w konkursie biznesplanów RPI za wynalazek elektroniczny. https://www.kickstarter.com/projects/638415231/classic-fidget-spinner-spinning-de-stressor-finger

[5] https://pl.wikipedia.org/wiki/Fidget_spinner

[6] https://www.edziecko.pl/rodzice/7,79318,21920412,fidget-spinner-co-to-najpopularniejsza-zabawka-2017-juz.html

[7] Jean Bernard Leon Foucault (1819-1868) był francuskim fizykiem najbardziej znanym z demonstracji wahadła Foucaulta, urządzenia ułatwiającego demonstrację efektu obrotu Ziemi. Dokonał również wczesnego pomiaru prędkości światła, odkrył prądy wirowe i przypisuje się mu nazwę żyroskopu. https://en.wikipedia.org/wiki/L%C3%A9on_Foucault

eprasa.pl 3058c33e15

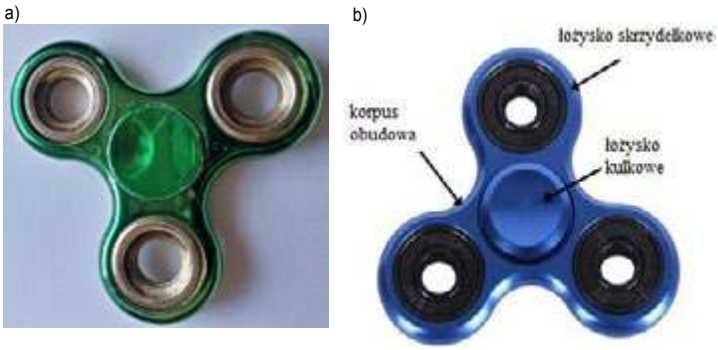
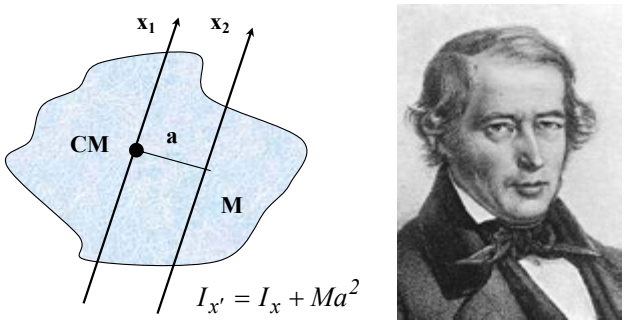
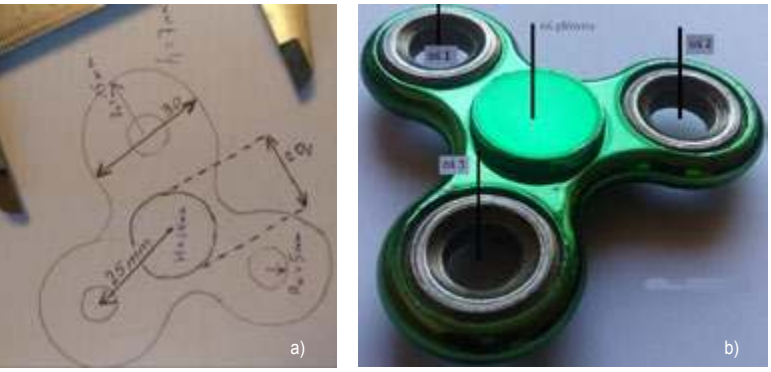


Foto 4. *Budowa stosowanego Fidget Spinnera z trzema skrzydłami*
Źródło: materiał własny oraz [za] https://www.real.de/fidget-spinner/



Rys. 4. *Schemat do Twierdzenie Steinera i jego twórca* **Jakob Steiner** *(1796-1863)*
Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/55/JakobSteiner.jpg



Rys. 3. Rysunek a) zwymiarowany Fidget Spinner z fotografii 6 a) oraz b) wskazanie osi występujących w bryle tej zabawki. Źródło: materiał własny.

Wykorzystajmy twierdzenie o osiach równoległych (twierdzenie Steinera)

W sytuacji, gdy osie obrotu <*x*> i <*x*'> są równoległe i odległe o odcinek <*a*> *oraz oś x* przechodzi przez środek masy CM, *M* = masa ciała to możemy zastosować Twierdzenie Steinera.

Twierdzenie Steinera: *Moment bezwładności bryły sztywnej względem dowolnej osi obrotu, równoległej do osi przechodzącej przez środek masy, jest sumą momentu bezwładności względem osi przechodzącej przez CM i iloczynu masy ciała przez kwadrat odległości między osiami obrotu.*

Powyższe dane posłużą do realizacji zaproponowanego problemu uczniom. Pomocne mogą być informacje ze strony internetowej o adresie: http://ilf.fizyka.pw.edu.pl/podrecznik/2/4/3

Inne działania, które możliwe są do zaproponowania przez nauczyciela i realizacji przez ucznia w trakcie edukacji, to:

Obserwacja zmiany wartości prędkości – a w efekcie zmiany kierunku wirowania

Obracająca się ze stałą prędkością kątową bryła sztywna, może się tak obracać w nieskończoność pod warunkiem, że nie wytraci energii kinetycznej ruchu obrotowego zamieniać ją w inny rodzaj energii. W celu zmiany wartość prędkości wirowania, musimy zadziałać momentem siły. Efektem jest wyhamowanie. Zaobserwować można to, że także zmiana kierunku wirowania wymaga działaniem momentu siły. O sile, która napotyka na dziwnego rodzaju bezwładność, która zależy nie tylko od masy, ale także od prędkości wirowania można przeczytać na stronie internetowej o adresie: http://www.deltami.edu.pl/temat/fizyka/mechanika/2017/07/30/2017-08-delta-spinner.pdf

Autor opracowania (pod wskazanym adresem) podkreśla, że trzymając za łożysko, przykładamy zawsze moment siły, którego kierunek jest prostopadły do kierunku wektora momentu pędu, dlatego zmienia się tylko jego kierunek, a nie wartość. Szymon Charzyński, będący twórcą artykułu w <Delta, sierpień 2017> stwierdza, że podobnie dzieje się w ruchu jednostajnym po okręgu, gdzie siła jest prostopadła do prędkości i zmienia tylko kierunek prędkości, nie zmieniając wartości.[8] **Czym różni się dobrze wykonany Fidget Spinner od źle wykonanego oraz kilka uwag dotyczących procesu?** To zagadnienie także opisane w wskazanym tekście (powyżej).

Kolejne problem to:

Obserwacja efektu stroboskopowego

Bardzo ciekawie opisano obserwację, w której mamy np. lampkę biurową z diodami LED i przy jej pomocy oraz Fidget Spinnera dokonujemy obserwowania ciekawego efektu stroboskopowego[9]. Jeśli obracającą się bryłę oświetlimy światłem migającym z określoną częstotliwością – możemy zobaczyć pewne stałe struktury a najlepiej, jeśli częstość obrotów będzie zgodna z częstością błysków. A całość opisano w treści umieszczonej w nowym Olimp - internetowym czasopiśmie naukowym dla młodzieży[10], o adresie internetowym: http://nowyolimp.net/index.php?iss=66&id=1223

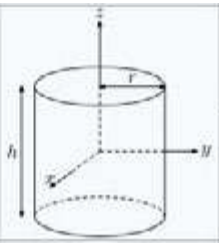
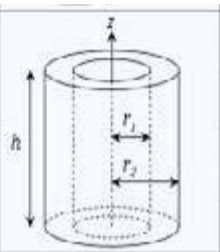
Pomiar (bardziej obserwacja) szybkości obracania się Fidget Spinnera.

Na stronie o poniższym adresie, jest przedstawione zagadnienie: „*Jak szybko obraca się spinner*?" Polecam zapoznać się z próbami, różnych technik i urządzeń pomocniczych, podjętymi przez autora tegoż tekstu i efektami jaki udało mu się uzyskać. http://fiszka.koci.net.pl/index.php/jak-szybko-obraca-sie-spinner/ czyli JAK SZYBKO OBRACA SIĘ SPINNER?

[8] http://www.deltami.edu.pl/temat/fizyka/mechanika/2017/07/30/2017-08-delta-spinner.pdf
[9] lub mamy do dyspozycji latarkę z regulowaną siłą świecenia, budowa, której oparta jest na diodach LED
[10] Kolegium redakcyjne: gaja@nowyolimp.net; hefajstos@nowyolimp.net http://nowyolimp.net/index.php?iss=66&id=1223

eprasa.pl 3058c33e15

Tabela 2. *Moment bezwładności ciała o określonych wymiarach fizycznych (Dla $r_1 = 0$ pełny walec, dla $r_1 = r_2$ rura cienkościenna.)*

Pełny walec o promieniu r, wysokości h i masie m		$I_z = \frac{1}{2}mr^2$ $I_x = I_y = \frac{1}{12}m(3r^2 + h^2)$
Cylindryczna rura o wewnętrznym promieniu r_1, zewnętrznym promieniu r_2 i masie m		$I = \frac{1}{2}m({r_2}^2 + {r_1}^2)$
Cylindryczna rura o wewnętrznym promieniu r_1, zewnętrznym promieniu r_2, długości h i gęstości ρ		$I = \frac{1}{2}\pi\rho({r_2}^4 - {r_1}^4)h$

Źródło: na podstawie treści ze strony internetowej https://pl.wikipedia.org/wiki/Lista_moment%C3%B3w_bezw%C5%82adno%C5%9Bci

Dla bardziej zorientowanych (i wprawionych) w budowie (i wykorzystaniu) elementów elektroniki profesjonalnej, godny polecenia jest materiał <*Fidget Spinner z licznikiem obrotów IoT*!>. Autor opisuje, „jak zmierzyć prędkość obrotów takiego obiektu bez zaburzania jego osiągów?" Jednocześnie bardzo obszernie wskazuje, jakie układy elektroniczne – bramki i liczniki należy zastosować. Pisze o zaproponowanym i zbudowanym układzie elektronicznym: „*Dzięki temu uruchomienie całość sprowadziła się do podłączenia wyjścia czujnika do płytki i napisaniu prostego programu*." Więcej pod adresem: https://forbot.pl/blog/fidget-spinner-z-licznikiem-obrotow-iot-id20998

Kończąc jako ciekawostkę polecam tekst Piotra Adamczyka, pod adresem https://www.benchmark.pl/aktualnosci/ten-telefon-jest-jak-fidget-spinner.html **który opisuje inne spojrzenie na zabawkę pisząc: „***Ten telefon jest jak fidget spinner***"**

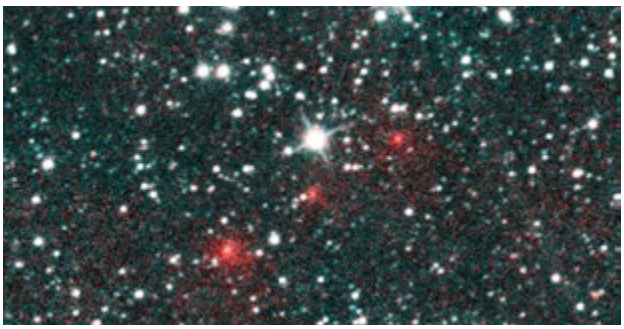
dr Kazimierz Mikulski
Maksymilianowo

Co w fizyce piszczy

Kwasy nukleinowe z kosmosu

Pytanie o pochodzenie życia pozostaje wciąż bez jednoznacznej odpowiedzi. Najbardziej popularna jest teoria o węglowodorowej zupie, w której pod wpływem błyskawic formowały się coraz bardziej złożone związki organiczne. A może było inaczej… Naukowcy badający ogony komet znaleźli na powierzchni lodowych ziaren aminokwasy. Pierwsza myśl to ta, że czynnikiem sprawczym mogło być promieniowanie słoneczne. Obecnie holenderscy naukowcy wykazali, że aminokwasy mogą powstawać nawet w warunkach zupełnej ciemności. Czyli jest możliwe, że niezbędne do życia związki powstały nawet zanim powstały gwiazdy.

Źródło: S. at al. A non-energetic mechanism for glycine formation in the interstellar medium. Nature Astronomy, 2020; DOI: 10.1038/s41550-020-01249-0



Brązowe karły śpiewają

Jak znaleźć gwiazdę, która nie świeci? Na pierwszy rzut oka takie pytanie wydaje się pozbawione sensu. Przecież wszyscy wiemy, że gwiazdy świecą, jak gwiazda może nie świecić? Otóż, jeśli w procesie formowania gwiazdy nagle skończyła się materia to gwiazda taka nie zaświeci, nawet na czerwono. Powstanie obiekt zwany brązowym karłem. Ni to gwiazda, ni to planeta. Obiekty takie można oczywiście czasami wyryć metodami optycznymi, głównie używając technik zaćmieniowych. Jednak nie jest to proste. Inną metodą wykrywania brązowych karłów są obserwacje w podczerwieni. Takie obserwacje najlepiej przeprowadzać z kosmosu. Czy metodami naziemnymi nie da się wykrywać takich obiektów? Otóż, jak wykazała grupa naukowców z Hawajów, taką możliwość dają radioteleskopy, gdyż w tej części widma elektromagnetycznego brązowe karły są wybitnie aktywne. Pierwszy obiekt znaleziony tą metodą nosi nazwę BDR J1750+3809. Może jest to mało poetycka nazwa, ale naukowcy, którzy dokonali odkrycia twierdzą, że ma ono charakter przełomowy, otwierając drogę do odkrywania wielu takich obiektów.

Źródło H. K. Vedantham at.al. Direct Radio Discovery of a Cold Brown Dwarf. The Astrophysical Journal, 2020; 903 (2): L33 DOI: 10.3847/2041-8213/abc256

eprasa.pl 3058c33e15

Odkrywanie nieba, czyli domowy spektroskop

Artykuł ma charakter interdyscyplinarny i przedstawia, jak zbudować w szkole lub domu układ pomiarowy umożliwiający zgłębianie tajników astronomii w połączeniu z fizyką i chemią. Wyniki przedstawione w artykule zostały zarejestrowane przez ucznia klasy maturalnej i praktykanta na uczelni wyższej w trakcie pandemii COVID-19 w ramach indywidualnego, zdalnego projektu badawczego.

Karol **Masztalerz**, Agnieszka **Pręgowska**, Magdalena **Osial**

Niebo nocą

Gwieździste niebo nocą to piękny i hipnotyzujący widok. Fascynuje i zniewala ludzkość od stuleci. Co sprawia, że można obserwować ten niesamowity, migoczący nieboskłon? Już powstanie pierwszych przyrządów astronomicznych pozwalało na zrozumienie czym są gwiazdy, planety, asteroidy i inne ciała niebieskie [1,2]. Wraz z rozwojem technologii rozwijały się narzędzia do obserwacji nieba, a powstanie spektroskopów przyczyniło się do zgłębienia tajemniczej natury znajdujących się na nim obiektów niebieskich.

Ilość światła, które dociera na Ziemię nocą z ciał niebieskich jest uzależniona od różnych czynników środowiskowych, m.in. zachmurzenia, obecności w powietrzu pyłów zawieszonych, sztucznego oświetlenia, składu chemicznego ciała niebieskiego [3]. Światło docierające na Ziemię z Księżyca, Marsa czy Jowisza jest światłem odbitym ze Słońca i różni się od siebie nie tylko intensywnością spowodowaną różną odległością obiektu od Słońca i od naszej planety, ale także długością fal.

Współczesna elektronika pozwala nie tylko na szybkie i precyzyjne rejestrowanie sygnałów świetlnych nieosiągalnych dla ludzkiego oka, ale także poznanie składu chemicznego atmosfery planet i innych obiektów na nieboskłonie. W prawdzie natura nie przystosowała ludzkiego organizmu do życia w ciemnościach, za to nauka i rozwój technologii umożliwiły nam obserwacją, rejestrację oraz analizę nawet najsłabszych promieni światła docierających na Ziemię z kosmosu. Wszystko za sprawą spektroskopii, która nie kojarzy się już tylko z NASA, ESA lub innymi laboratoriami badawczymi, ale dostępna jest dla każdego. Skonstruowanie spektroskopów spowodowało, że ciemność już nigdy nie będzie taka sama.

Z czego składa się spektroskop?

Dziś każdy miłośnik astronomii i fizyki może zbudować przy niewielkich nakładach finansowych własny spektroskop, który pozwala na zbadanie składu chemicznego ciał niebieskich np. Jowisza, Słońca i innych jasnych obiektów astronomicznych [4]. Przyrząd ten umożliwia badanie widma będącego obrazem odpowiadającego określonemu rodzajowi promieniowania. Podstawą działania takiego urządzenia jest siatka dyfrakcyjna oraz obiektyw i detektor.

Krok po kroku, czyli podstawowe elementy

- **Siatka dyfrakcyjna** to element optyczny rozpraszający światło w taki sposób, że dłuższe fale elektromagnetyczne rozproszone są pod większym kątem niż fale krótsze [4,5]. W rezultacie, po przepuszczeniu przez siatkę białego światła uzyskuje się tęczę barw. Jest to możliwe dzięki zjawisku *dyfrakcji*. W tej pracy zaproponowane zostało zbudowanie spektroskopu transmisyjnego. Taka konstrukcja wymaga użycia siatki dyfrakcyjnej transmisyjnej, w której obraz obserwowanego obiektu oraz jego spektrum są przepuszczane przez element optyczny, a nie są od niego odbijane. Głównymi cechami siatki dyfrakcyjnej są jej wymiary

eprasa.pl 3058c33e15

oraz ilość szczelin zawartych w 1 mm szerokości siatki. Gęstość szczelin definiuje rozdzielczość siatki oraz kąt odchylenia spektrum uzyskiwanego przez siatkę. W Polsce łatwo dostępne są siatki o rozdzielczościach 500 linii na mm oraz 1000 linii na mm. Niestety takie siatki mają zbyt dużą rozdzielczość do spektroskopii fotograficznej. Siatka 500 linii/mm wymaga czułej kamery oraz długiego czasu naświetlania by wygenerować jasne spektrum obiektów astronomicznych. Dzieje się tak, ponieważ spektrum generowane przez siatki o dużej gęstości linii dyfrakcyjnych rozłożone jest na dużym zakresie kątowym. W praktyce oznacza to, że najlepsze do amatorskiej spektroskopii są siatki dyfrakcyjne o gęstości 100 linii na mm. Jednak w tym eksperymencie wykorzystana została siatka 500 linii na mm ze względu na łatwą dostępność.

- **Obiektyw i aparat,** do pozyskiwania prostych widm jasnych obiektów takich jak lampy uliczne wystarczy właściwie dowolny aparat z szerokokątnym obiektywem. Można także wykorzystać w tym celu aparat wbudowany w smartfona, jednak lepszym rozwiązaniem jest aparat typu DSLR (tzw. lustrzanka), z manualną kontrolą parametrów naświetlania. Taki sprzęt umożliwia uzyskiwanie widma ciemniejszych obiektów, ponieważ wspiera on długie czasy naświetlania. Lepszą alternatywą do aparatu jest jednak monochromatyczna kamera naukowa typu CCD. Po podłączeniu obiektywu do kamery lub aparatu, na przednią część obiektywu konieczne jest założenie siatki dyfrakcyjnej, w taki sposób, by środek siatki pokrywał się ze środkiem obiektywu. Siatkę można zamocować np. za pomocą taśmy klejącej.

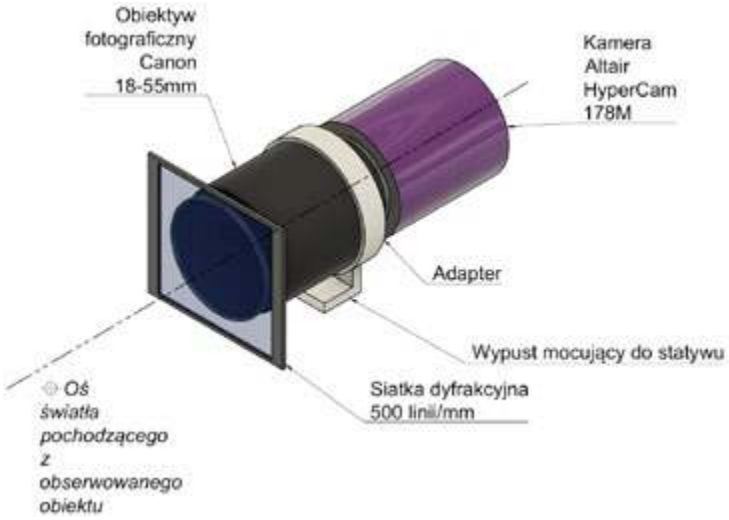
Przykładowy zestaw do spektroskopii

Na rys. 1 przedstawiono spektroskop domowej konstrukcji. Został on zbudowany z kamery Altair Astronomy HyperCam 178M, adaptera wydrukowanego w technice druku 3D FDM, obiektywu Canon 18-55 mm, oraz siatki dyfrakcyjnej 500 linii/mm. Spektroskop ten zostanie użyty do otrzymania spektrum **lampy sodowej** oraz **Jowisza**.

Uzyskanie pierwszego widma – lampa sodowa

Spektroskopia pozwala na badanie składu chemicznego obiektów na podstawie widma światła odbitego, emitowanego lub przepuszczonego przez te obiekty [5,6]. Jest to możliwe, ponieważ światło oddziałuje z materią, co pozwala na uzyskanie widma zawierającego linie charakterystyczne dla różnych atomów i/lub związków chemicznych. Są to linie emisyjne lub absorpcyjne. Powszechne w Polsce lampy uliczne to wysokociśnieniowe lampy sodowe. W tym paragrafie przestawiona została technikę uzyskania takiego widma.

Pierwszym krokiem jest przygotowanie spektroskopu zgodnie z krokami przedstawionymi w poprzednich paragrafach. Po przygotowaniu stanowiska pomiarowego, tj. *aparatu/kamery, obiektywu* oraz *siatki dyfrakcyjnej*, należy skierować aparat na odległą lampę sodową (minimum 100 metrów).



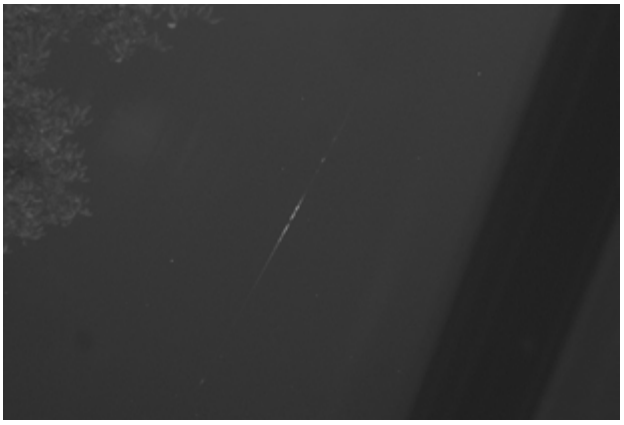
Rys. 1. Schemat domowego spektroskopu.

Odległość ma tutaj znaczenie, ponieważ nasz spektroskop nie posiada szczeliny dyfrakcyjnej, zatem obserwowane przez niego źródła światła muszą być jak najbardziej punktowe. W przeciwnym razie ich widmo będzie rozmyte.

Po wycelowaniu aparatu na obrany obiekt konieczne jest ustawienie ostrości w obiektywie. Zależnie od tego, jak dużą rozdzielczość posiada siatka dyfrakcyjna, powinno być widoczne widmo lampy sodowej tuż obok niej samej (przy siatkach o niskich rozdzielczościach) lub nieco w bok/w górę od lampy sodowej. Kadr należy dobrać w taki sposób, by możliwie jak największa część spektrum znajdowała się w polu widzenia kamery. Następnie należy wykonać fotografię z odpowiednimi parametrami naświetlania, tak by obraz spektrum nie był zbyt ciemny ani prześwietlony.

Na wykonanym zdjęciu powinny być widoczne silne linie absorpcji (ciemniejsze części spektrum) i emisji (jaśniejsze części spektrum). Szczególnie silna powinna być linia absorpcji sodu ~590 nm w żółtej części spektrum.

Na rys. 2 przedstawiono zdjęcie widma lampy sodowej uzyskane przy pomocy zaproponowanego, domowego spektroskopu.



Rys. 2. Zdjęcie widma lampy sodowej na tle nocnego nieba wykonane przy użyciu własnego spektroskopu opartego o siatkę dyfrakcyjną 500 linii na mm. W rezultacie użycia siatki o wysokiej rozdzielczości konieczne było użycie długiego czasu naświetlania t = 3 s. Na widmie widać charakterystyczne, silne linie absorpcji i emisji.

eprasa.pl 3058c33e15

Obróbka fotografii, czyli jak uzyskać wykres widma z surowego zdjęcia?

Pierwszym krokiem w stronę uzyskania wykresu widma z surowego zdjęcia jest przycięcie zdjęcia w taki sposób, by widmo było na nim ułożone horyzontalnie. W tym celu używa się programu GIMP [7]. Należy otworzyć uprzednio wykonane zdjęcie widma, następnie użyć narzędzia transformacji do obrócenia zdjęcia, a na koniec należy użyć narzędzia do kadrowania oraz skalowania. Te trzy kroki przedstawiono poniżej na rys. 3-6.

Dzięki odpowiedniemu przetworzeniu fotografii w oprogramowaniu graficznym możliwe było uzyskanie widma wprost z surowego zdjęcia. Wynik przetwarzania obrazu w programie GIMP przedstawiono na rys. 6.

Kolejny krok to stworzenie wykresu widma. Można do tego użyć programu RSPec [8,9]. Obraz widma uzyskany w programie GIMP należy wyeksportować do formatu TIFF lub PNG, a następnie otworzyć go w programie RSPec. Przykładowy proces obróbki został pokazany na rys. 7 i 8. W ten sposób możliwe jest uzyskanie spektrogramu z surowego zdjęcia widma lampy sodowej. Analogicznie do widma na spektrogramie widoczne są linie absorpcji i emisji.

Następny krok to kalibracja uzyskanego spektrogramu, w taki sposób, by na osi X wykres pokazywał długość fali światła, a nie piksele obrazu. W tym celu należy otworzyć zakładkę *calibrate* i wypełnić w niej pola odpowiadające dwóm znanym liniom spektralnym sodu na wykresie, rys. 8.

Na tak otrzymanym wykresie widma można np. zbadać częstotliwość pozostałych linii emisyjnych, które nie brały udziału w procesie kalibracji. Dane kalibracji uzyskane w tym procesie można wykorzystać przy obserwacjach innych obiektów, np. Jowisza.

Uzyskany wykres widma w spektrogram, będący wykresem intensywności światła z obiektu w zależności od długości fali tego światła przedstawiony został na rys. 9. Linie absorpcyjne zostały zaznaczone kolorem niebieskim (5890,5 Å) a kolorem czerwonym linie emisyjne (4672,1 Å; 4980,6 Å; 5155,8 Å; 5686,6 Å; 6159,8 Å).

Porównując widma obserwowanych obiektów z wzorcami uzyskanymi w laboratoriach dla różnych związków chemicznych można zbadać skład chemiczny tych obiektów, na podstawie tego, jakie linie absorpcyjne/emisyjne znajdują się w ich spektrum.

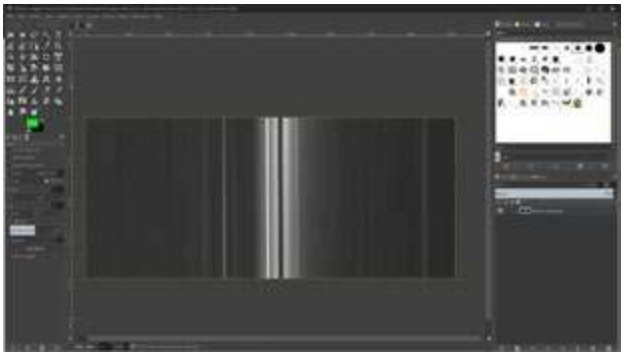
Od lampy do Jowisza, czyli odległy obiekt obserwacji

Kolejnym krokiem jest weryfikacja zaproponowanego sprzętu w spektroskopii obiektów astronomicznych. Na początek najlepiej skupić się na największej planecie Układu Słonecznego, nazwanej na cześć rzymskiego ojca bogów, bóstwa nieba, burzy i deszczu, Jowisza [10].

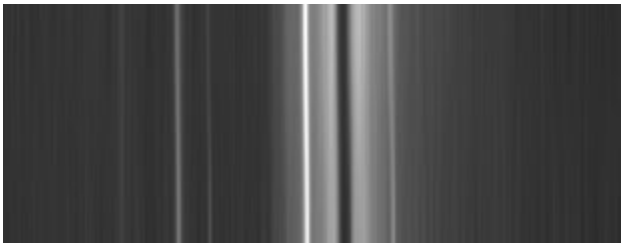
W porównaniu do spokojnej Ziemi, jest on planetą opanowaną przez chaos. Targają nim potężne burze, które na równiku wzbijają dominujące wiatry z prędkością ponad 500 km na godzinę, niespotykaną na Ziemi. Skład chemiczny Jowisza to w trzech czwartych wodór i w jednej czwartej hel, oraz śladowe ilości innych gazów. Planeta ma prawdopodobnie skaliste jądro złożone z cięższych pierwiastków.

Rys. 3. Bezpłatne oprogramowanie GIMP z dialogiem otwierania zdjęć.

Rys. 4. Bezpłatne oprogramowanie GIMP w trakcie obracania zdjęcia. Widmo lampy sodowej jest widoczne na dole.



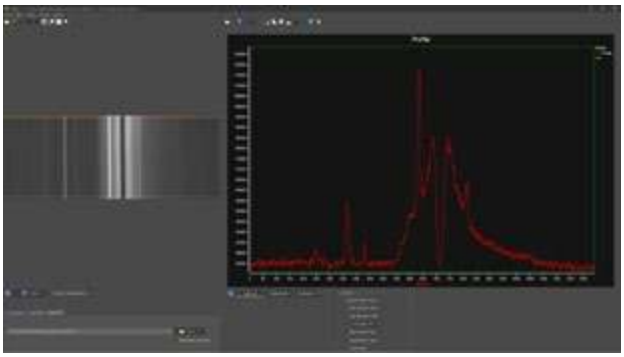
Rys. 5. Bezpłatne oprogramowanie GIMP po przycięciu zdjęcia i rozciągnięciu go w pionie przy użyciu funkcji skalowania.



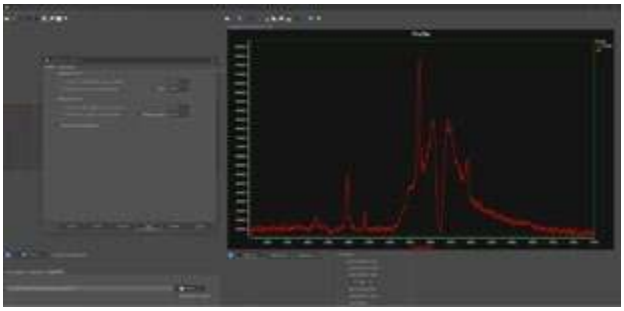
Rys. 6. Widmo ulicznej lampy sodowej uzyskane przy wykorzystaniu kamery HyperCam178M, obiektywu Canon 18-55 mm oraz siatki dyfrakcyjnej 500 linii/mm. W widmie widać silne linie emisyjne sodu oraz ciemną linię absorpcyjną.

Szybki obrót Jowisza wokół własnej osi powoduje, że jeden dzień na Jowiszu trwa krócej niż 10 ziemskich godzin. Jowisz jest też, drugą po Wenus najjaśniejszą planetą na niebie. W styczniu 1610 roku astronom Galileo Galilei zauważył, jak wtedy sądził, cztery małe gwiazdy towarzyszące Jowiszowi. W rzeczywistości są to księżyce Jowisza: Io, Europa, Ganimedes i Kallisto. Przy obserwacjach spektroskopowych Jowisza najsilniejsze linie absorpcji to te wywołane przez zawarty w atmosferze metan. Gdy światło słoneczne odbija się od Jowisza, zawarty w atmosferze metan pochłania silnie fale o długości ok 619 nm oraz 727 nm.

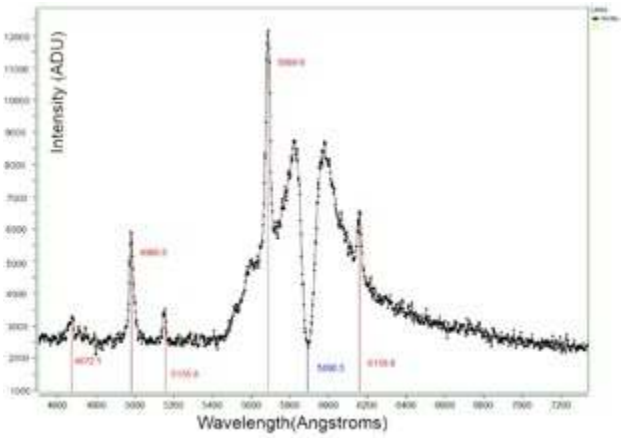
eprasa.pl 3058c33e15



Rys. 7. Wykres widma (spektrogram) oraz jego obraz otwarte w programie RSPec. Widoczne widmo nie przeszło jeszcze procesu kalibracji. Na pionowej osi wykresu zastała pokazana jasność spektrum, na osi poziomej zaznaczono piksele zdjęcia.

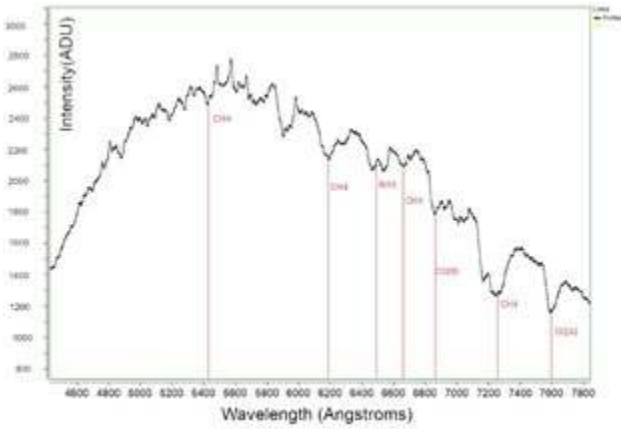


Rys. 8. Zakładka do kalibracji, program RSpec.



Rys. 9. Wykres widma lampy sodowej uzyskany na podstawie widma z rys. 1. Dane zostały poddane analizie w programie RSpec. Na czerwono zaznaczono linie emisyjne lampy, natomiast na niebiesko zaznaczono jej linie absorpcyjne. Podano także ich długość fali w Angstremach [Å].

Rys. 10. Obraz widma Jowisza uzyskany podczas obserwacji. Widoczne dwie słabe linie absorpcyjne metanu i tlenu po prawej stronie wykresu.



Rys. 11. Wykres spektrogramu Jowisza uzyskany prostym spektroskopem. Na wykresie zaznaczono linie absorpcyjne metanu CH_4 oraz amoniaku NH_3.

Obserwacje Jowisza

Na rys. 10 zamieszczono fotografię widma Jowisza uzyskaną przykładowym zestawem do spektroskopii opisanym w paragrafie *„Przykładowy zestaw do spektroskopii”*.

Kolejny krok to wykorzystanie programu RSPec do uzyskania wykresu widma oraz zaznaczenie linii absorpcji i emisji wykrytych w skalibrowanym spektrogramie. Zaobserwowane linie porównano z literaturą [11,12], pozwalając ustalić skład chemiczny obserwowanego obiektu. Wykres z oprogramowania RSpec przedstawiono na rys. 11.

Na uzyskanym w ten sposób wykresie można zaobserwować obecność metanu i amoniaku w atmosferze Jowisza, oraz tlen w atmosferze ziemskiej. Linie te są charakterystyczne dla określonych związków chemicznych. Zaznaczono także linie absorpcji tlenu O_2 w atmosferze Ziemi. Na środku linii absorpcyjnej NH_3 znajduje się jasny pik będący artefaktem wywołanym obecnością gwiazdy w polu widzenia spektroskopu.

Podsumowanie

Zademonstrowany spektroskop to urządzenie zbudowane niskim kosztem, które może zbudować każdy, kto jest zainteresowany badaniem składu chemicznego obiektów astronomicznych. Dalszą możliwą ścieżką rozwoju takiego spektroskopu mogłoby być umieszczenie siatki dyfrakcyjnej o mniejszej gęstości szczelin tuż przed ogniskiem głównym teleskopu astronomicznego, umożliwiając badanie ciemniejszych obiektów, np. próby wykrycia metanu w atmosferze Tytana czy Uranu. Takie urządzenie mogłoby być używane także do badania odległych gwiazd, a nawet wyznaczania prędkości ekspansji otoczki gazowej w supernowej przy użyciu efektu Dopplera.

Wyniki obserwacji zaprezentowane w niniejszym artykule zostały wykonane w ramach indywidualnego projektu dla ucznia klasy licealnej w ramach projektu Manufaktura Naukowców i miał na celu przestawienie interdyscyplinarności w nauce przedmiotów ścisłych. Szczególnie przydatne były: wiedza ogólna z fizyki, chemii, astronomii oraz znajomość podstawowego oprogramowania graficznego.

Karol Masztalerz, Agnieszka Pręgowska, Magdalena Osial*
*mosial@chem.uw.edu.pl

LITERATURA

[1] Déjardin G., The Light of the Night Sky, Reviews of Modern Physics 1936, 8 (1).
[2] Strona poświęcona obserwacji Układu Słonecznego: https://astronomy.com/observing/observe-the-solar-system/2014/04/how-to-observe-the-planets (20.08.15)
[3] Robinson K., Spectroscopy: The Key to the Stars, 2007, Springer, New York, NY, DOI: 10.1007/978-0-387-68288-4.
[4] Near-Infrared Spectroscopy: Principles, Instruments, Applications, edited by Siesler H. W., Ozaki Y., Kawata S., Heise H. M., Wiley VCH 2008.
[5] Kneubühl F., Diffraction Grating Spectroscopy, Applied Optics 1969, 8(3), 505-519.
[6] Palmer C., Loewen E., Diffraction Grating Handbook, 2005 Newport Corporation, New York, USA.
[7] Strona internetowa oprogramowania GIMP: https://www.gimp.org/. (20.08.15)
[8] Strona internetowa oprogramowania RSpec: https://www.rspec-astro.com/. (20.08.15)
[9] Instrukcja obsługi programu RSpec w formacie PDF: https://www.rspec-astro.com/getting-started-pdf/. (20.08.15)
[10] Rogers J. H., The Giant Planet Jupiter, Cambridge University Press, 2009
[11] Lee D.-E., Song I.-O., Spectra of reflected sunlight from planets, Publications of The Korean Astronomical Society 2015 30. 767-768.
[12] Owen T., Cess R. D., Methane absorption in the visible spectra of the outer planets and Titan, The Astrophysical Journal 1975,197:L37-L40.

eprasa.pl 3058c33e15

Dwudziestolecie Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki

Stanisław **Bednarek**

Z punktu widzenia stosowanych metod badawczych fizyka jest nauką eksperymentalno-dedukcyjną. Eksperyment w fizyce spełnia podwójną rolę. W początkowym etapie procesu poznawczego eksperyment jest źródłem wiedzy. Podczas nauczania fizyki jest to zwykle eksperyment pokazowy. W końcowym etapie procesu poznawczego eksperyment pozwala na weryfikację postawionych hipotez i decyduje o ich przyjęciu, albo odrzuceniu.

Tę istotną rolę eksperymentu w nauczaniu fizyki docenił Prof. dr hab. Wojciech Nawrocik z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i w 2000 r. zaproponował utworzenie Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki (OKDF). Klub rozpoczął działalność w 2001 r. Głównym celem działalności klubu jest doskonalenie umiejętności wykonywania eksperymentów, mających zastosowanie w nauczaniu i popularyzacji fizyki [1]. Począwszy od 2001 r. w lecie odbywają się spotkania tego klubu. Uczestnicy spotkań wykonują eksperymenty o charakterze edukacyjnym. Dzielą się przy tym swoimi pomysłami, wiedzą i umiejętnościami oraz prowadzą dyskusje na temat tych eksperymentów. W bieżącym roku przypada jubileusz dwudziestolecia istnienia klubu.

Obecnie klub liczy 89 członków w tym 4 osoby z tytułem profesora nauk fizycznych. Większość członków jest zatrudniona w pracowniach pokazowych wyższych uczelni, na stanowiskach kierowników oraz fizyków-demonstratorów i posiada stopień doktora nauk fizycznych, albo magistra fizyki. W klubie jest też kilka osób ze stopniem doktora habilitowanego, zajmujących stanowiska profesorów wyższych uczelni. Ponadto do klubu należy kilku nauczycieli, pracujących w szkołach podległych Ministerstwu Edukacji Narodowej. Kilku członków klubu przeszło już na emeryturę, ale nadal aktywnie uczestniczy w spotkaniach. Jeden z członków jest biznesmenem i kieruje własną firmą w branży turystycznej. Eksperymenty pokazowe wykorzystuje podczas działalności edukacyjnej, którą traktuje jako pracę społeczną i hobby. Na spotkaniach klubu bywają też i wykonują eksperymenty studenci fizyki oraz uczniowie liceów ogólnokształcących.

Klub ma własną stronę internetową, prowadzoną przez dra Tadeusza Molendę z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Szczecińskiego [3]. Strona zawiera m.in. listę członków z ich miejscami pracy i danymi do kontaktów. Bardzo użytecznym elementem strony są opisy 125 eksperymentów, które zostały wykonane przez uczestników dotychczasowych, corocznych spotkań klubu. Do opisów niektórych eksperymentów są dołączone fotografie i filmy.

Eksperymenty reprezentują zróżnicowany stopień zaawansowania i mogą być wykorzystane od szkoły podstawowej aż po wyższą uczelnię, Są więc ilościowe prezentacje zadziwiających efektów, np. silnik jednobiegunowy, zrobiony z aluminiowej puszki od napojów, wirującej nad baterią. Można też znaleźć tutaj eksperymenty ilościowe, wykonywanie przez studentów w tzw. Pierwszej Pracowni Fizycznej,

Przykładem takiego eksperymentu jest wyznaczanie stosunku ciepła właściwego gazu doskonałego przy stałym ciśnieniu c_p do jego ciepła właściwego przy stałej objętości c_v metodą Clementa i Desormesa. Ponadto na stronie są zamieszczone instrukcje przyrządów, spotykanych jak element wyposażenia szkolnych pracowni fizycznych. Strona zawiera także opisy wydarzeń poświęconych eksperymentom oraz popularyzacji fizyki. Ważnym uzupełnieniem opisów eksperymentów jest wykaz literatury, obejmujący 103 pozycje z informacjami o ich zawartości i możliwościach wykorzystania.

Stron klubu zawiera też wiele linków do stron producentów pomocy naukowych, Zakładów Dydaktyki Fizyki w wyższych uczelniach, a także odsyłacze do baz linków w Instytutach Fizyki i do zagranicznych serwerów, oferujących informacje o fizyce. Za pomocą podanych linków można również obejrzeć eksperymenty internetowe, symulacje komputerowe w dziedzinie fizyki, a ponadto skorzystać ze stron internetowych Oddziałów Polskiego Towarzystwa Fizycznego w innych uczelniach [4]. Zarówno bazy opisów eksperymentów, jak też linków są stale uzupełniane i rozwijane, ponieważ po każdym spotkaniu członkowie klubu przysyłają nowe materiały do zmieszczenia na stronie.

Najważniejszymi wydarzeniami w klubie są trzydniowe spotkania, w których bierze udział 40-60 osób. Spotkania odbywają się co roku w innym mieście akademickim w uczelniach, gdzie są zatrudnieni członkowie klubu, podejmujący się ich organizacji. Spotkania mają charakter kon-

eprasa.pl 3058c33e15

Prof. Wojciech Nawrocik

ferencji przeznaczonych na wykonywanie eksperymentów fizycznych przez ich uczestników i zwiedzanie laboratoriów fizycznych oraz innych placówek tzw. otwartej edukacji.

Podczas spotkania w Warszawie taką placówką było Centrum Nauki Kopernik, w Łodzi – Eksperymentarum i Planetarium w zespole budynków zabytkowej Elektrociepłowni EC-1, a w Krakowie – Ogród Doświadczeń im. Stanisława Lema w pobliżu starego lotniska na Czyżynach. Pierwsze spotkanie odbyło się Poznaniu w 2001 r. W niektórych miastach spotkania odbyły się trzy razy – w Poznaniu i Wrocławiu oraz dwukrotnie – w Krakowie, Lublinie i Toruniu. Spotkanie z okazji dziesięciolecia klubu miało miejsce w Ustroniu-Jaszowcu i było zorganizowane przez Pracownię Dydaktyki Fizyki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, którą kieruje prezes klubu dr Jerzy Jarosz.

Tegoroczne, jubileuszowe spotkanie zaplanowano w Poznaniu w dniach 16-18 czerwca. Miało się ono odbyć na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza oraz na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej. Sytuacja związana z pandemią covid-19 SARS spowodowała, że to spotkanie skrócono do jednego popołudnia w dniu 16 czerwca i przeprowadzono w formie zdalnej (e-spotkanie) na platformie komunikacji cyfrowej Zoom. Podczas dwóch sesji, poprowadzonych przez członków klubu z Poznania uczestnicy spotkania obejrzeli szereg interesujących eksperymentów i dyskutowali na ich temat. Ponieważ sesja miało charakter jubileuszowy, dużo uwagi poświecono wspomnieniom z działalności klubu i złożono serdeczne podziękowania inicjatorowi jego założenia, pof. dr hab. Wojciechowi Nawrocikowi – obecnie honorowemu prezesowi klubu.

Prof. Wojciech Nawrocik początkowo zajmował się fizyką dielektryków, a obecnie specjalizuje się w badaniu struktury i dynamiki kryształów molekularnych. Przez całe swoje życie zawodowe jest związany z Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, gdzie również ukończył studia na Wydziale Fizyki i Matematyki, a w latach 1993–1999 pełnił funkcję dziekana [5]. Był też członkiem szeregu zespołów doradczych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, m.in. Państwowej Komisji Akredytacyjnej oraz członkiem Zespołu Nauk Matematycznych, Fizycznych i Astronomii w Komitecie Badań Naukowych. Odbył staże w zagranicznych placówkach naukowych, m.in. w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych w Dubnej koło Moskwy, z którym współpracuje od 1970 r. W swoim rodzinnym mieście – Lesznie jest współzałożycielem i członkiem Leszczyńskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk. Bierze udział w organizowaniu licznych festiwali, pokazów naukowych i wydarzeń popularyzujących fizykę o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Fizycznego (od 2015 członkiem honorowym) oraz międzynarodowej sieci EUPEN (ang. European Physics Education Network), której działalność polega na monitorowaniu nauczania fizyki. W 2008 zdobył prestiżowy tytuł „Popularyzator nauki", w ogólnopolskim konkursie organizowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz serwis „Nauka w Polsce" Polskiej Agencji Prasowej, a ponadto w 2011 r. otrzymał Nagrodę Polskiego Towarzystwa Fizycznego im. Krzysztofa Ernsta za popularyzację fizyki oraz tytuł honorowego obywatela miasta Leszna. Na co dzień prof. Wojciech Nawrocik jest niezwykle życzliwym człowiekiem, chętnie udzielającym pomocy i rad młodszym fizykom, czego nie jeden raz doświadczył też autor niniejszej publikacji.

Ogólnopolski Klub Demonstratorów Fizyki ma swoje logo w postaci kosza z jabłkami, które, nawiązującymi do opowiadania o tym, że Isaac Newton wpadł na pomysł sformułowania prawa grawitacji, obserwując spadające jabłko (rys. 1). Tradycją klubu jest przekazywanie jabłka podczas zakończenia spotkania organizatorom spotkania, które ma odbyć się w roku następnym. Żeby zostać członkiem klubu należy wziąć czynny udział w dwóch spotkaniach, pokazując doświadczenia. Wśród uczestników spotkań i członków klubu mile widziani są nauczyciele, pracujący w szkołach. Członkowie klubu nie opłacają składek, jak to ma miejsce w wielu towarzystwach naukowych. Następne XXI spotkanie klubu jest planowane również w Poznaniu, a wszyscy członkowie mają nadzieje, że do tego czasu pandemia już minie i spotkanie odbędzie się w pełnej oraz bezpośredniej wersji.

Warto jeszcze dodać, że prof. Wojciech Nawrocik otrzymał szczególne wyróżnienie podczas XLVI Nadzwyczajnego Zjazdu Fizyków Polskich, który odbył się w dniach 16-18 października 2020 r. w Warszawie z okazji stulecia Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Jest to „Nagroda specjalna PTF za wybitne osiągnięcia w popularyzacji fizyki oraz organizację przedsięwzięć o charakterze międzynarodowym popularyzujących nauki przyrodnicze w Polsce".

Stanisław Bednarek
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Uniwersytetu Łódzkiego

LITERATURA

[1] S. Bednarek, Ogólnopolski Klub Demonstratorów Fizyki, „Foton, Czasopismo dla Nauczycieli Fizyki i ich Uczniów", Nr 106, Jesień, s. 59-60, 2009 r.
[2] S. Bednarek, IX Spotkanie Demonstratorów, „Postępy Fizyki, Czasopismo Naukowe Polskiego Towarzystwa Fizycznego Poświęcone Upowszechnianiu Wiedzy Fizycznej", Zeszyt 4, Tom 60, s. 169-170, 2009 r.
[3] http://www.demofiz.univ.szczecin.pl, (dostęp: 6.07 2020).
[4] http://www.demofiz.umcs.lublin.pl, (dostęp: 6.07 2020).
[5] https://www.nauka-polska.pl, (dostęp: 6.07 2020).

eprasa.pl 3058c33e15

Ziemia planeta wyjątkowa – cz. 13

Wnętrze Ziemi

W poprzednim numerze omawialiśmy, jak zdobywać wiedzę o wnętrzu naszej planety. Teraz czas na odpowiedź na pytanie jakie są wyniki tych badań? Niektóre z nich znamy z własnego doświadczenia, w innym przypadku wyniki te nie są już oczywiste. Trochę uprzedzając fakty możemy powiedzieć, że jak wszystkie planety, Ziemia ma złożoną wielowarstwową strukturę i jej przekrój przypomina cebulę.

Zbigniew **Wiśniewski**

Litosfera

Gdybyśmy usunęli warstwę gleb to pod tą warstwą znajdziemy „litą" skałę. Stąd nazwa litosfera, inaczej zwana skorupą. Czasami elementy tej skały przebijają się na powierzchnię w postaci kamieni lub gór. Struktura litosfery jest bardzo zróżnicowana. Ponieważ powierzchnia Ziemi dzieli się na lądy i oceny to nie powinno nas dziwić, że litosferę też możemy podzielić na litosferę lądową i oceaniczną, obie bardzo się od siebie różnią. Udział litosfery w ogólnej objętości Ziemi jest niewielki wynosi bowiem 2.4%. Udział w masie jest jeszcze mniejszy i wynosi 1.3%.

Trudno mówić o odkryciu litosfery. Jej istnienie jest oczywiste. Mniej oczywiste jest stwierdzenie, że nie rozciąga się ona do środka Ziemi. Za odkrywcę faktu, że pod litosferą znajduje się coś innego uważa się chorwackiego geofizyka, który w 1909 roku badając sejsmogramy powstałe po pewnym lokalnym trzęsieniu zarejestrowane w odległości 200 km od miejsca jego wystąpienia stwierdził, że sejsmograf zarejestrował nie jedną, lecz dwie paczki falowe. Jedna pochodziła bezpośrednio od miejsca trzęsienia ziemi. Druga zanim dotarła do sejsmografu odbiła się od jakiejś warstwy, tak jak czyni to promień światła w światłowodzie. Warstwę ta stanowi dolną granicę litosfery i górną granicę płaszcza i nosi nazwę strefy Moho.

Litosfera charakteryzuje się dużą twardością. Jest ona zbudowana głównie z tlenu i krzemu, a dokładnie z ich związków. 74% masy litosfery stanowią krzemiany. Jest znaczna różnica pomiędzy litosferą oceanów i kontynentów.

Badania wykazały, że litosfera ma bardzo zróżnicowaną strukturę. Po pierwsze jest ona popękana i podzielona na płyty posiadające pewną swobodę ruchu względem siebie. Strukturę płyt możemy sobie wyobrazić jako podobnych do kry na już prawie zamarzniętej rzece. Jest jedna istotna różnica. Otóż wszystkie kawałki kry są do siebie podobne. Nie jest tak w przypadku litosfery, gdzie mamy do czynieni z dwoma rodzajami kawałków kry. Jedne stanowią dno oceanów i są określane jako płyty oceaniczne a drugie stanowią budulec lądów. Te określamy mianem płyt kontynentalnych. Jednakże obraz, w którym płyty kontynentalne pokrywają się z tym co na mapie widzimy jako kontynenty jest przesadnie uproszczony. Otóż wody jest „za dużo" aby zmieściła się w granicach wyznaczonych przez płyty kontynentalne. Skutkiem tego część płyt kontynentalnych jest zalanych. Część zalana nosi nazwę szelfu kontynentalnego. Za nim znajduje się tzw. skłon kontynentalny będący granicą płyty kontynentalnej.

eprasa.pl 3058c33e15

Szerokość szelfu jest różna. W Europie rozciąga się na kilkaset kilometrów. Afryka prawie go nie posiada. Jeśli płyta kontynentalna jest cienka, to może zdarzyć się, że będzie całkowicie lub prawie całkowicie zalana. W takim przypadku będziemy mieli coś w rodzaju podwodnego kontynentu. Taki twór znajduje się w okolicach Australii. Jedynymi wystającymi obszarami tego kontynentu jest Nowa Zelandia i Nowa Kaledonia. To, co jest pomiędzy nimi stanowi zatopiony kontynent – geologiczną Atlantydę, lub jak w powieści Isabel Allende „podwodną wyspę".

Innym czynnikiem kształtującym wnętrze ziemi, w tym litosfery jest temperatura. Ludzie posiadający podpiwniczone domy lub tacy, którzy zwiedzali jakieś lochy wiedzą, że jest w nich zimno. Górnicy kopalń głębinowych stwierdziliby z kolei, że wnętrze Ziemi jest gorące. No cóż. Mieliby racje. Wraz z zagłębianiem się pod powierzchnie Ziemi obserwuje się no ogół wzrost temperatury.

Obserwując profil termiczny Ziemi możemy stwierdzić, że właśnie w litosferze następuje największy wzrost temperatury Ziemi. Pod tym względem Ziemia przypomina termos, gdzie stosunkowo cienka warstwa oddziela gorące wnętrze od chłodnego otoczenia. Tutaj wypadałoby postawić pytanie o źródło wysokiej temperatury wewnątrz ziemi. Pierwszym jest tzw. kolaps grawitacyjny. Jest on wynikiem tego, że nasza Ziemia cały czas zapada się do swojego środka. Drugim, o wiele ważniejszym jest rozpad pierwiastków radioaktywnych.

Inną cechą wnętrza Ziemi, a zwłaszcza litosfery jest duża zawartość wody. Tak naprawdę wody we wnętrzu ziemi jest dużo więcej niż w oceanach. Niektórzy naukowcy twierdzą, że właśnie obecność wody w litosferze na tyle zmodyfikowała właściwości litosfery, że umożliwiła tektonikę płyt.

Litosfera kontynentów

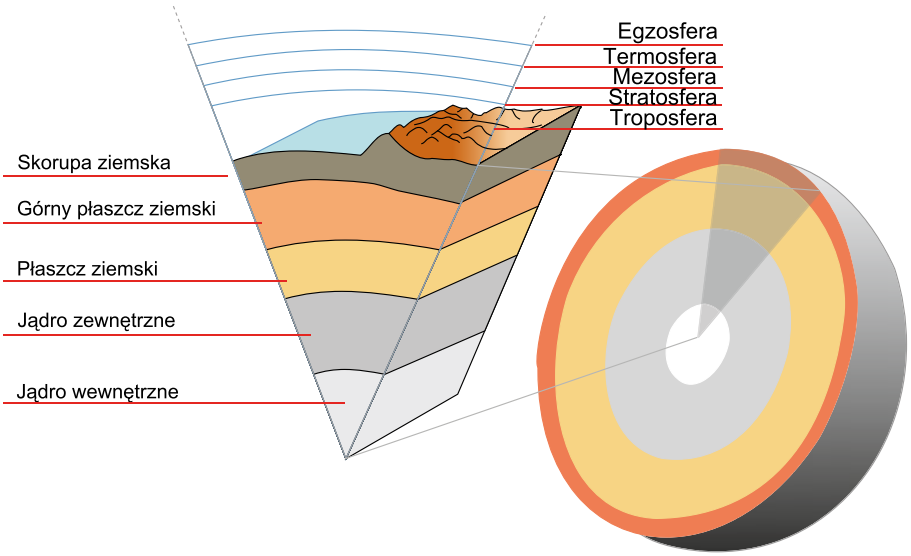
Litosfera kontynentów ma grubość 30-50 km. Największą grubość skorupa osiąga w rejonie Tybetu. Nie jest to dziwne. Po pierwsze Wyżyna Tybetańska i Himalaje powstały ze zderzenia dwóch stosunkowo masywnych płyt. Powstała w wyniku tego „strefa zgniotu" też musiała być okazała. Po drugie taka duża strefa zgniotu jest ciężka, więc po prostu zapada się w płaszcz. Płaszcz działa na litosferę siłą wyporu zgodnie z prawem Archimedesa i w którymś momencie ustala się równowaga.

Litosferę kontynentalną możemy podzielić na dwie warstwy zwane, mało oryginalnie, górną i dolną. Górna charakteryzuje się dużą ilością krzemianów. Główną tworzącą ją skałą jest granit. Dolna jest bogata w związki magnezu i żelaza, głównymi tworzącymi je skałami są bazalt, gabro i amfibolit. Granica między nimi została nazwana nieciągłością Konrada. Została wykryta w 1925 roku i jest ona mniej wyraźna niż strefa nieciągłość Moho. O ile nieciągłość Moho występuje wszędzie to nieciągłość Konrada jest raczej lokalna.

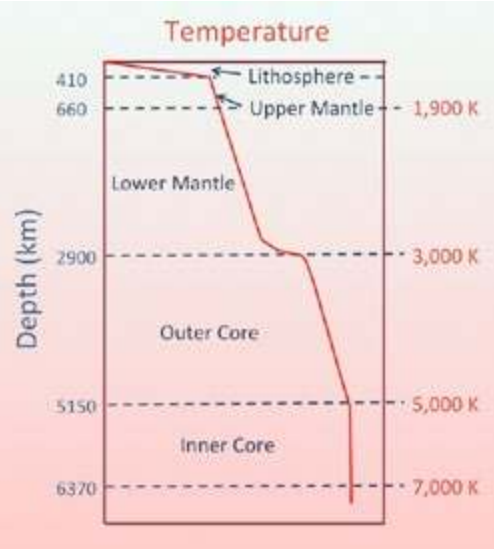
Ponieważ nie wszyscy jesteśmy geologami zatrzymajmy się na chwilę nad skałami tworzącymi litosferę kontynentów. Bazalt jest skałą wylewną, czyli skałą, która powstała z krystalizacji magmy w warunkach szybkiego chłodzenia. W wyniku tego proces rozrostu ziaren nie zdążył mieć miejsca i skała ta charakteryzuje się wieloma drobnymi ziarnami. Inaczej jest w przypadku gabro, gdzie krystalizacja zachodziła na dużych głębokościach, więc kryształy tworzących je minerałów są stosunkowo duże. Amfibolity z kolei są to skały, które powstały z przeobrażenia poprzednio wymienionych.

Litosfera oceaniczna

Litosfera oceaniczna różni się znacznie od litosfery kontynentalnej. Przeciętna grubość litosfery pod dnem oceanu to 7 km. Czyli znacznie mniej niż litosfery kontynentów. Grubość ta jest mniej zróżnicowana niż litosfery kontynentalnej i praktycznie nie zależy od przykrywającej ją warstwy wody. Litosferę oceanów stanowią leżące z wierzchu skały osadowe i położona głębiej warstwa bazaltu. Część skał osadowych ulega przekształceniom tworząc skały metamorficzne. Głównymi czynnikami



Rys 1. Struktura wewnętrza Ziemi.
Źródło: Wikipedia https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earth-crust-cutaway-polish.svg.



Rys. 2. Profil geotermiczny Ziemi.
Źródło https://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_gradient.

eprasa.pl 3058c33e15

Wyżyna Tybetańska i Himalaje powstały ze zderzenia dwóch stosunkowo masywnych płyt.

wywołującym przekształcenia są wysokie ciśnienia i oddziaływania chemiczne.

Litosfera oceaniczna jest też w ujęciu średnim dużo młodsza od kontynentalnej. O ile lądowe skały mogą mieć po kilka miliardów lat, to maksymalny wiek litosfery oceanicznej liczy 200 mln lat. Ten fakt z kolei związany jest z tektoniką płyt i zostanie omówiony dokładniej w rozdziale temu poświęconym. W tym miejscu powiemy jedynie, że w litosferze oceanicznej znajdują się specjalne, aktywne wulkanicznie strefy zwane ryftami, które cały czas rozpychają znajdującą się po obu ich stronach litosferę tworząc młode dno oceaniczne. Powstaje coś w rodzaju taśmy na taśmociągu. Drugim kołem taśmociągu są strefy zapadania się dna oceanicznego, gdzie litosfera pogrąża się w płaszczu. Takiego mechanizmu nie ma litosfera kontynentalna stąd różnica wieku.

W strukturze litosfery oceanicznej najczęściej wyróżnia się trzy warstwy charakteryzujące się różną prędkością rozchodzenia się fal dźwiękowych. Jeśli porównamy prędkość rozchodzenia się fal P to okaże się, że największy skok występuje pomiędzy warstwą najbardziej zewnętrzną (1.6-2.5 km/s) a warstwą środkową. Świadczy to o tym, że gęstość warstwy zewnętrznej jest znacznie mniejsza od warstwy środkowej. Warstwa zewnętrzna jest stosunkowo podatna na próbkowanie, co pozwoliło ustalić, że składa się głównie ze skał osadowych stosunkowo słabo zagęszczonych z dużą ilością porów. Przeciętna grubość zewnętrznej warstwy wynosi 0.4 km i rośnie z odległością od ryftów oceanicznych, co stanowi potwierdzenie przyjętego modelu dynamiki płyt oceanicznych.

Warstwa środkowa ma grubość od 1-2.5 km. Jest zbudowana głównie ze skał magmowych powstałych w wyniku działalności wulkanicznej ryftów. Jest ona znacznie mniej porowata niż warstwa zewnętrzna.

Warstwa najniższa ma również magmowe pochodzenie, podlega jednak silnym przekształceniom, wynikającym z sąsiedztwa płascza.

Płaszcz

Poniżej litosfery znajduje się płaszcz. Różni się on od skorupy składem chemicznym. Geofizycy mówią, że na granicy płaszcza i skorupy zachodzi skok, albo nieciągłość. Nieciągłość ta nosi nazwę nieciągłości Mohorovičicia – od imienia swojego odkrywcy. Ponieważ jednak dla większości Anglosasów wymówienie nazwiska chorwackiego geofizyka jest zadaniem zbyt trudnym, w literaturze pojawia się określenie nieciągłości Moho. Fale dźwiękowe po przejściu tej nieciągłości doznają nagłego przyśpieszenia o ok 2 km/s. Po tym fakcie możemy wnioskować, że płaszcz jest znacznie gęstszy niż skorupa. Płaszcz zajmuje prawie połowę objętości Ziemi i ma grubość ok 2900 km.

Głównym składnikiem budowy płaszcza są minerały zawierające dużą ilość magnezu i żelaza takie jak oliwiny $(Mg,Fe)_2SiO_4$ czy pirokseny $(Mg,Fe, Ca)\ SiO_3$. Zapis powyższy oznacza, że związki te mogą występować w różnych proporcjach. Czyli oliwinem będzie forsteryt Mg_2SiO_4 jak i jego żelazny odpowiednik fajalit Fe_2SiO_4.

Górny płaszcz ma grubość ok 400 km. Najbardziej rozpowszechnionym materiałem tworzącym górny płaszcz są oliwiny. Poza tym występują pirokseny i granaty. Nazwą pirokseny określa się związki o ogólnym wzorze $XY(Si,Al)_2O_6$, gdzie X i Y reprezentują odpowiednie jony. Granaty mają jeszcze bardziej złożony wzór: $[(Mg,Fe,Ca)_3Al_2Si_3O_{12}]$

Poniżej górnej części płaszcza znajduje się strefa przejściowa. Najwyższa jej część jest półpłynna i nosi nazwę astenosfery. Charakteryzuje się wysokim tłumieniem fal sejsmicznych, stosunkowo małą prędkością fal dźwiękowych i dużym gradientem tej prędkości. Inną cechą jest względnie wysoka przewodność elektryczna. Sama strefa przejściowa wykazuje też kilka drobniejszych nieciągłości. Płaszcz górny rozciąga się do 1000 km poniżej powierzchni Ziemi

Poniżej mamy już płaszcz dolny. Zasięg obejmowany przez płaszcz dolny zawiera się pomiędzy 1000 km

eprasa.pl 3058c33e15

a 2900 km poniżej powierzchni Ziemi. Zdecydowanie płynny. Jego głównym budulcem są minerały opisywane ogólnym wzorem $(Mg,Fe)SiO_3$. Na samym dnie warstwy dolnej znajduje się dziwny, nierówny obiekt zwany warstwą D. Warstwa ta wyglądem przypomina powierzchniowe góry.

Poniżej mamy jądro. Wyróżniamy tu znów dwie warstwy – jądro zewnętrzne i jądro wewnętrzne. Skład chemiczny obu jąder wydaje się być zbliżony, ale właściwości fizyczne są zgoła odmienne.

Ponieważ jądro zewnętrzne i litosfera zewnętrzna mają różne temperatury, występuje pomiędzy nimi transport ciepła. Różnica ta jest na tyle duża, a lepkość cieczy na tyle niska, że pojawia się zjawisko konwekcji. Konwekcja to transport ciepła wraz z transportem masy. Cieplejsza substancja unosi się do góry, aby tam się oziębić a potem opaść w dół. Na tej zasadzie działa centralne ogrzewanie. Zjawisko to można obserwować w laboratorium, jeśli pomiędzy dwoma płytami o różnej temperaturze umieścimy ciecz, jeśli różnica temperatur będzie odpowiednio wysoka a ciesz odpowiednio mało lepka pojawi się konwekcja. Dokładniej warunkiem powstania konwekcji jest odpowiednio wysoka liczba Rayleigha wyrażona wzorem:

$$R_a = \frac{\alpha g \rho \Delta T d^3}{\kappa \eta}$$

gdzie α – współczynnik rozszerzalności cieplnej, ρ – gęstość cieczy, d – grubość warstwy cieczy, w której zachodzi konwekcja lub wysokość komórki konwekcyjnej, κ – współczynnik dyfuzji temperaturowej, η – lepkość cieczy, ΔT – różnica temperatur..

Pomiędzy omawianymi płytami pojawi się komórka konwekcyjna. Dokładniejsza analiza prowadzi do wniosku, że w przypadku płaszcza ziemskiego konwekcja jest dwupiętrowa. Komórki konwekcyjne są ułożone jedna nad drugą.

Występowanie konwekcji jest zasadniczym zjawiskiem z punktu widzenia tektoniki płyt jak i pola magnetycznego. Zjawiskom tym poświęcimy kolejny artykuł z naszego cyklu.

Jedynymi wystającymi obszarami kontynentu podwodnego jest Nowa Zelandia i Nowa Kaledonia.

Jądro zewnętrzne

Wchodząc głębiej w strukturę Ziemi spotykamy kolejną nieciągłość określoną nieciągłością Gutenberga. Oddziela ona płaszcz od jadra zewnętrznego. Nieciągłość ta charakteryzuje się nieprzepuszczaniem fal S, a fale P gwałtownie zmniejszają swoją prędkość tak jakby ośrodek pod nią był ciekły. Na tej podstawie wyciągnięto wniosek, że jądro jest płynne.

Głównym składnikiem jądra zewnętrznego wydaje się być żelazo i nikiel z domieszkami takich pierwiastków jak siarka, tlen wodór czy węgiel. Obecność pierwiastków lekkich w żelazie powoduje obniżenie temperatury topnienia, czyli inaczej utrzymania jądra w stanie płynnym.

Jądro wewnętrzne

Wewnętrzne jądro Ziemi składa się z ciężkich metali. Podstawowym związkiem je tworzącym jest FeNi żelazo nikiel. Obserwacje sejsmiczne pozwoliły już w okolicach 1936 r. wysunąć przypuszczenie, że ma ono charakter ciała stałego. Ostatecznych dowodów na to, że jądro Ziemi ma charakter ciała stałego dostarczyły prace dwóch autorów, Freemana Gilberta i Adama Dziewońskiego. Miało to miejsce dopiero w 1971 roku. Warto tu wspomnieć, że niedawno zmarły Adam Dziewoński jest określany mianem najwybitniejszego polskiego sejsmologa.

Dodatkowo określono strukturę jądra. Struktura ta miałaby być olbrzymim ukierunkowanym polikryształem żelazo-niklowym (Hołdys 2008). Wyróżnioną osią wzdłuż, której ustawiałyby się ziarna tego polikryształu byłaby oś ziemska. Można to wykazać analizując prędkości fal sejsmicznych. Otóż fale wzdłuż osi ziemskiej rozchodzą się szybciej niż w kierunkach prostopadłych. Na granicach obu jąder temperatura jego wynosi 5700K a ciśnienie 330 GPa. Oczywiście wraz z wchodzeniem w głąb jądra zarówno temperatura jak i ciśnienie rosną. Tak że maksymalne ciśnienie w samym środku Ziemi to 360 GPa a temperatura może sięgać nawet 6000K.

Dokładne badania sejsmiczne wykazują, że jądro wewnętrzne nie jest jednorodną kulą metalu, ale wykazuje pewną strukturę. Jest zróżnicowane zarówno na powierzchni jak i wewnątrz. Wspomniany tu profesor Dziewoński sugerował nawet wyróżnienie trzeciego jądra. Szczególnej pestki, o promieniu 300 km. Propozycja ta wynikała, że na tej głębokości kierunek szybkiego rozchodzenia ulega zmianie i tym razem najszybciej rozchodzą się fale o kierunku nachylonym o 45° do osi ziemskiej. Jako ciekawostkę możemy podać, że jądro wewnętrzne Ziemi ma inną prędkość wirowania niż reszta naszej planety (Hołdys 2008).

LITERATURA

[1] L. Becker „Pod ostrzałem", Świat Nauki (2002) nr 5, p. 54.
[2] K. Botygin, G. Laughlin, A. Morbidelli „Porządek z chaosu" Świat Nauki (2016) nr 6. P. 28.
[3] R. M. Hazen. „Historia Ziemi od gwiezdnego pyłu do żyjącej planety" Pruszyński i S-ka 2012.
[4] A. Hołys „Tajemnicze trzecie jądro" Wiedza i Życie nr 6 p 22 (2008).
[5] A. Hołys „Ognisty glob" Wiedza i Życie nr 10 p. 43 (2018).
[6] K. Kożuchowski. „Meteorologia i Klimatologia" PWN Warszawa 2009.
[7] E. Stenz (1956) „Ziemia" PWN.

eprasa.pl 3058c33e15

Co w fizyce piszczy

Co przeżyje podróż na Marsa lub dalej

Pytanie czy ludzie są w stanie przeżyć podróż na Marsa pozostaje nadal bez odpowiedzi, przynajmniej bez twierdzącej odpowiedzi. Tymczasem jak wykazała japońska misja Tanpopo istnieją mikroorganizmy, które potrafią nie tylko przeżyć długotrwałą kosmiczną podróż w warunkach braku atmosfery, niskich temperatur, ale nawet po jej zakończeniu się rozmnażać. Jednym z takich jest D. radiodurans. Odkrycie to jest istotne z punktu widzenia pytania o możliwość samorzutnego rozprzestrzeniania się życia w kosmosie.

Źródło: Emanuel Ott, at al. Molecular repertoire of Deinococcus radiodurans after 1 year of exposure outside the International Space Station within the Tanpopo mission. Microbiome, 2020; 8 (1) DOI: 10.1186/s40168-020-00927-5

Ekstremalna planeta

Czasami kosmos wydawać się może niesamowicie nudnym miejscem. Kosmiczny podróżnik lecący poza granice naszego Układu Słonecznego mógłby się zanudzić na śmierć, choć na końcu podróży mogłyby go czekać ekstremalne doznania. Jednym z miejsc, które takie doznania oferują jest planeta K2-141b. Planeta ta krąży bardzo blisko swojej gwiazdy macierzystej, tak blisko, że ta była w stanie zatrzymać jej ruch obrotowy, tak iż ta jest stale zwrócona jednym końcem do swojej gwiazdy. Podobnie jak Ziemia zatrzymała Księżyc. Wskutek tego na jednej stronie planety jest zawsze dzień a na drugiej noc. Nasłoneczniona strona nagrzewa się do 3000 stopni, wskutek czego jej skały się topią i powstaje, głęboki na 100 km ocean lawy. Skały w tym rejonie nie tylko się topią, ale też i parują. W związku z powyższym powstaje dość dziwna atmosfera, zbudowana z ciężkich pierwiastków. W wyniku tego procesu na tej planecie padają często kamienne deszcze. Wieją też wiatry z prędkościami wielokrotnie przewyższającymi prędkość dźwięku.

Źródło; T. Giang Nguyen, at al.Modelling the atmosphere of lava planet K2-141b: implications for low and high resolution spectroscop. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2020 DOI: 10.1093/mnras/staa2487

W następnym numerze

Van Gogh i inni, czyli fizyka spotyka sztukę

Marta **Wacławczyk**, Zofia **Wacławczyk**

Fizyka i sztuka wydają się być zupełnie odmiennymi dziedzinami. Sztuka zazwyczaj kojarzy się z rozrywką, ma wywoływać u odbiorcy doznania emocjonalne. Fizyka natomiast jest nauką przyrodniczą, zajmującą się opisywaniem relacji między wielkościami fizycznymi za pomocą równań. Czy zatem fizyka może mieć coś wspólnego ze sztuką? To jedno z pytań, nad którymi zastanawialiśmy się podczas 24. Festiwalu Nauki na Wydziale Fizyki UW. W tym roku wszystkie spotkania festiwalowe odbywały się on-line.

I. PRENUMERATĘ NA 2021 ROK MOŻNA ZAMÓWIĆ BEZPOŚREDNIO U WYDAWCY

■ **Przez internet:** zakładka *Prenumerata 2021* na stronie www.aspress.com.pl i wypełniając formularz zamówienia na podstronie prenumeraty
■ **e-mailem:** szewczyk24@gmail.com ■ **telefonicznie:** 606 201 244 ■ **listownie:** Agencja AS Józef Szewczyk, ul. Warchałowskiego 2/58, 02-776 Warszawa

Prenumerata 2021

Cena prenumeraty w 2021 roku				
Tytuł	Liczba wydań (I i II półrocze)	Cena egzemplarzowa	Cena prenumeraty rocznej	Cena prenumeraty w II półroczu
Dwumiesięczniki				
Chemia w Szkole	6 (3+3)	30,00	180,00	90,00
Geografia w Szkole	6 (3+3)	30,00	180,00	90,00
Fizyka w Szkole z Astronomią	6 (3+3)	30,00	180,00	90,00
Wiadomości Historyczne z WOS	6 (3+3)	30,00	180,00	90,00

Zamów prenumeratę przez Internet
www.aspress.com.pl/prenumerata-2021/

II. PRENUMERATA DOSTARCZANA PRZEZ FIRMY KOLPORTERSKIE:

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

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

eprasa.pl 3058c33e15

Nowość 2020!

- 380 zadań, doświadczeń, testów
- 9 bloków tematycznych
- Rozwiązania i wskazówki!

Wydanie specjalne
w wersji elektronicznej
(plik PDF)

Tylko 15 zł

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

eprasa.pl 3058c33e15

INFORMUJĄ • POMAGAJĄ • INSPIRUJĄ!

PRENUMERATA 2021

Dziękujemy wszystkim, którzy opłacili już prenumeratę!

Prenumeratę można przedłużyć lub zamówić także teraz!

Zadzwońcie **606 201 244**, napiszcie maila **szewczyk24@gmail.com**

Wypełnijcie i wyślijcie formularz zamówienia ze strony

www.aspress.com.pl/prenumerata-2021/

Przekonajcie się, że nie wszystko jest w Internecie!

eprasa.pl 3058c33e15