FIZYKA
w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

396 (LXV) indeks 35810X **Nr 1 styczeń/luty 2025** CENA 50,00 zł (w tym 8% VAT)

LEWITACJA MAGNETYCZNA
Jak unieść ciało bez wspomagania fizycznego?

PROSTE EKSPERYMENTY DYDAKTYCZNE
Miś ekwilibrysta

FIZYCZNA EWOLUCJA GWIAZD
Droga ku czarnej dziurze

Żywoty fizyków
HANS CHRISTIAN OERSTED

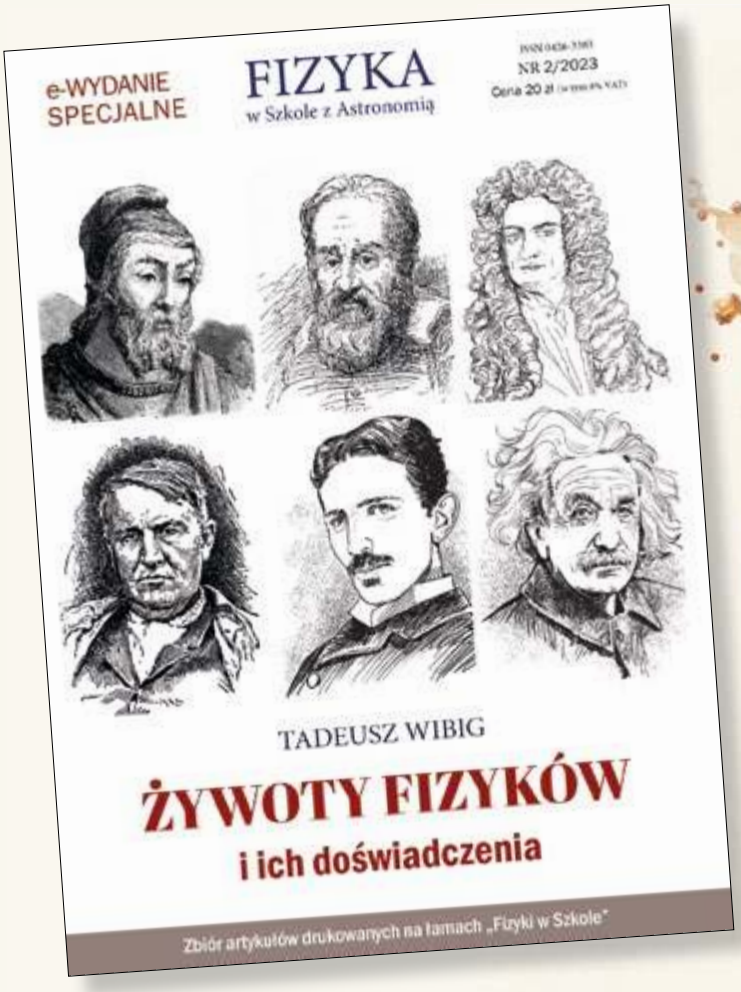
ENERGIA PADAJĄCEGO DESZCZU
Polemika o zadaniach

Biofizyka kontra legendy

ISSN 0426-3383
9 770426 338506 02

eprasa.pl 189e207405

Wielcy fizycy
i ich doświadczenia



- ✓ **Od Archimedesa po Einsteina**
- ✓ **Najważniejsze odkrycia**
- ✓ **27 wybitnych postaci**

Cena
20 zł
(w tym 8% VAT)

WYDANIE SPECJALNE *FIZYKI W SZKOLE*
W WERSJI ELEKTRONICZNEJ – PLIK PDF

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

eprasa.pl 189a207405

Drodzy Czytelnicy!

Serdecznie witamy w Nowym 2025 roku. Okres po Nowym Roku charakteryzuje się długimi, choć już coraz krótszymi nocami. Swego czasu długie noce sprzyjały zbieraniu się całej rodziny razem. Podczas takich spotkań najbardziej elokwentni snuli przeróżne opowieści. Czasami były to opowieści prawdziwe, czasami mniej lub bardziej wymyślone. W końcu nie o prawdę w nich chodziło, lecz o to, aby ich słuchano. Niestety, z czasem zapominano o ich pochodzeniu i urastały one do rangi mitów, które stanowiły pewnego rodzaju mądrość ludową. Co ciekawe obecnie takie opowieści powstają też i obecnie. Przykładem takich opowieści może być mit o szkodliwości tomografii komputerowej.

Tomasz Kubiak postanowił się rozprawić z wieloma z nich w swoim artykule o kategorycznym tytule „Obalamy mity, czyli biofizyka kontra legendy miejskie". Na ile mu się to udało zostawiamy do oceny czytelnikowi.

Długie zimowe wieczory to też czas, w który można spędzić na zabawie. Dobrze, aby ta zabawa była twórcza i jednocześnie rozbudzała zainteresowanie fizyką, zgodnie z mottem „nauka przez zabawę". Kilka pomysłów na zabawki edukacyjne znajdziemy w artykule Grzegorza Karwasza „Miś ekwilibrysta". Jeśli po wykonani takich zabawek dziecko zada swoje ulubione pytanie – „a dlaczego?" – będziemy mieli okazję, aby zaznajomić go z dużą częścią statyki i dynamiki.

W tym numerze znajdą Państwo też sporą dawkę astrofizyki. Przede wszystkim znajduje się artykuł Marcina Wesołowskiego, „Fizyczna ewolucja gwiazd". Jest też artykuł o pewnym niegdyś słynnym meteorycie marsjańskim.

Kończąc jeszcze raz życzę wszystkim Czytelnikom Szczęśliwego Nowego Roku!

Zbigniew Wiśniewski

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

4 **Obalamy mity, czyli biofizyka kontra legendy miejskie** ▮ Tomasz Kubiak

Intensywny rozwój środków komunikacji, częsta anonimowość treści prezentowanych w sieci oraz brak wskazania rzetelnych źródeł informacji sprzyjają propagowaniu wiadomości zgoła fałszywych.

12 **Nie zawsze entropia** ▮ Maciej Panczykowski

14 **Lewitacja magnetyczna** ▮ Sebastian Parzych

Lewitacja magnetyczna to fascynujące zjawisko, które pozwala na uniesienie ciała w powietrzu bez fizycznego wspomagania.

19 **Leon N. Cooper – teoretyk nadprzewodnictwa, artysta, fizyk i neurobiolog** ▮ Kazimierz Mikulski

22 **Żywoty fizyków – Hans Christian Oersted** ▮ Tadeusz Wibig

Z naszych lekcji

25 **Fizyka...Klimat...Człowiek... (miniatura dydaktyczna)** ▮ Waldemar Reńda

30 **W co się bawić? 1. Miś ekwilibrysta** ▮ Grzegorz Karwasz

W publikacjach naukowych staramy się zastępować słowo zabawki przez PED – proste eksponaty dydaktyczne.

36 **Powtórz, utrwal, poszerz wiedzę. Zadania z fizyki. Cz. 4.** ▮ Waldemar Reńda

38 **CREDO-Maze: Całkiem niezłe dobrego początki** ▮ Tadeusz Wibig

Trzy lata temu uzyskaliśmy niezbędne środki z budżetu Państwa i mogliśmy zacząć serio myśleć o tym, jak fizycznie wprowadzić fizykę z najwyższej półki pod strzechy polskich szkół.

Astronomia dla każdego

42 **40 rocznica znalezienia meteorytu ALH 840011** ▮ Krzysztof Kowalczyk

44 **Fizyczna ewolucja gwiazd** ▮ Marcin Wesołowski

Okiem nieuzbrojonym możemy zaobserwować około 6000 gwiazd na obu półkulach ziemskich ze znanych około 20 milionów gwiazd, które należą do naszej galaktyki.

FIZYKA w Szkole z Astronomią
CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI
NUMER 1 STYCZEŃ/LUTY 2025
396 (LXV) indeks 35810X ISSN 0426-3383
CENA 50,00 zł (w tym 8% VAT)

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/, 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: Dreamstime

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

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

Foto – Dreamstime

Obalamy mity,
czyli biofizyka kontra legendy miejskie

Powszechny dostęp do edukacji, rozbudowane działania popularyzatorskie skierowane do szerokiego ogółu społeczeństwa czy też coraz większa promocja osiągnięć naukowców dokonujących spektakularnych odkryć w zakresie nauk przyrodniczych wydają się sprzyjać pogłębianiu wiedzy na temat funkcjonowania otaczającego nas świata. Z drugiej strony można zaobserwować, iż intensywny rozwój środków komunikacji, częsta anonimowość treści prezentowanych w sieci oraz brak wskazania rzetelnych źródeł informacji sprzyjają propagowaniu wiadomości zgoła fałszywych.

Tomasz **Kubiak**

Często nawet dziennikarze, będący na bakier z wiedzą przyrodniczą, ale goniący za sensacją, opatrują swe artykuły chwytliwymi tytułami lub nagłówkami przesadnie wyolbrzymiającymi przedstawiany temat. Takie zjawisko, nazywane z języka angielskiego „clickbait", spotykamy nadzwyczaj często w przypadku wzmianek prasowych o promieniowaniu jonizującym. Radiofobiczne[1] artykuły zalewają wręcz Internet, siejąc zamęt w umysłach czytelników.

Brak fachowej weryfikacji prezentowanych treści, powielanie oraz rozpowszechniane pozornie prawdopodobnych informacji w mediach społecznościowych a nawet zwyczajne plotki sprawiają, że w społeczeństwie krążą różnorodne mity oraz tzw. legendy miejskie. Historie te budują niepokój i wywołują emocje. Sprawdzają się zatem słowa amerykańskiej pisarki Aleathy Romig „*Boimy się tego, czego nie znamy. Jeśli coś jest skryte pod zasłoną ciemności i niepewności, jest tajemnicą*". Spróbujmy zatem, posługując się wiedzą z biofizyki, obalić kilka popularnych mitów i wyjaśnić, dlaczego nie mają one żadnego sensu z punktu widzenia współczesnej nauki.

Mit 1: radioaktywne grzyby w polskich lasach

Legenda miejska o rzekomo radioaktywnych grzybach, zbieranych podczas wypraw do lasu, jest szczególnie popularna w krajach Europy środkowo-wschodniej i należy do tzw. mitów czarnobylskich.[2] W skrócie można powiedzieć, iż są osoby, które wierzą, że spożycie borowików czy prawdziwków stanowi realne zagrożenie, np. może przyczynić się do rozwoju raka. Ma to mieć związek z rzekomym nadmiernym narażeniem na promieniowanie jonizujące, emitowane przez izotopy zaabsorbowane przez wspomniane grzyby w wyniku antropogenicznych uwolnień radioaktywnych, przede wszystkim awarii elektrowni jądrowej w Czarnobylu.

[1] Radiofobia to paniczny, irracjonalny strach przed promieniowaniem jonizującym pochodzenia antropogenicznego.
[2] Należy jednak zauważyć, iż w ostatnich latach historia uległa globalizacji i w sieci możemy poczytać m.in. o „radioaktywnych grzybach z Fukushimy".

eprasa.pl 189a207405

Faktem jest, że na skutek katastrofy z 26 IV 1986 r. do atmosfery przedostały się określone ilości izotopów promieniotwórczych m.in. ^{131}I ($260 \cdot 10^{15}$ Bq), ^{134}Cs ($19 \cdot 10^{15}$ Bq), ^{137}Cs ($38 \cdot 10^{15}$ Bq) czy ^{133}Xe ($1700 \cdot 10^{15}$ Bq).[3] Na pierwszy rzut oka ilości te wydają się olbrzymie. Dla porównania specjaliści wskazują jednak, iż naturalna, roczna emisja alfa-promieniotwórczego ^{222}Rn do atmosfery wynosi $33000 \cdot 10^{15}$ Bq, czyli jest o rząd wielkości większa niż sumaryczna emisja wszystkich izotopów na skutek nieszczęsnej awarii w ukraińskiej elektrowni.

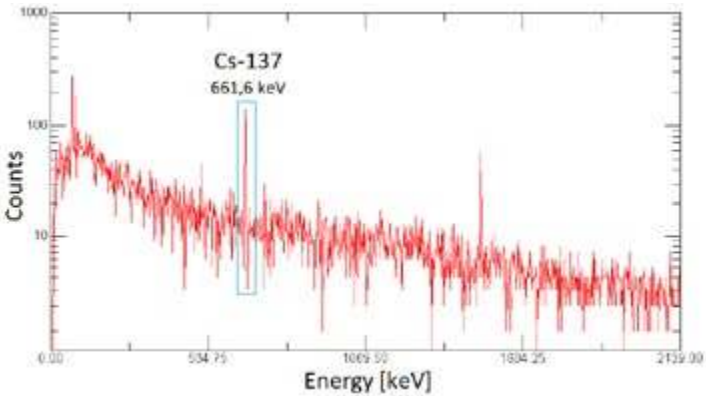
W tym miejscu warto przypomnieć, iż radon to cięższy od powietrza, bezwonny gaz szlachetny, który powstaje w przyrodzie w wyniku rozpadu radu i często gromadzi się w słabo wentylowanych pomieszczeniach, np. piwnicach naszych domów.[4] Promieniowanie tła nie wywołuje jednak w społeczeństwie lęków, w przeciwieństwie do promieniowania emitowanego na skutek działalności człowieka, np. w wyniku funkcjonowania energetyki jądrowej czy produkcji radioizotopów wykorzystywanych w medycynie nuklearnej.[5]

Ludziom wciąż brakuje świadomości, iż w przypadku normalnej pracy reaktorów, nawet dla osób mieszkających w ich pobliżu, średnia roczna efektywna dawka indywidualna nie przekracza 0,02 mSv. Jest zatem znacznie mniejsza od średniej światowej rocznej dawki ze źródeł naturalnych ≈ 2,4 mSv.

Wbrew pozorom minimalna jest również średnia roczna globalna dawka pochodząca od radionuklidów rozproszonych w wyniku awarii w Czarnobylu, gdyż wynosi tylko około 0,002 mSv. W pamiętnym 1986 roku na półkuli północnej było to przeciętnie 0,04 mSv.[6] Dla porządku dodajmy jeszcze, iż dla ogółu ludności w myśl obecnie obowiązujących przepisów polskiego prawa dawka graniczna (dawka skuteczna, której nie można ustawowo przekroczyć) wynosi 1 mSv w ciągu roku kalendarzowego.[7]

Wróćmy jednak do grzybów i odpowiedzi na pytanie, czy rzeczywiście wykazują znacznie podwyższoną aktywność promieniotwórczą? Autor niniejszego artykułu w ramach międzynarodowych warsztatów brał udział w eksperymentach, które pozwoliły jednoznacznie rozprawić się z tym mitem. Dzięki zastosowaniu detektora germanowego ustalono wówczas m.in. aktywność promieniotwórczą ^{137}Cs z próbek rożnych grzybów uzbieranych w polskich lasach.

Przykładowy rezultat pomiaru metodą spektrometrii promieniowania gamma dla borowika zebranego w Borach Tucholskich przedstawia rys. 1. Analiza wyników pokazała, iż



Rys. 1. *Widmo borowika z Borów Tucholskich zarejestrowane z wykorzystaniem spektrometru promieniowania γ z detektorem germanowym. Zaznaczono pik od ^{137}Cs.*

Fot. 1. *Grzyby zbierane w polskich lasach i dostępne w sprzedaży nie stanowią żadnego zagrożenia radiacyjnego.*

dawkę skuteczną rzędu 1 mSv otrzymalibyśmy dopiero po spożyciu około 523 kg maślaków albo 440 kg borowików szlachetnych (co ciekawe, dla borowików z rejonu Borów Tucholskich byłoby to 308 kg).[8] Zjedzenie (a nawet zakupienie) takich ilości grzybów w ciągu roku przez pojedynczą osobę wydaje się nieprawdopodobne. Opowieści o szkodliwości promieniotwórczej zjadanych na obiad grzybów (Fot. 1) można więc śmiało włożyć między bajki.

Mit 2: szkodliwa tomografia komputerowa

Tomografia komputerowa (CT od *ang. computed tomography*) to jedna z najlepszych metod diagnostycznych służących do wizualizacji szczegółów anatomicznych ludzkiego ciała. Technika ta wykorzystuje różnice w pochłanianiu

[3] Tabelę ze szczegółowymi danymi dotyczącymi emisji radionuklidów podczas awarii reaktora w Czarnobylu znaleźć można w opracowaniu: W. Trojanowski, L. Dobrzyński, E. Droste, A. Strupczewski, W 20-tą rocznicę awarii czarnobylskiej elektrowni jądrowej, NCBJ, Otwock-Świerk 2006: http://ncbj.edu.pl/zasoby/awarie/20_rocznica_czarnobyla.pdf (dostęp z 26.09.2024).

[4] Średnia roczna dawka efektywna od ^{222}Rn i krótkożyciowych produktów jego rozpadu to około 1,2 mSv.

[5] Informacje o wpływie różnych rodzajów promieniowania na organizm człowieka, problemie radiofobii a także ciekawych zastosowaniach promieniowania jonizującego w medycynie znaleźć można w tekście: T. Kubiak, Od naturalnej promieniotwórczości do medycyny nuklearnej. Człowiek a promieniowanie jonizujące, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 5 (2020), s. 4-11.

[6] Wartości dawek na podstawie raportu UNSCEAR 2008 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), Sources and effects of ionizing radiation, New York, 2010, table 1, s. 4 (https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_GA-Report-CORR.pdf), dostęp: 9.10.2024

[7] Ustawa Prawo atomowe, tekst jednolity z 10 lipca 2024 r. Dz. U. 2024 poz. 1277. (https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20240001277; dostęp: 16.10.2024).

[8] Dane na podstawie: T. Kubiak, A. Cesur, A. A. Velazquez, A. Trzcińska, Measurements of activity of biological samples. Low-background γ ray spectroscopy, Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów, Warszawa 2012 (raport z eksperymentu).

eprasa.pl 189a207405

promieniowania rentgenowskiego przez poszczególne typy tkanek, przy czym ciało pacjenta obrazowane jest warstwami. Te cienkie, poprzeczne przekroje rejestrowane są w płaszczyźnie prostopadłej do długiej osi ciała.

Oczywiście zastosowanie skomplikowanych algorytmów komputerowych pozwala dodatkowo przeprowadzać rekonstrukcje w dowolnie wybranej płaszczyźnie, tworzyć wirtualne dysekcje czy też obrazy trójwymiarowe.[9]

Fantastyczne możliwości współczesnych tomografów (Fot. 2) powinny być jak najszerzej wykorzystywane już na etapie przyjmowania pacjenta do szpitala. Sprawna oraz dogłębna diagnostyka umożliwia bowiem podjęcie skutecznej terapii a w konsekwencji ocalenie życia i zdrowia chorego.

Dlaczego zatem nie zawsze się tak dzieje? Jedną z przyczyn jest tkwiący w umysłach wielu ludzi groźny mit o rzekomo dużych dawkach promieniowania, na jakie mają być narażeni uczestnicy badania. Wynika on z zaszłości historycznych.[10] Jeszcze w pierwszej dekadzie XXI wieku w polskich szpitalach spotkać można było bowiem przestarzałe tomografy, pracujące w technologii sekwencyjnej. W skrócie polegała ona na tym, że wybrany rejon ciała skanowano po kolei warstwa po warstwie. Przy pełnym obrocie lampy rentgenowskiej wokół chorego rejestrowano zatem maksymalnie jeden przekrój o zadanej grubości a następnie stół z pacjentem przesuwano i procedurę powtarzano dla kolejnej warstwy.

Nietrudno domyślić się, że w tamtych czasach skuteczne dawki promieniowania rzeczywiście były stosunkowo duże, sięgając w przypadku badania okolic miednicy 10-20 mSv.[11] Wkrótce do praktyki klinicznej wprowadzono jednak tomografy spiralne. W tej technologii akwizycja obrazów odbywa się przy jednoczesnym ruchu obrotowym lampy rentgenowskiej wokół badanego i ciągłym przesuwie stołu wewnątrz otworu gantry. Tor poruszania się układu projekcyjnego względem obiektu wyznacza zatem spiralę.

Postęp w zakresie tomografii spiralnej w ostatnich kilkunastu latach jest ogromny. Wprowadzone innowacje nastawione są przede wszystkim na skrócenie czasu skanowania, ograniczenie dawki oraz poprawę jakości obrazowania tkanek miękkich. Wspomnijmy tylko, że we współczesnych wielorzędowych urządzeniach montowany jest zestaw nawet 320 sąsiadujących ze sobą łuków detektorów, co pozwala na odtworzenie 640 przekrojów przy jednym obrocie lampy trwającym około 0,24 s.[12]

Fot. 2. *Wielorzędowy rentgenowski tomograf komputerowy.*

Dodatkowo w nowoczesnych skanerach CT implementuje się także specjalne systemy zarządzania i redukcji dawki. Ogromnym przełomem okazało się również wprowadzenie na rynek w ostatnich latach nowego typu tomografów, pracujących w trybie zliczania fotonów (*ang. photon-counting computed tomography*). Zamiast tradycyjnych scyntylatorów montuje się w nich specjalne detektory na bazie półprzewodnikowych kryształów tellurku kadmu, umożliwiających bezpośrednią detekcję kwantów promieniowania X i wygenerowanie odpowiadającego im sygnału elektrycznego. Dzięki temu poprawie uległa rozdzielczość przestrzenna badań, ograniczono szum, polepszono kontrast obrazów oraz ponownie obniżono dawkę, jaką otrzymuje pacjent.

W kwestii ostatniego z wymienionych ulepszeń najlepiej posłużyć się aktualnymi przykładami z literatury naukowej: obrazowanie serca +angiografia tętnic wieńcowych: 0,5 - 1,4 mSv;[13] CT płuc (+angiografia w diagnostyce ostrej zatorowości płucnej): 1,4 mSv;[14] badanie klatki piersiowej u pacjentów pediatrycznych: 0,19 mSv;[15]

[9] Fizyczne podstawy tomografii rentgenowskiej opisano bardziej szczegółowo w artykule: Tomasz Kubiak, Tomografia komputerowa, Fizyka w Szkole nr 1 (2014), s. 7- 10.

[10] Prototyp klinicznie użytecznego tomografu został zbudowany już w 1971 r. przez późniejszego laureata Nagrody Nobla z 1979 roku Godfreya Newbolda Hounsfielda.

[11] Należy pamiętać, że dawka skuteczna na całe ciało zależała również od zastosowanych parametrów skanowania i anatomii pacjenta. Dawki dla historycznych tomografów rentgenowskich znaleźć można w archiwalnym już artykule: A.G. Pitman i inni, Radiation dose in computed tomography of the pelvis: Comparison of helical and axial scanning, Australasian Radiology 41 (1997), 329-335.

[12] Podany przykład odnosi się do japońskiego tomografu Aquilion ONE / INSIGHT: https://global.medical.canon/products/computed-tomography/aq-one--insight (dostęp z 3.10.2024).

[13] Na podst. T. Flohr i inni, Cardiac imaging with photon counting CT, Br. J. Radiol. 96 (2023), 20230407.

[14] Na podst. P. Pannenbecker, Photon-counting CT for diagnosis of acute pulmonary embolism: potential for contrast medium and radiation dose reduction, European Radiology 33 (2023), 7830–7839.

[15] Na podst. I. Tsiflikas i inni, Low dose pediatric chest computed tomography on a photon counting detector system - initial clinical experience, Pediatric Radiology 53 (2023), 1057-1062.

eprasa.pl 189a207405

CT kręgosłupa szyjnego 1,33 mSv oraz lędźwiowego 2,04 mSv.[16] Przykłady oczywiście można mnożyć, nie mniej jednak warto odnieść je do dawek skutecznych, które otrzymujemy ze wszystkich źródeł naturalnych w środowisku. W Polsce jest to 2,55 mSv w ciągu roku[17], ale w innych rejonach świata wartości mogą być znacznie większe, np. w mieście Ramsar w Iranie 260 mSv/rok.

Czytelnicy „Fizyki w Szkole" zastanawiają się zapewne, co jest przyczyną powielania współcześnie zupełnie, jak już wiemy, nieprawdziwych mitów o rzekomo wysokich dawkach promieniowania otrzymywanych w badaniu tomograficznym? Odpowiedź wydaje się prosta - brak elementarnej wiedzy o postępie i innowacjach technologicznych. Niestety, duża liczba autorów wciąż bezrefleksyjnie powiela stare, nieaktualne już dane z kilkunastoletnich a nawet starszych publikacji.

Dodatkowo sporo osób, czasami także lekarzy oraz diagnostów, zamiast na bieżąco aktualizować swą wiedzę, bazuje na dawno przebrzmiałych informacjach zdobytych na ukończonych wiele lat temu studiach. Trudno bowiem podejrzewać, że niektórzy medycy, opierając się na powszechnej w społeczeństwie radiofobii, celowo wprowadzają pacjentów w błąd, aby zaoszczędzić na stosunkowo kosztownym badaniu tomograficznym.

Mit 3: złowróżbny czarny kot i jego „świecące" ślepia

Czarny kot w wielu kulturach świata od wieków pozostaje bohaterem mitów oraz negatywnych przesądów. W niniejszym artykule nie będziemy wnikać oczywiście w ich kulturowe czy socjologiczne podłoże. Skupimy się natomiast na aspektach biofizycznych, które, przy braku elementarnej wiedzy u obserwatorów, mogą potęgować lęk, szczególnie gdy zwierzę widziane jest po zapadnięciu zmroku.

Zacznijmy od przytoczenia ludowego porzekadła, mówiącego: „w nocy wszystkie koty są czarne". Z jednej strony wiemy, iż nawet koty jednolicie umaszczone mogą być kruczoczarne, szaro-czarne, brązowo-czarne lub szare, z drugiej strony zdajemy sobie sprawę, że w ciemności rzeczywiście nie sposób określić dokładnie barwy ich futra. Żeby zrozumieć ten ostatni fakt, musimy odwołać się do biofizycznych podstaw działania naszego układu wzrokowego.[18]

Promienie światła po przejściu przez układ optyczny oka padają na siatkówkę. Tam właśnie znajdują się receptory wzrokowe, które (przy wsparciu innych wyspecjalizowanych komórek) odbierają bodźce świetlne oraz zamieniają je na impulsy elektryczne. W widzeniu dziennym (fotopowym) oraz przy dobrym oświetleniu pracują trzy rodzaje czopków (cyjanolaby, chlorolaby, erytrolaby), co pozwala nam rozróżniać barwy obiektów znajdujących się w otoczeniu.[19]

Czarny kot w swoim futrze posiada ciemny pigment, czyli eumelaninę, efektywnie pochłaniającą promieniowanie elektromagnetyczne w szerokim zakresie długości fal. Skoro większość światła padającego na zwierzę jest absorbowana, nie może ulec odbiciu lub rozproszeniu i trafić do naszych oczu. Rejestrowanym wrażeniem barwnym jest zatem czerń.

Z kolei po zmierzchu, przy niedostatecznym oświetleniu funkcję detektorów promieniowania z zakresu widzialnego przejmują pręciki. W widzeniu nocnym (skotopowym) nie odróżniamy jednak kolorów. Rzeczywistość postrzegamy w skali szarości niczym w czarno-białym filmie, rozpoznajemy kontury obiektów, zauważamy ruch, ale ostrość widzenia jest słaba, a ponadto potrzebujemy trochę czasu (około 5 minut), aby nasze oczy zaadoptowały się do ciemności, gdy np. z oświetlonego domu wyszliśmy na ciemną ulicę. W takich warunkach rzeczywiście ciężko jest odróżnić prawdziwe umaszczenie kota i najłatwiej zakwalifikować go jako czarnego.

Fot. 3. *Kocie ślepia, dzięki błonie odblaskowej, która odbija światło, wydają się świecić w ciemności. Barwa zwierzęcia przy widzeniu nocnym (pręcikowym) jest trudna do ustalenia przez obserwatora.*

[16] Na podst. A. Rau i inni, Photon-Counting Computed Tomography (PC-CT) of the spine: impact on diagnostic confidence and radiation dose, European Radiology 33 (2023), 5578–5586.

[17] Na podst. Raport roczny. Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2023 roku, Warszawa 2024, s.56 (https://www.gov.pl/web/paa/raport-roczny-prezesa-paa, dostęp z 4.10.2024).

[18] Wszystkim zainteresowanym tematem polecam artykuł: T. Kubiak, Od biofizyki układu wzrokowego do złudzeń optycznych, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 6 (2019), s. 4-10.

[19] Cyjanolaby posiadają największą czułość dla $\lambda \approx 430$ nm (odbiór barwy niebieskiej), chlorolaby mają największą wrażliwość dla fali $\lambda \approx 540$ nm (światło zielone), natomiast erytrolaby są odpowiedzialne m.in. za percepcję barwy czerwonej (aczkolwiek ich maksymalna czułość przypada dla $\lambda \approx 590$ nm). Sposób widzenia kolorów odpowiada zatem systemowi RGB. Wrażenie czerni związane jest z brakiem promieniowania z zakresu widzialnego w danym obszarze albo jego całkowitym pochłonięciem przez jakieś ciało.

eprasa.pl 189a207405

Z doświadczenia wiemy, że w nocy najłatwiej dostrzec kocie ślepia, które wydają się „świecić” w ciemności (Fot. 3). Zjawisko to nie powinno jednak wywoływać u nas lęku. Zwierzęta aktywne nocą posiadają bowiem, zlokalizowaną tuż za siatkówką, błonę odblaskową (*tapetum lucidum*). Odbija ona światło, aby mogło być w sposób wydajniejszy rejestrowane przez fotoreceptory (detekcji poddawane jest zatem nie tylko światło docierające z zewnątrz, ale również to odbite od tapetum lucidum).

Co ciekawe, morfologia błony odblaskowej kota domowego została zbadana przez naukowców już na przełomie lat 80. i 90. XX w. przy pomocy mikroskopu elektronowego. Ustalono wówczas, iż ma ona charakter *tapetum lucidum cellulosum*, znajduje się w naczyniówce oka i w najgrubszej części składa się z 15-20 warstw spłaszczonych, wielokątnych komórek.

Opisano też oczywiście szczegółowo budowę całej struktury zarówno w sposób jakościowy jak i ilościowy, zainteresowanych szczegółami odsyłam do artykułu źródłowego.[20] Jak widać „świecące” w ciemności oczy kota nie są niczym nadnaturalnym, a jedynie rezultatem odbicia światła (pochodzącego z latarni a nawet blasku księżyca) od błony odblaskowej. Stanowią zatem dowód na doskonałe przystosowanie tego zwierzęcia do nocnego trybu życia.

Mit 4: nietoperze wkręcające się we włosy

Nietoperze to latające ssaki, które fascynują wielu miłośników przyrody. Niestety w społeczeństwie, szczególnie wśród osób niewykształconych, krąży na ich temat wiele niepochlebnych mitów. Jeden z nich wywodzi się z dawnych czasów, kiedy babki opowiadały młodym dziewczynom, żeby „nie włóczyły się po nocy, bo straszny nietoperz wkręci im się w bujne włosy”. Ta legenda miejska krąży do dziś, powodując u ludzi zupełnie niepotrzebne uprzedzenia do przedstawicieli rękoskrzydłych. A przecież zwierzęta te są bardzo pożyteczne, gdyż żywią się owadami, także tymi bardzo uciążliwymi dla człowieka, np. komarami.

Pogląd, iż nietoperz może wplątać się we włosy bądź nawet na nas wpaść jest zupełnie absurdalny z prostego powodu. Stanowimy dla niego zwyczajną, w dodatku dużą przeszkodę, którą z łatwością lokalizuje i omija dzięki swej doskonałej umiejętności echolokacji. Latające ssaki, przepuszczając wydychane powietrze pod odpowiednim ciśnieniem przez drgające fałdy głosowe, generują ultradźwięki. Wyemitowane fale akustyczne propagują w przestrzeni, a gdy natrafią na jakiś obiekt odbijają się od niego i powracają w postaci echa. Nietoperz (np. mroczek z fot. 4) z wykorzystaniem swoich czułych uszu potrafi odbierać nawet słabe sygnały, które po przetworzeniu na impulsy elektryczne analizowane są dalej w mózgu.

Na podstawie pomiaru opóźnienia czasowego pomiędzy wysłaniem ultradźwięków a detekcją echa, latający ssak określa, w jakiej odległości znajduje się przeszkoda.

Fot. 4. *Nietoperze znakomicie posługują się echolokacją, która pozwala im sprawnie omijać przeszkody.*

Do dokładnego ustalenia położenia napotykanych obiektów w przestrzeni trójwymiarowej w czasie rzeczywistym wykorzystuje jednak zdecydowanie bardziej skomplikowane procesy obliczeniowe. Czytelników zainteresowanych szczegółami fascynującego zjawiska echolokacji odsyłam do odrębnego artykułu poświęconemu temu zagadnieniu.[21] Warto jednak, aby wszyscy zapamiętali, że opowiastka o nietoperzach wkręcających się ludziom we włosy jest zupełną bzdurą.

Mit 5: nawiedzone domy

Historie o nawiedzonych domach, zamkach czy pałacach to nie tylko domena horrorów, ale również temat wielu legend, przekazywanych ustnie z pokolenia na pokolenie. Wprawdzie wielu z nas traktuje te opowieści z przymrużeniem oka, są jednak i tacy, którzy twierdzą, że osobiście doświadczyli niewytłumaczalnych zjawisk. Możemy zastanawiać się, czy te osoby świadomie kłamią? Raczej nie musimy je o to podejrzewać, gdyż opisywane wrażenia można próbować racjonalnie wytłumaczyć, posługując się wiedzą z biofizyki.

W pierwszej kolejności powinniśmy zastanowić się, jakie czynniki fizyczne mogą oddziaływać np. na osobę przebywającą podczas burzy w starym, opuszczonym, zrujnowanym dworze (Fot. 5). Przede wszystkim będą to infradźwięki, czyli fale akustyczne o częstotliwościach poniżej 20 Hz, wytwarzane nie tylko przez pioruny czy gwałtowne ruchy powietrza, ale również drgające pod wpływem wiatru elementy konstrukcyjne budynku.

Ze względu na dużą długość fali (np. $\lambda \approx 34$ m dla $f = 10$ Hz) oraz słabe tłumienie (w powietrzu ich osłabienie

[20] C. Braekevelt, Fine Structure of the Feline Tapetum Lucidum, Anat. Histol. Embryol. 19 (1990), 97-105.

[21] Zjawisku echolokacji poświęcono odrębny artykuł: T. Kubiak, Echolokacja, czyli akustyczna nawigacja u zwierząt i ludzi niewidomych, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 1 (2024), s. 4-12.

eprasa.pl 189a207405

to ≈ 0,1 dB/km) rozchodzą się na znaczne odległości, a ściany, stropy czy nawet ekrany akustyczne nie przeszkadzają znacząco w ich propagacji. Stosunkowo trudno jest też zlokalizować samo źródło tych niskoczęstotliwościowych fal mechanicznych.

Wprawdzie infradźwięki nie są słyszalne dla ucha ludzkiego, mogą jednak istotnie wpływać na nasz organizm, powodując problemy ze snem, wywołując niepokój, dreszcze, zaburzenia koncentracji, zachwiania równowagi, mdłości a nawet odczuwalne drgania całego ciała. Przy poziomie natężenia dźwięku powyżej 120 dB są nawet odpowiedzialne za rezonans różnych narządów wewnętrznych.[22] Niezwykle uciążliwy hałas infradźwiękowy poza specyficzną drogą słuchową (uczucie ucisku w uszach) jest odbierany przez receptory wibracji, przy czym w tym ostatnim przypadku próg ich percepcji jest wyższy (np. 124 dB przy 4 Hz).

Badacze przeprowadzili już wiele eksperymentów, które w sposób naukowy próbowały wyjaśnić fenomen tzw. nawiedzonych domów. Wykorzystano w nich nowoczesną aparaturę pomiarową m.in. kamery termowizyjne, czujniki magnetyczne i detektory drgań. Najbardziej znanym pogromcą mitów oraz krytykiem doniesień o zjawiskach paranormalnych jest prof. Richard Wiseman z Uniwersytetu Hertfordshire. W swoich publikacjach zajął się m.in. opowieściami o rzekomych duchach w pałacu Hampton Court oraz kryptach pod dawnym Mostem Południowym w Edynburgu. Ze współpracownikami przeprowadził też słynny eksperyment podczas koncertu muzyki współczesnej w Londynie. W dwóch momentach tego wydarzenia wygenerowano potężny hałas infradźwiękowy i zbadano reakcje nieświadomej niczego publiczności. Mimowolni uczestnicy doświadczenia raportowali później dziwne odczucia oraz ogarniający ich nagły niepokój.

Fot. 5. *Rozmaite czynniki fizyczne i psychofizyczne mogą sprawiać, że osoba przebywająca w zrujnowanym budynku ulegnie nastrojowi grozy.*

Rys. 2. *Iluzja „wszystko marność" C. A. Gilberta. Ilustracja przedstawia kobietę siedzącą przed lustrem, ale obserwator może widzieć zamiennie ludzką czaszkę.*

Generalnie prace naukowców wskazują, że domniemane „nawiedzenia" są wynikiem wpływu na organizm ludzki całkowicie naturalnych czynników fizycznych, takich jak infradźwięki. Uczucie obecności ducha może być również rezultatem nagłych zaburzeń aktywności elektrycznej w płatach skroniowych mózgu, co pokazały badania z wykorzystaniem elektroencefalografii.[23] Inną przyczyną są oczywiście złudzenia optyczne, bądź iluzje związane z percepcją wielomodalną. W tym ostatnim przypadku mamy do czynienia z jednoczesnym zaangażowaniem i interakcją przynajmniej dwóch zmysłów.

Jak łatwo oszukać nasz zmysł wzroku możemy przekonać się, analizując powszechnie znane złudzenia optyczne. Warto przytoczyć chociażby słynną iluzję „wszystko marność" (*ang. All is Vanity*), stworzoną przez amerykańskiego ilustratora Charlesa Allana Gilberta (1873-1929). Na rys. 2 widzimy wizerunek kobiety oglądającej swe odbicie w lustrze albo alternatywnie ludzką czaszkę. Mamy zatem do czynienia z tzw. figurą niejednoznaczną, czyli formą wizualną, której obserwator nie potrafi definitywnie zinterpretować, doświadczając spontanicznych, subiektywnych i zależnych od kontekstu zmian postrzegania obrazu. Zjawisko to przez specjalistów określane jest jako tzw. percepcja bistabilna.

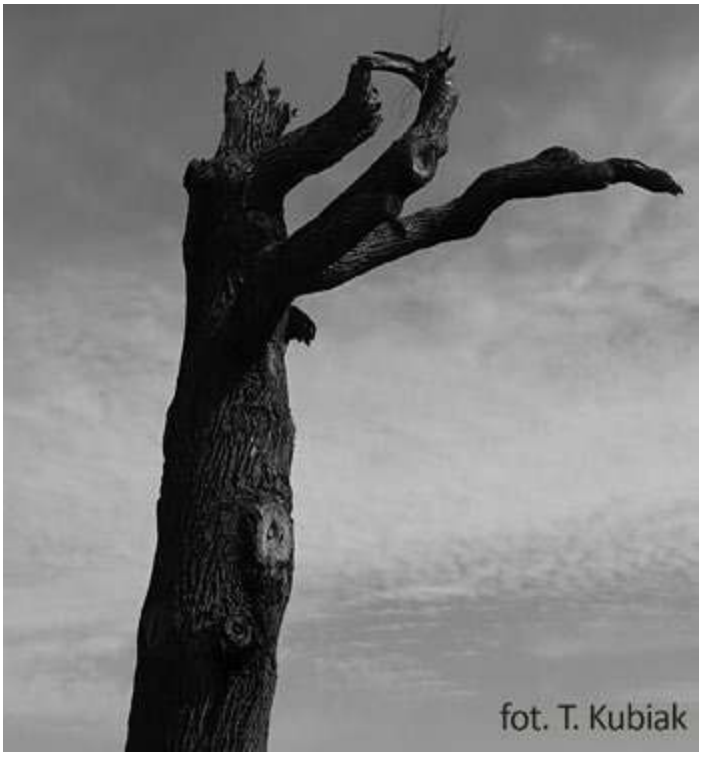
[22] Częstotliwości rezonansowe narządów klatki piersiowej i jamy brzusznej zawierają się w przedziale 4-10 Hz a pęcherza moczowego 10-18 Hz.

[23] Fizycznym podstawom badania EEG poświęcono tekst: T. Kubiak, Elektroencefalografia, czyli jak fizyka pomaga odkrywać tajemnice mózgu, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 6 (2016), s. 4-6.

eprasa.pl 189a207405

Kolejnym przykładem są złudzenia fotograficzne. W ich przypadku na zdjęciu ludzie zauważają fikcyjną twarz w miejscu, gdzie naprawdę znajdują się elementy tła. Co ciekawe, wizerunek ludzkiej głowy można dostrzec niekiedy, podziwiając specyficzne formacje skalne a nawet koronę drzewa. Generalnie niesamowite kształty starego drzewostanu często pobudzają naszą wyobraźnię. Wystarczy spojrzeć na fot. 6. Pień oraz spróchniałe konary zamierającej rośliny, która znajduje się na cmentarzu przykościelnym w Rogowie (powiat żniński), kojarzą się odwiedzającym z potworem z wyciągniętymi łapami albo sylwetką króla w koronie.

Jeśli dodamy do tego aspekty psychologiczne (lokalizację) oraz elementy środowiskowe potęgujące uczucie grozy, np. niepokojące dźwięki: grzmoty, deszcz bębniący o dach, skrzypiące drzwi, trzaski łamanych gałęzi oraz odgłosy zwierząt (np. pohukiwanie puszczyka), bardzo łatwo ulec nastrojowi grozy. Wewnątrz pomieszczeń dochodzą jeszcze takie zjawiska jak pogłos oraz skupianie fal akustycznych w wybranych miejscach w wyniku odbić od sklepienia czy kopuły. W przypadku większych przestrzeni oraz przeszkód odbijających dźwięk oddalonych od źródła o minimum 17 m pojawia się też echo.[24] Jak widać istnieje szereg czynników fizycznych, psychoakustycznych oraz tych związanych z psychofizjologią widzenia, które sprawiają, że wybrane miejsce może zostać uznane za „nawiedzone", chociaż w rzeczywistości nie występują tam żadne nadprzyrodzone zjawiska.



Fot. 6. *Konary starych drzew często przybierają niesamowite formy, które mogą być różnie interpretowane podczas percepcji wzrokowej.*

Fot. 7. Śpiących rolników miały atakować „południce". Fot. Dreamstime

Mit 6: południca polująca na rolników

Na polskich wsiach jeszcze w początkach XX w. zabobonni ludzie wierzyli, że podczas pracy w polu lub drzemki na wolnym powietrzu w upalny letni dzień, szczególnie w godzinach okołopołudniowych można spotkać demona zwanego południcą i przypłacić to życiem. Mit ten jest bardzo stary, gdyż wywodzi się z wierzeń słowiańskich. Wynikał oczywiście z braku elementarnej wiedzy o funkcjonowaniu przyrody, niemniej jednak miał swoje pozytywne aspekty, gdyż chronił przed negatywnymi konsekwencjami upałów. Dziś wiemy bowiem, że przyczyną problemów ze zdrowiem a nawet zgonów ówczesnych rolników był udar cieplny.

W normalnych warunkach duża pojemność cieplna właściwa oraz entalpia parowania wody umożliwiają utrzymanie homeostazy termicznej ustroju.[25] Parowanie wydzielanej wraz z potem wody pozwala bowiem zmniejszyć temperaturę skóry, by ta mogła dalej odbierać ciepło z krwi. U osób starszych oraz robotników podejmujących intensywny wysiłek fizyczny podczas upału, szczególnie w sytuacji niewłaściwego nawodnienia organizmu, mechanizmy termoregulacji mogą okazać się niewystarczające. Nadmierne przegrzanie ciała, a w szczególności

[24] O akustyce, percepcji dźwięku, zjawiskach echa i pogłosu oraz iluzjach słuchowych przeczytać można w artykule: T. Kubiak, Biofizyka zmysłu słuchu i ochrona przed hałasem, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 2 (2021), s. 4-10.

[25] Szczegóły dotyczące roli wody w funkcjonowaniu organizmu czytelnicy znajdą w publikacji: T. Kubiak, Biofizyka a niezwykłe właściwości wody, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 4 (2021), s. 4-11.

eprasa.pl 189a207405

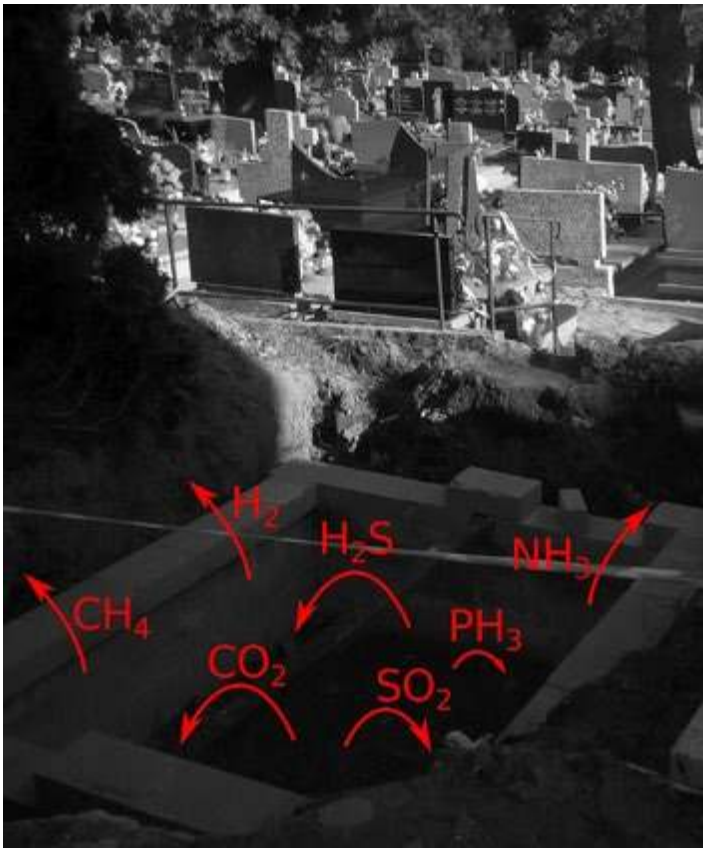
sytuacja, gdy jego głęboka (tj. mierzona we wnętrzu) temperatura przekracza 40°C, niesie ze sobą negatywne konsekwencje oraz znaczne ryzyko zgonu. Pamiętajmy zatem, aby chronić się przed nadmiernym upałem i spożywać duże ilości płynów, nie w obawie przed legendarną południcą, tylko jak najbardziej rzeczywistym i opisanym przez biofizyków udarem cieplnym.

Mit 7: śmierć po wejściu do grobowca

Opowieści o tajemniczych chorobach bądź zgonach osób, które weszły do starych, nieotwieranych przez wieki grobowców od zawsze elektryzowały opinię publiczną. Przykłady można mnożyć, począwszy od tzw. klątwy Tutanchamona z egipskiej Doliny Królów aż do tzw. klątwy Kazimierza Jagiellończyka z krakowskiego Wawelu. Z bardziej współczesnych przykładów warto wymienić chociażby nagłe zasłabnięcie grabarzy z Nowego Sącza w 2022 roku. Czy tego typu incydenty muszą być jeszcze traktowane jako zjawiska nadprzyrodzone, czy raczej można znaleźć ich racjonalne wytłumaczenie? Na szczęście czytelnicy nie mają chyba wątpliwości, że współczesna nauka pozwoliła rozwiązać także takie zagadki.

W przypadku królewskiej krypty z Krakowa pierwotną przyczyną większości zgonów były najprawdopodobniej szkodliwe bakterie oraz wytwarzający aflatoksyny grzyb - kropidlak żółty, co pokazał polski mikrobiolog prof. Bolesław Smyk. Wyjaśnienie głośnej medialnie sprawy z Nowego Sącza jest natomiast bardziej związane z fizyką. Nagła utrata przytomności grabarzy wynikała bowiem z niedoboru O_2 w podziemnym grobowcu. Tlen został wyparty przez nagromadzone tam inne gazy. Standardowo w tego typu miejscach detektory wykrywają podwyższone stężenia dwutlenku węgla oraz siarkowodoru a nawet pewne ilości ditlenku siarki oraz silnie toksycznego fosforowodoru. Należy pamiętać, że w trakcie procesów pośmiertnego rozkładu oprócz wymienionych gazów, które pod względem właściwości fizycznych są cięższe od powietrza, powstają również te, będące od niego lżejsze, czyli wodór, metan i amoniak. Zobrazowano to na rys. 3.

W kontekście zatruć dwutlenkiem węgla warto przytoczyć jeszcze jedną ciekawostkę. We Włoszech, niedaleko Pozzuoli znajduje się tzw. Psia Grota.[26] W jej wnętrzu występują fumarole uwalniające CO_2. Gaz ten zbiera się w dolnej części jaskini, sprawiając, że wchodzące do niej małe zwierzęta ulegają zatruciu. Towarzyszący im ludzie, którzy przebywają w pozycji stojącej, nie mają żadnych problemów z oddychaniem. Co ciekawe, miejsce to w XIX w. stanowiło atrakcję turystyczną z demonstracjami naukowymi przeprowadzanymi z udziałem psów.[27] W dzisiejszych czasach takie pokazowe eksperymenty nie byłyby oczywiście możliwe ze względów bioetycznych. Wiemy natomiast, iż zagrożenie podczas przebywania w tego typu miejscach wiąże się przede wszystkim z hiperkarbią (nadmiernym wzrostem zawartości dwutlenku węgla we krwi tętniczej) oraz hipertermią (przegrzaniem organizmu).



Rys. 3. *W podziemnym grobowcu mogą gromadzić się szkodliwe gazy: dwutlenek węgla (CO_2), siarkowodór (H_2S), dwutlenek siarki (SO_2) oraz fosforowodór (PH_3). Podczas procesów rozkładu wydzielany jest również metan (CH_4), amoniak (NH_3) oraz wodór (H_2).*

Reasumując, warto jeszcze raz zaapelować, żeby nie wierzyć w legendy miejskie, a zasłyszane informacje zawsze weryfikować w rzetelnych oraz aktualnych źródłach. Trzeba również pamiętać, że dla pozornie tajemniczych zjawisk powinno się szukać racjonalnego wytłumaczenia na gruncie nauki.

dr Tomasz Kubiak
Wydział Fizyki i Astronomii UAM Poznań oraz ANS Gniezno

LITERATURA:

[1] Zarys nukleoniki pod red. L. Dobrzyńskiego, PWN, Warszawa 2017, s. 143-260.
[2] H. Onishi i inni, Photon-counting CT: technical features and clinical impact on abdominal imaging, *Abdominal Radiology*, 2024, s. 1-17.
[3] H. Gawda, Wpływ czynników mechanicznych na żywy organizm, [w:] Biofizyka, pod red. F. Jaroszyka, PZWL, Warszawa 2008, s. 666 - 705.
[4] D. Augustyńska, Wartości graniczne ekspozycji na infradźwięki – przegląd piśmiennictwa, *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy*, nr 2(60), 2009, s. 5-15.
[5] G. Jones, Echolocation, *Current Biology*, 15 (13), 2005, s. 484-488.
[6] R. Wiseman i inni, An investigation into alleged 'hauntings', British Journal of Psychology 94, 2003, s. 195-211.
[7] N. Charkoudian, Skin Blood Flow in Adult Human Thermoregulation: How It Works, When It Does Not, and Why, Mayo Clin. Proc. 78, 2003, s. 603-612.
[8] B. G. Ioan i inni, The Chemistry Decomposition in Human Corpses, Rev.Chim. 68(6), 2017, s. 1352-1356.

[26] Zainteresowanych szczegółami odsyłam do artykułu przeglądowego: W.R. Halliday, A.A. Cigna, The Grotta Del Cane (Dog Cave), Naples, Italy, Cave and Karst Science 33(3) (2006), 131-136.

[27] Ówczesne pomiary pokazały, że toksyczne powietrze w dolnych partiach groty zawierało: 40% CO_2, 50% N_2 i tylko 10% O_2 a temperatura wynosiła tam 28°C. Normalnie w atmosferze mamy: 78% N_2, 21% O_2 i 0,04% CO_2.

eprasa.pl 189a207405

Foto – Dreamstime

Nie zawsze entropia

Maciej **Panczykowski**

Termodynamika jest jednym z pięciu wielkich działów fizyki. Oprócz niej wyróżniamy:

- mechanikę,
- fizykę fal,
- elektryczność z magnetyzmem,
- fizykę kwantową.

Zajmuje się ona badaniem zależności pomiędzy bezpośrednio mierzalnymi wielkościami makroskopowymi, charakteryzującymi dany układ (np. ciśnienie, objętość, ilość substancji) i efektami energetycznymi różnych przemian. Badaniem sposobów, w jakie te wielkości i przemiany zależą od atomowej i cząsteczkowej budowy materii zajmuje się szczególna dziedzina: **termodynamika statystyczna**.

Podstawą termodynamiki są 4 wielkie zasady:

Zerowa zasada termodynamiki – mówi ona, że jeśli dwa układy są w danym czasie w równowadze termicznej z układem trzecim, to są również w równowadze termicznej między sobą. Zasada ta ma zastosowanie w przypadku termometrów. Termometr, jako trzeci układ (odniesienia), daje możliwość porównania temperatur (przynajmniej) dwóch układów.

Pierwsza zasada termodynamiki – jest niczym innym jak zasadą zachowania energii w układach termodynamicznych. Mówi ona, że zmiana energii wewnętrznej (ΔU) układu zamkniętego (niewymieniającego z otoczeniem materii) równa jest sumie ciepła (Q) i pracy (W) przekazanej do układu lub z układu.

$$\Delta U = Q + W$$

Obowiązuje taka konwencja: ciepło przekazane do układu lub praca wykonana na układzie mają znak dodatni, w przeciwnym przypadku – ujemny.

Druga zasada termodynamiki – mówi, że zmiana entropii (miary nieuporządkowania) Wszechświata (ΔS) jest w każdej przemianie naturalnej dodatnia. Zatem entropia całego Wszechświata (to jest: układu S_u + otoczenia S_o) rośnie z czasem.

$$\Delta S = \Delta S_u + \Delta S_o > 0$$

Ta zasada jest bardzo ważna, gdyż dotyczy nie tyle bilansu przemian, co wyznacza ich kierunek.

Trzecia zasada termodynamiki – mówi, że kiedy temperatura układu dąży do nieosiągalnej temperatury zera bezwzględnego (0 K), to jego entropia dąży do minimum.

Skupimy się teraz na najmniej oczywistej drugiej zasadzie termodynamiki. Entropia jest tak zwaną **funkcją stanu**, czyli zależy od mierzalnych wielkości makroskopowych układu w danej chwili i zupełnie nie zależy od jego historii. Tak więc przyrost wartości tej funkcji zależy tylko od wartości tych wielkości w stanie początkowym i końcowym i zupełnie nie zależy od drogi jaką układ przechodził pomiędzy tymi stanami.

Wydawać by się mogło zatem, że jeśli chcemy wyznaczyć kierunek jakiejś przemiany to wystarczy znać entropię stanu końcowego układu i początkowego tego układu i odjąć je od siebie. Jeśli liczba jest dodatnia, to przyrost entropii jest dodatni i przemiana może zajść samorzutnie. Nie jest to takie proste, bo nie jest tak w ogólności...

Tylko w przypadku układów izolowanych (które nie wymieniają z otoczeniem ani materii ani energii) mających stałą objętość (U,V = constans) zmiany wewnątrz nich nie mają żadnego wpływu na otoczenie (nic w otoczeniu się nie zmienia, np.: $\Delta S_o = 0$). Wtedy:

$$\Delta S = \Delta S_u > 0$$

Skoro entropia Wszechświata zawsze rośnie, a w tym przypadku jest ona tożsama z entropią układu, to entropia jest odpowiednią funkcją stanu wyznaczającą kierunek

eprasa.pl 189a207405

przemian adiabatyczno-izochorycznych (stała energia wewnętrzna U i objętość V).

Być może ktoś czytający ten artykuł zastanawiał się dlaczego czasami w literaturze mówi się o tajemniczej **energii swobodnej** lub **energii Gibbsa** (**entalpii swobodnej**), których wartości maleją w procesach przebiegających spontanicznie, nieodwracalnie (przemiany naturalne). Dzieje się tak dlatego, że układy izolowane są mało wygodne i praktyczne do przeprowadzania i badania różnych przemian. Dużo bardziej nadają się do tego układy będące w stałej temperaturze otoczenia i objętości (T,V = constans) lub w stałej temperaturze otoczenia i ciśnieniu otoczenia (T,P = constans). A w przypadku tych układów nie można pominąć właśnie otoczenia...

Wzór na energię swobodną (F) jest następujący:

$$F = U - TS$$

gdzie: U – energia wewnętrzna układu, T – temperatura otoczenia, S – entropia układu.

Przyrost energii swobodnej ($\Delta F = \Delta U - T\Delta S$) jest w samorzutnych **przemianach izotermiczno-izochorycznych** (T,V = const) zawsze ujemny. Dlaczego tak jest? Skąd to się wzięło?

$$\Delta F = \Delta U - T\Delta S < 0$$

Podzielmy nierówność przez –T:

$$-\Delta U/T + \Delta S > 0$$

Część: ΔS to po prostu przyrost entropii układu (ΔS_u). Część: $-\Delta U/T$ jest ciekawa. W przemianie izotermiczno-izochorycznej $\Delta U = Q$ (ciepłu przekazanemu do lub z układu, bo W = 0, gdyż nie ma pracy objętościowej przy stałej objętości). Wychodzi to z równania pierwszej zasady termodynamiki. Zatem $-\Delta U$ równe jest ciepłu przekazanemu z lub do otoczenia, bo na przykład więcej energii w układzie to mniej energii w otoczeniu.

Jako, że wzór na entropię to S = Q/T, to w naszym przypadku $-\Delta U/T$ to przyrost entropii otoczenia (ΔS_o). Nasza nierówność sprowadza się do znanej już nierówności:

$$\Delta S_u + \Delta S_o > 0$$

Energii swobodnej używamy dlatego, że w przemianie izotermiczno-izochorycznej trzeba uchwycić także zmiany entropii otoczenia. Przyrost ujemny tej energii układu to po prostu przyrost dodatni entropii Wszechświata (układu i otoczenia).

Wzór na entalpię swobodną (G) jest następujący:

$$G = U + pV - TS$$

gdzie: U – energia wewnętrzna układu, T – temperatura otoczenia, S – entropia układu, p – ciśnienie otoczenia, V – objętość układu.

Przyrost entalpii swobodnej ($\Delta G = \Delta U + p\Delta V - T\Delta S$) jest w samorzutnych **przemianach izotermiczno-izobarycznych** (T,P = const) zawsze ujemny.

Wyjaśnienie tego jest analogiczne, do poprzedniego, z tym, że w tym przypadku ciepło przekazane z lub do otoczenia wynosi: $-\Delta U - p\Delta V$, gdyż pod stałym ciśnieniem jest możliwa praca objętościowa $W = -p\Delta V$.

Podsumowując: funkcje stanu układu określające kierunek przemian to tak zwane **potencjały termodynamiczne**.

Potencjałem termodynamicznym:

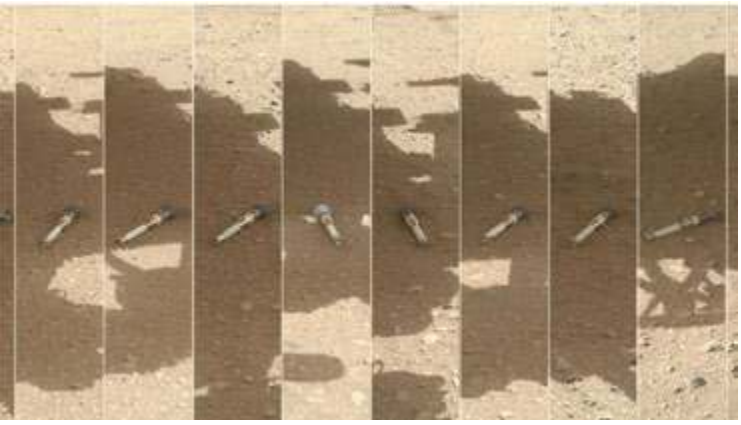
1. Przemiany adiabatyczno-izochorycznej jest entropia.
2. Przemiany izotermiczno-izochorycznej jest energia swobodna.
3. Przemiany izotermiczno-izobarycznej jest entalpia swobodna (energia Gibbsa).

Istnieją jeszcze inne potencjały i inne przemiany: energia wewnętrzna dla przemian izoentropowo-izochorycznych i entalpia dla przemian izoentropowo-izobarycznych, ale te są najmniej praktyczne.

Maciej Panczykowski
Katowice, 2024.10.02

Jak zabrać próbki z Marsa?

Łazik NASA Perseverance jest już na Marsie cztery lata – wylądował w kraterze Jerzero 18 lutego 2021 r. W tym czasie przebył 32,57 km, dotarł do krawędzi krateru i zebrał 25 próbek materiału powierzchniowego i marsjańskiej atmosfery. Próbki te leżą teraz w specjalnych pojemnikach czekając aż je ktoś zabierze na Ziemię.



Ten fotomontaż przedstawia probówki zawierające próbki z Marsa zebrane przez należący do NASA łazik Perseverance Mars. Źródło: NASA/JPL-Caltech/MSSS

Początkowo planowano, że problemem tym zajmie się NASA i Europejska Agencja Kosmiczna (ESA). Zostanie opracowany zespół pojazdów ze specjalnym lądownikiem wyposażonym w rakietę, który uda się na Marsa ok. 2028 roku, załaduje próbki do rakiety a ta wróci na Ziemię korzystając ze statku ESA Earth Return Orbiter, w połowie lub pod koniec lat trzydziestych XXI wieku.

Jednak nie znaleziono dotychczas wystarczających środków finansowych na tę operację. Teraz szefowie NASA postanowili poszukać oszczędniejszych sposobów i w tym celu zwrócili się do firm komercyjnych z propozycją współpracy przy budowie mniejszych i lżejszych pojazdów oraz opracowania nowego systemu platformy do lądowania.

https://skyandtelescope.org/astronomy-news/nasas-new-plans-for-returning-samples-from-mars/

eprasa.pl 189a207405

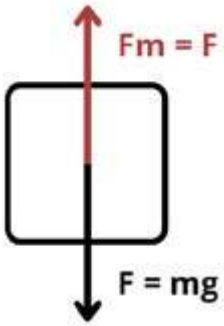
Foto – Adobe Stock

Lewitacja magnetyczna

Sebastian **Parzych**

1. Czym jest lewitacja magnetyczna?

Lewitacja magnetyczna to fascynujące zjawisko, które pozwala na uniesienie ciała w powietrzu bez fizycznego wspomagania. Dzieje się to dzięki działaniu pola magnetycznego, które to równoważy działającą na wszystkie ciała siłę grawitacji. Samą zasadę działania naszej lewitacji obrazuje ten prosty rysunek.



Rys. 1. Równowaga sił działających na magnes.

Dzięki prawom wybitnego naukowca Isaaca Newtona (1643-1727) jesteśmy w stanie sprawić, by obiekt pozostawał w spoczynku. Warunkiem wystarczającym do tego jest równowaga sił ($F_m = F$). Jednakże, jeżeli przypatrzymy się grafice i przestaniemy pomijać wszelkie opory oraz niedogodności otoczenia, szybko zorientujemy się, iż nie jest to takie proste. Już w 1842 roku zauważył to Samuel Earnshaw i udowodnił twierdzenie, które brzmiało następująco:

„W pustej przestrzeni nie istnieje żadna statyczna (nie zmieniająca się w czasie) konfiguracja pól elektrycznych, magnetycznych i grawitacyjnych dla której energia potencjalna posiadałaby lokalne minimum”.

W dużym skrócie oznacza to, iż nie możemy postawić dwóch magnesów na sobie i oczekiwać magnetycznej lewitacji. Każdy, kto próbował sprawdzić to doświadczalnie, wie, że po chwili magnes po prostu się obraca i łączy z drugim. Toteż potrzebna będzie tu nasza pomoc.

Wróćmy na moment do przykładu z pierwszego rysunku. Nasz obiekt nie jest nigdzie zaczepiony, co pozwala mu się poruszać zarówno ruchem postępowym, jak i ruchem obrotowym. Sprawia to dużo problemów przy realizacji doświadczenia, w którym chcemy efekt lewitacji osiągnąć. Najmniejsze wychylenie z punktu równowagi powoduje powstanie siły wypadkowej, a co za tym idzie – przyspieszenia w tymże kierunku.

Jest to idealny przykład równowagi chwiejnej. Rodzaje równowagi można podzielić na trzy: chwiejną, trwałą i obojętną. Projektując system dynamiczny zazwyczaj pożądana jest ta druga. Za przykład może posłużyć ramię robota. Po dojechaniu do miejsca docelowego chcemy, by ramie pozostało w tej pozycji, a nie przemieściło się do

Rys. 2. Przykłady rodzajów równowagi z piłką.

eprasa.pl 189a207405

losowego miejsca bez podania mu takiej komendy (równowaga chwiejna). Łatwiej zobrazuje to rysunek poniżej.

2. Rodzaje lewitacji magnetycznej

Jednym z rodzajów lewitacji magnetycznej jest tak zwana **quasi-lewitacja**, która polega na ograniczeniu naszego magnesu wzdłuż jednej z osi współrzędnych. Zablokowanie jednego ze stopni swobody ogranicza nam ruchy oraz możliwości destabilizacji równowagi sił. Brzmi to jednak jak coś, co lewitację tylko przypomina. Spróbujmy wykorzystać inne zjawisko!

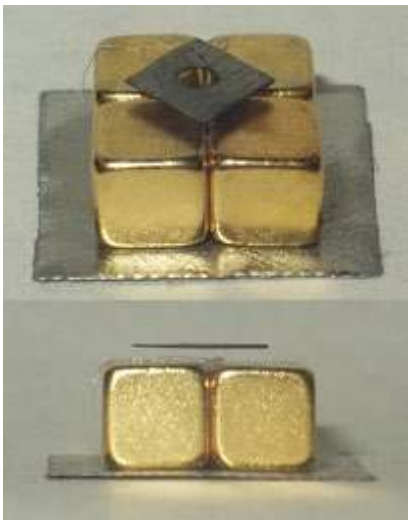
Ciekawszym przykładem jest wynaleziona i opatentowana przez Roy'a Harring'a w 1983 roku zabawka. Jest to przykład **lewitacji ze stabilizacją żyroskopową**. „Levitron", bo tak nazywa się owa konstrukcja, to prosty bączek wykonany z magnesu o symetrii osiowej. Oprócz tego w skład wchodzi też silny magnes stały z materiałów ceramicznych. Dopiero po 13 latach od momentu wydania zabawki została opublikowana praca, która tłumaczyła zasadę działania „Levitronu".

Ruch wirowy bączka jest potrzebny, by ten nie obrócił się biegunem przeciwnym do płytki. Zapobiega to połączeniu się tych dwóch magnesów. Musimy go więc odpowiednio rozkręcić. Nie zapominajmy o oporach powietrza, które będą z czasem spowalniać obroty naszej zabawki. Z drugiej strony przesadnie duża prędkość obrotowa może spowodować wylot bączka na zewnątrz. Szerzej warunki stabilnej lewitacji tej konstrukcji możemy poznać w pracy Krzysztofa Byczuka dostępnej z poziomu wikipedii [2].

Zanim zagłębimy się w kolejny typ lewitacji, warto zapoznać się z definicją **magnetycznego momentu dipolowego**. Określa on oddziaływanie dipola (układu dwóch różnoimiennych biegunów magnetycznych) z zewnętrznym polem magnetycznym. W materiałach diamagnetycznych możemy policzyć sumaryczny moment dipolowy indukowany przez zewnętrzne pole magnetyczne korzystając ze wzoru:

$$\mathbf{M} = \mathbf{k} * \mathbf{B},$$

Rys. 3. Zdjęcie „Levitronu", źródło: [2].



Rys. 4. Grafit lewitujący nad magnesem trwałym, źródło: [1].

gdzie **B** jest indukcją pola magnetycznego, a **k** jest stałą (dla ferromagnetyków k>>0, paramagnetyków k>0, a diamagnetyków k<0).

Stąd też energia może posiadać lokalne minima. Pozwala to na stabilizację naszego diamagnetyka w miejscu, gdzie funkcja energii osiągnie dane minimum, jednak nie zawsze będzie to równowaga trwała. Przykładem często używanym do demonstracji tego typu zjawiska jest grafit. Diamagnetyk o silnych właściwościach w temperaturze pokojowej w łatwy sposób możemy umieścić nad magnesami trwałymi i doświadczyć prawdziwej lewitacji magnetycznej.

Idealny diamagnetyzm możemy zauważyć w materiałach **nadprzewodnikowych**. W 1933 roku Walther Meissner, niemiecki fizyk, odkrył zjawisko, które zrewolucjonizowało nasze rozumienie tych materiałów. W stanie nadprzewodnictwa materiały te wypychają pole magnetyczne ze swojego wnętrza, co pozwala na stabilną lewitację nad źródłem pola magnetycznego. Jest to efekt Meissnera, który stanowi podstawę wielu nowoczesnych technologii wykorzystujących lewitację magnetyczną, takich jak transport kolejowy czy łożyska bezkontaktowe.

Jednakże problemem nadprzewodników jest utrzymywanie ich w bardzo niskich temperaturach. Naukowcy próbują stworzyć materiał, który będzie wykazywał właściwości nadprzewodnictwa w temperaturach bliskich chociażby pokojowej. W poprzednim roku świat obiegła

Rys. 5. Chłodzony ciekłym azotem magnes lewitujący nad nadprzewodnikiem wysokotemperaturowym, źródło: [7].

eprasa.pl 189a207405

Rys. 6. Transrapid Shanghai wyjeżdżający z portu lotniczego Shanghai-Pudong (zdjęcie: Alex Needham).

informacja o niesamowitym materiale nazwanym LK-99 opracowanym przez koreańskich naukowców. Zachwyt ten okazał się jednak przedwczesny, gdyż jak dotąd nie udało się go odtworzyć innym badaczom.

3. Kolej magnetyczna

Lewitacja magnetyczna i futurystyczne pojazdy stały się ważnym elementem kultury, szczególnie filmów z końcówki XX. wieku. Najbardziej charakterystycznym przykładem jest "Powrót do przyszłości", gdzie można było podziwiać różne wizje transportu. Bohaterowie przenosząc się do roku 2015 doświadczyli widoku latających samochodów, czy deskorolek. Jak możemy zauważyć, nie udało nam się jeszcze tego osiągnąć, jednak z powodzeniem możemy odwzorować takie atrakcje w kontrolowanych warunkach z użyciem magnetycznej lewitacji. Innym przykładem filmu zahaczającego o tematykę postępu cywilizacyjnegoego był "Raport mniejszości" Spielberga z 2002 roku. Transport latający stał się więc po części symbolem nowoczesności i postępu technologicznego.

Jednak jeszcze zanim powstały te filmy, w latach 60. Eric Laithwaite prowadził prace nad wdrożeniem tego w życie. Jego pomysłem było wykorzystanie magnetyzmu do napędzania kolei za pomocą elektromagnesów ułożonych w torze. Zbudował pierwszą na świecie linię testową do „lewitujących" kole, jednak jego badania zostały przerwane w 1973 roku przez brak środków do finansowania.

Świat nauki nie zamykał się jednak na to rozwiązanie i technologia Maglev z roku na rok coraz bardziej się rozwijała. Pierwsze komercyjnie dostępne koleje magnetyczne zostały udostępnione nieco ponad dekadę później w Birmingham. W ślad za Anglią poszły Niemcy, które udostępniły berliński Magnetbahn. Jednakże można te sukcesy uznać za falstart, gdyż często zawodziły. Po kilku latach wycofywano się z tego środka transportu.

Było tak aż do 2004 roku, kiedy udostępniono trasę **Transrapid Shanghai**. Długość trasy wyniosła imponujące 30 kilometrów, a prędkość maksymalna wynosiła aż 430 km/h! Powstała dzięki niemieckiemu przedsiębiorstwu Transrapid International, więc poprzednie testy nie poszły na marne. Na otwarcie kolei przyjechał sam kanclerz Niemiec Gerhard Schroder.

Drugą działającą do dziś komercyjną linią jest japońska Linimo. Została zbudowana na potrzeby wystawy, jednak od 2005 roku służy mieszkańcom prefektury Aichi. Nie jest tak imponująca jak rozwiązanie z Szanghaju, gdyż długość wynosi niecałe 9 kilometrów.

4. Nowoczesne pomysły Elona Muska

W 2013 roku **Elon Musk**, znany innowator i założyciel Tesla oraz SpaceX, przedstawił koncepcję nowego systemu transportu – Hyperloop. Miałoby to być połączenie technologii maglev z próżniowymi tunelami, co pozwoliłoby zmniejszyć opory powietrza i osiąganie niesamowitych prędkości. W teorii jest to szansa na stworzenie

Rys. 7. Model zbudowany przez polską firmę w 2017 roku, osiągał prędkość do 320 km/h (fot. Hyper Poland).

eprasa.pl 189a207405

najszybszego środka transportu lądowego. Pomimo względnego porzucenia projektu przez Muska, sam pomysł podchwyciły inne firmy.

Od 2017 roku polska firma Nevomo (kiedyś Hyper Poland) rozwija tę technologię. Pracują oni nad nowym nad trójstopniowym wdrożeniem koncepcji hyperloop. Pierwszym krokiem jest MagRail Booster, który ma unowocześnić istniejące wagony kolejowe oraz umożliwić ruch w niezelektryfikowanych tunelach i pod niskimi mostami. Kolejny to lewitujący MagRain pozwalająca pojazdom osiągać prędkości od 300 do nawet 550 km/h na istniejących torach. Ostatnim krokiem ma być przejście do Hyperloop, czyli systemu Muska pozwalającego osiągać 1200 km/h. Przeciwnicy tej technologii jako największy zarzut stawiają problem budowy całkowicie nowej infrastruktury dla takich systemów oraz mniejszą przepustowość.

Nevomo ukończyło budowę najdłuższego w Europie toru testowego MagRail w Nowej Sarzynie w 2023 roku. Tor ma długość ponad 720 metrów i służy do testowania różnych elementów tej technologii, takich jak systemy napędowe. Dzięki ich ciężkiej pracy Polska dołączyła do grona liderów w dziedzinie innowacyjnych technologii transportowych.

Jednak nie tylko Polacy są zainteresowani możliwościami magnetycznej lewitacji. Warto również wyróżnić amerykańską firmę Virgin Hyperloop, która w listopadzie 2020 roku dokonała przełomowego wydarzenia w tej dziedzinie. Przejazd testowy na pustyni obok Las Vegas odbył się na drodze 500 metrów. Zazwyczaj ich model osiągał prędkości bliskie 400 km/h, jednak tym razem prędkość została ograniczona do 160 km/h. Skąd taka zmiana? To wszystko dlatego, że był to pierwszy przejazd kapsuły z pasażerami na pokładzie! Jednak by dostać takie pozwolenie firma musiała dokonać kilkaset bezzałogowych i bezwypadkowych prób. Kapsuła o wdzięcznej nazwie **Pegasus** bez problemu przewiozła pasażerów, co pozwala wierzyć w końcowy sukces tej technologii.

5. Chiny i ich pomysły

Ostatnie sukcesy w badaniach systemów Hyperloop należą do China Aerospace Science and Industry Corporation (CASIC). Jest to państwowa korporacja, która wyprodukowała nowoczesny pociąg maglev nazwany **T-Flight**. Według raportu ich środek transportu zdołał osiągnąć prędkość 623 km/h! Jest to

Jak jednak do tego doszło?

To rozwiązanie zaczerpnięto z pomysłu Muska, w celu zmniejszenia tarcia. Jednakże mimo wszystko nie jest to prosty do implementacji pomysł. W założeniu tor musi być idealnie płaski. Zastosowane rozwiązanie miało tolerancję na 0,3 mm (to tyle, co grubość kartki papieru!) dla podłoża i 0,2 mm dla samego tunelu. Jak widać po wynikach, udało im się to zrealizować z bardzo dobrym skutkiem.

To jednak nie koniec! Kolejne etapy zakładają prześcignięcie odrzutowców pasażerskich, które latają z prędkościami bliskimi 1000 km/h. Następnym kamieniem milowym CASIC jest przebicie tego “tysięcznika”,

*Rys. 8. Chiński maglev hyperloop **T-Flight** (fot. CASIC – China Aerospace Science and Industry Corporation).*

a w przyszłości również prędkości dźwięku (ok. 1224 km/h). W dłuższej perspektywie mierzą oni w zawrotną prędkość 2000 km/h, a według teorii to rozwiązanie może osiągać prędkości aż do 4000 km/h! Póki co jest to dość odważne szacowanie, które jest niemalże niemożliwe do zrealizowania. Trzeba jednak zwrócić uwagę na to, że osiągane dzisiaj wyniki jeszcze 50 lat temu były niewyobrażalne nawet okiem ekspertów. Niech żyje postęp technologiczny!

Wyścig o najszybszy transport rozgrywa się więc nie tylko pomiędzy prywatnymi firmami. Jest to także państwowa konkurencja, podobnie jak dziedzina sztucznej inteligencji czy eksploracji kosmosu. Wszyscy mają świadomość, że tak szybki środek transportu bardzo ułatwi przemieszczanie się między miastami, jednak z pewnością będzie to prowadzić do konsekwencji ekonomicznych. Kraje, które jako pierwsze wdrożą te systemy mogą zyskać przewagę gospodarczą, gdyż taki środek transportu będzie atrakcyjnym punktem dla turystów, a także inwestorów. Dla człowieka będzie to także otwarcie możliwości na pracę w mieście oddalonym o setki kilometrów bez potrzeby mieszkania w nim. Dziś takie podróże trwają kilka godzin, jednak dzięki tym rozwiązaniom czas skróci się do kilkunastu minut.

6. Zrób to sam – czyli projekt maglev!

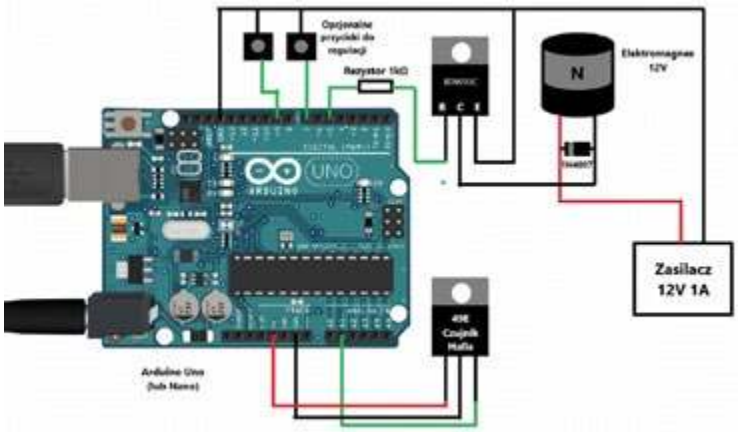
Możemy zbudować własny projekt, który będzie wykorzystywał lewitację magnetyczną. Studenci MIT jako jedno z ćwiczeń budują podobny, choć nieco bardziej skomplikowany projekt [5], ale nic nie stoi na przeszkodzie, by go uprościć. Wymaga on jednak podstawowej wiedzy z zakresu elektroniki i programowania Arduino. Program został stworzony tak, by był jak najbardziej intuicyjny i łatwy w implementacji.

Zacznijmy jednak od listy zakupów. Czego potrzebujemy, by stworzyć prosty system lewitacji magnetycznej?

Potrzebujemy:

- Arduino Uno lub Nano (mózg systemu)
- Elektromagnes (w konstrukcji użyto 12V 1A z powodu kompatybilności z zasilaczem)

eprasa.pl 189a207405



Rys. 9. Schemat podłączeń naszego projektu lewitacji magnetycznej.

- Zasilacz 12V 1A
- Tranzystor NPN np. BDW93C (steruje elektromagnesem)
- Dioda prostownicza 1N4007 (klasyczna dioda chroniąca układ przed przepięciami)
- Rezystory (do ograniczania prądu, np. 1 lub 10kΩ)
- Przewody i prototypowa płytka do budowy układu
- Magnesy neodymowe
- Liniowy czujnik Halla (przykładem często używanym jest 49E)

Są to oczywiście proponowane części. Na rynku istnieje dużo zamienników, jednak konieczne jest użycie liniowego czujnika efektu Halla, który będzie wykrywał reagował na zmiany w polu magnetycznym. Nie może być to czujnik typu przełącznik, który wykrywa jedynie obecność magnesu. Po zakupieniu naszych części możemy zbudować stanowisko dla naszego układu. Internet pełen jest różnych podejść w tym temacie. Często w celu uzyskania dobrze pasujących części używa się druku 3D. W tej części projektu możemy puścić wodze fantazji i stworzyć oryginalną konstrukcję. Samo podłączenie elektroniki zachodzi w następujący sposób:

Ostatnim i niestety najtrudniejszym krokiem jest zaprogramowanie Arduino. Jeśli znamy podstawy programowania, to bez problemu uda się nam pokonać ten problem. Podejścia są jednak różne. Prostsze zakłada sterowanie dwupunktowe – na podstawie danych z czujnika Halla wyznaczamy dwa punkty pomiędzy którymi ma znajdować się nasz obiekt (magnes). Po zebraniu danych ustawiamy te wartości, a następnie ustawiamy wszystko tak, by siła przyciągania elektromagnesu malała, jeśli klocek zbliży się za bardzo oraz zwiększała się jeśli przekroczy dolny próg. Nie jest to idealne rozwiązanie, jednak jest dużo prostsze niż wersja 2.

Sterowanie z regulatorem PID jest zagadnieniem wielu inżynierów z branży automatyki. Polega ono na ustawianiu odpowiednich parametrów w odpowiedzi na błąd, który w naszym przypadku jest różnicą między tym, co chcemy, a tym co aktualnie otrzymujemy. Należałoby więc znaleźć punkt, w którym chcielibyśmy uzyskać lewitację i względem odczytu Halla w danej pozycji mierzyć błąd. Biblioteki Arduino pozwalają w prosty sposób zaimplementować to w naszym układzie. Poszukujemy wzmocnień poszczególnych elementów:

P – proporcjonalnego (im większy błąd, tym większa reakcja).

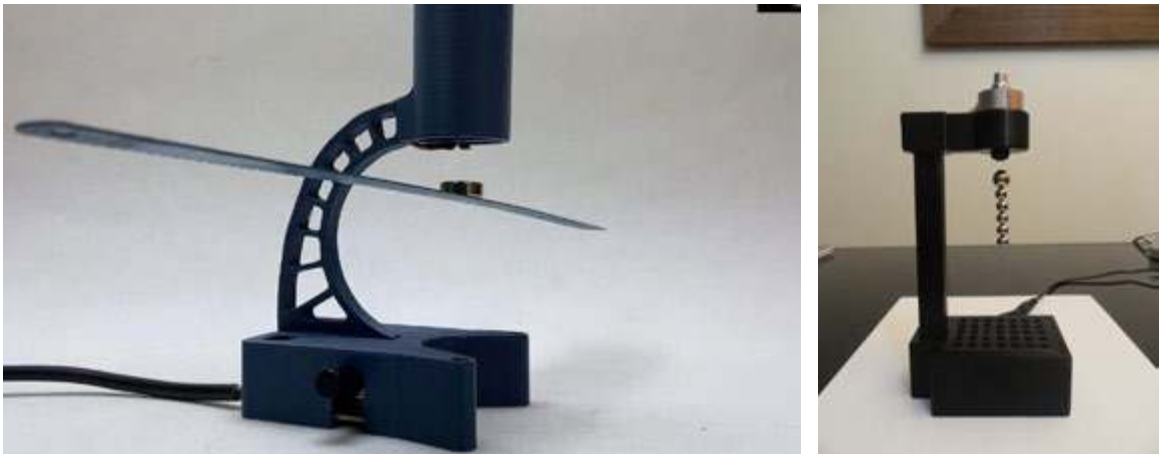
I – całkującego (liczy pole pod wykresem błędu, im większe, tym większa reakcja).

D – różniczkującego (liczy nachylenie pozwalające "przewidzieć" gdzie układ zmierza i w zależności od tego reaguje).

Jeśli uda nam się przebrnąć przez kalibrację systemu pozostało nam wykonać obudowę. Tutaj możecie dać ponieść się fantazji, jednak nie zapominajcie że musi on pasować do waszych wcześniejszych regulacji. W internecie mamy różne pomysły projektów 3D, które możemy albo zakupić, albo wydrukować na własnej drukarce. Poniżej przedstawiono kilka pomysłów którymi można się zainspirować.

BIBLIOGRAFIA

[1] pl.wikipedia.org/wiki/Lewitacja_magnetyczna
[2] https://www.real-world-physics-problems.com/levitron.html
[3] https://www.railjournal.com/technology/china-tests-ultra-high-speed-maglev/
[4] https://www.globaltimes.cn/page/202408/1317439.shtml
[5] https://web.mit.edu/2.737/www/MagLev/model/
[6] https://web.mit.edu/viz/levitron/Physics.html
[7] https://www.wikiwand.com/pl/articles/Efekt_Meissnera



Rys. 10. Przykładowe pomysły na obudowę naszego projektu lewitacji magnetycznej (pomysły użytkowników: Fraens (z lewej), Juan Sirgado (z prawej)).

eprasa.pl 189a207405

Leon N. Cooper
– teoretyk nadprzewodnictwa, artysta, fizyk i neurobiolog

Kazimierz **Mikulski**

Foto 1. ***Leon N. Cooper*** *(po ojcu –* ***Kupchik****; 28 lutego 1930 – 23 października 2024) był amerykańskim fizykiem teoretycznym i neurobiologiem https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c0/Nobel_Laureate_Leon_Cooper_in_2007.jpg*

Porównywał budowę fizyki do budowy wielkiej katedry, oba piękne ludzkie osiągnięcia, osiągnięte przez wiele rąk przez wiele lat i być może nigdy nie w pełni ukończone. W wieku 94 lat zmarł Leon N. Cooper, który wniósł pionierski wkład w naukową wiedzę na temat nadprzewodników niskotemperaturowych i nie tylko.

Polskie korzenie Coopera[1]

Właściwie to Leon N. Kupchick (Cooper) urodził się 28 lutego 1930 r. w Bronksie w Nowym Jorku. Jego ojciec Irving Kupchik pochodził z Białorusi i wyemigrował do Stanów Zjednoczonych po rewolucji rosyjskiej w 1917 r. Natomiast matka Anna (*z domu Zola*) Kupchik pochodziła z Polski. Zmarła, gdy Leon miał siedem lat. Ojciec po zmianie nazwiska z Kupchick na Cooper, ponownie się ożenił.

Praca naukowa

W pierwszych latach młodości L. Cooper uczęszczał do Bronx High School of Science, którą ukończył w 1947 r. Kolejnym etapem edukacji były studia na Uniwersytecie Columbia, gdzie w 1951 r. uzyskał, co ciekawe, tytuł licencjata sztuk pięknych. W następnym etapie pozostał na Uniwersytecie Columbia, aby kontynuować naukę na studiach podyplomowych, uzyskując w 1953 r. tytuł magistra sztuk pięknych oraz w 1954 r. tytuł doktora filozofii. Jego rozprawa doktorska dotyczyła atomów mionowych, a promotorem tej jego pracy był Robert Serber (1909–1997) – fizyk jądrowy.

Podczas pobytu na stażu podoktorskim w Princeton, Cooper poznał Johna Bardeena (1908-1991) będącego profesorem na University of Illinois i jego studenta Johna Roberta Schrieffera (1931-2019). Bardeen i Schrieffer pracowali nad nadprzewodnictwem. Był to nowy temat dla Coopera, jednak zgodził się na współpracę z nimi. Nadprzewodnictwo zostało odkryte eksperymentalnie w 1911 r ., ale nie było teoretycznego wyjaśnienia tego zjawiska.[2]

Cooper przeprowadził się do Illinois by kontynuować staż podoktorski i jednocześnie pracować z Bardeenem i spędził czas w Institute for Advanced Study w Princeton, na University of Illinois i Ohio State University, po czym w 1958 r. przeniósł się na Brown University, gdzie pozostał do końca swojej kariery.

Kontekst nowej teorii nadprzewodnictwa

W 1950 r. naukowcy odkryli, że temperatura, w której rtęć staje się nadprzewodnikiem, jest nieco wyższa dla izotopów rtęci o niższej masie atomowej, co sugeruje, że nadprzewodnictwo w jakiś sposób obejmuje ruch atomów w materiale, a także elektronów.

Kontynuując ten „efekt izotopowy", Bardeen i jego kolega z Illinois David Pines wykazali teoretycznie, że w sieci atomowej elektrony mogą się przyciągać, pomimo silnego odpychania elektrostatycznego. Zasadniczo elektron może tworzyć drgania między atomami sieci, które z kolei mogą wpływać na inne elektrony, więc przyciąganie jest pośrednie.[3]

W 1953 r. Brian Pippard (1920-2008), zmotywowany wcześniejszymi eksperymentami, zaproponował, że zmodyfikuje równania Londona za pomocą nowego parametru skali zwanego długością koherencji. John Bardeen argumentował następnie w artykule z 1955 r. „*Teoria efektu Meissnera w nadprzewodnikach*", że taka modyfikacja występuje naturalnie w teorii z przerwą energetyczną. Kluczowym składnikiem było obliczenie przez Leona Coopera stanów związanych elektronów poddanych sile przyciągania, co przedstawił w artykule z 1956 r. „*Związane pary elektronów w zdegenerowanym gazie Fermiego*"[4]

Cooper zasugerował, że ten mechanizm parowania może być odpowiedzialny za nadprzewodnictwo, ale Bardeen początkowo był sceptyczny. Sparowane elektrony nie znajdowały się fizycznie blisko siebie, ale poruszały się w skoordynowany sposób, zawsze mając równy, ale przeciwny pęd. Nie było jasne czy te cienkie, rozciągnięte pary można upchnąć razem, aby stworzyć nadprzewodzące medium bez ich zakłócenia. Kilka miesięcy później Schrieffer wpadł jednak na matematyczny sposób zdefiniowania stanu mechaniki kwantowej zawierającego wiele sparowanych

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Leon_Cooper#cite_note-brown-7
[2] *O historii napisano*: Mikulski K., 110-lecie odkrycia nadprzewodnictwa, „Fizyka w Szkole z Astronomią" nr 3, maj/czerwiec 2021, s. 22-29
[3] https://physics.aps.org/story/v18/st8#c1
[4] Cooper, Leon (listopad 1956). *„Związane pary elektronowe w zdegenerowanym gazie Fermiego"*. Physical Review. 104 (4): 1189–1190.

eprasa.pl 189a207405

elektronów, przy czym pary te nie zwracały uwagi na inne elektrony i sieć, co pozwalało im poruszać się bez przeszkód. Później porównał tę koncepcję do Fruga, popularnego wówczas tańca, w którym partnerzy taneczni mogli znajdować się daleko od siebie na parkiecie, rozdzieleni wieloma innymi tancerzami, a mimo to pozostawać parą.

Po roku badań teoretycznych Cooper rozwinął pomysł kwazicząstki składającej się z dwóch związanych elektronów, znanej obecnie jako para Coopera.

Wykazał, że dowolnie małe przyciąganie między elektronami w metalu może spowodować, że sparowany stan elektronów będzie miał niższą energię niż energia Fermiego, co oznacza, że para jest związana. W konwencjonalnych nadprzewodnikach to przyciąganie jest spowodowane oddziaływaniem **elektron – fonon**. Stan pary Coopera jest odpowiedzialny za nadprzewodnictwo, jak opisano w **teorii BCS**.

Cooper opublikował swoją koncepcję par Coopera w *Physical Review* we wrześniu 1956 r.[5] Ruch par Coopera przez metal o niskiej temperaturze byłby prawie niezakłócony, wytwarzając bardzo niski opór elektryczny.

[*W fizyce teoria Bardeena–Coopera–Schrieffera (BCS) (nazwana na cześć Johna Bardeena, Leona Coopera i Johna Roberta Schrieffera) jest pierwszą mikroskopową teorią nadprzewodnictwa*]

W tym miejscu (*jako ciekawostkę*) można dodać, że Pippard był opiekunem naukowym Briana Davida Josephsona (ur. 4 stycznia 1940) (który uzyskał tytuł doktora fizyki w 1964 r.), a który w 1973 r. otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki (wraz z Leo Esakim i Ivarem Giaeverem) za odkrycie tzw. *efektu Josephsona* [6]

Parowanie Coopera

Para Coopera, to układ dwóch fermionów, w nadprzewodnictwie np. elektronów, oddziałujących ze sobą poprzez drgania sieci krystalicznej, czyli fononów. Zostały opisane przez Leona Coopera i są elementem teorii BCS nadprzewodnictwa niskotemperaturowego. Powód parowania można dostrzec na podstawie uproszczonego klasycznego wyjaśnienia.

Elektron w metalu normalnie zachowuje się jak cząstka naładowana i jest on odpychany od innych elektronów ze względu na ich ładunek ujemny. Występuje również przyciąganie przez jony dodatnie, które tworzą sztywną sieć metalu.

To przyciąganie zniekształca sieć jonów, przesuwając jony nieznacznie w kierunku elektronu, zwiększając gęstość ładunku dodatniego sieci w pobliżu tego miejsca. Ten ładunek dodatni może przyciągać inne elektrony.

Na duże odległości to przyciąganie między elektronami ze względu na przemieszczone jony może pokonać odpychanie elektronów ze względu na ich ładunek ujemny i spowodować ich sparowanie. Ścisłe wyjaśnienie mechaniki kwantowej pokazuje, że efekt ten jest spowodowany oddziaływaniami **elektron – fonon**, przy czym fonon jest zbiorowym ruchem dodatnio naładowanej sieci.[7] Elektrony mogą korelować na dość znacznych odległościach, rzędu około 10 000 Å, a to poprzez fonony, których same są źródłem. Jednocześnie znaczna odległość wyklucza oddziaływania kulombowskie między nimi.

Energia oddziaływania parowania jest dość słaba, rzędu 10^{-3} eV, a energia cieplna może łatwo rozerwać pary. Tak więc tylko w niskich temperaturach, w metalu znaczna liczba elektronów jest związana w parach Coopera.

Efekty współpracy trzech naukowców

W dalszych badaniach Bardeen, Cooper i Schrieffer pokazali, jak może to powodować nadprzewodnictwo, publikując swoją teorię w *Physical Reviews* w dwóch artykułach w 1957 r.: Bardeen, J.; Cooper, LN; Schrieffer, JR (*kwiecień 1957*). Microscopic Theory of Superconductivity *„Mikroskopowa teoria nadprzewodnictwa”* . Physical Review. 106 (1): 162–164. https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.106.162 oraz Bardeen, J.; Cooper, LN; Schrieffer, JR (*1 grudnia1957*). (Phys. Rev. 108 1175) Theory of Superconductivity „*Teoria nadprzewodnictwa”* w której napisano:

„*Przedstawiono teorię nadprzewodnictwa opartą na fakcie, że oddziaływanie między elektronami wynikające z wirtualnej wymiany fononów jest atrakcyjne, gdy różnica energii między zaangażowanymi stanami elektronów jest mniejsza od energii fononu, ħxω. Korzystne jest utworzenie fazy nadprzewodzącej, gdy ta przyciągająca interakcja dominuje nad odpychającą, ekranowaną interakcją Coulomba. Faza normalna jest opisana przez model pojedynczej cząstki Blocha. Stan podstawowy nadprzewodnika, utworzony z liniowej kombinacji konfiguracji stanu normalnego, w których elektrony są wirtualnie wzbudzane w parach przeciwnego spinu i pędu, ma niższą energię niż stan normalny o ilość proporcjonalną do średniej(ħxω)2, zgodnie z efektem izotopowym.”*[8]

Teoria nadprzewodnictwa BCS bardzo skutecznie wyjaśniła zachowanie „*konwencjonalnych*” nadprzewodników niskotemperaturowych, takich jak rtęć i cyna. Znalazła również zastosowanie w fizyce cząstek, przyczyniając się do powstania pojęcia spontanicznego łamania symetrii.

Za swoją pracę trio otrzymało w 1972 r. Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki „za wspólnie opracowaną teorię nadprzewodnictwa, powszechnie zwaną teorią BCS”.[9]

[5] Cooper, Leon (listopad 1956). „Związane pary elektronowe w zdegenerowanym gazie Fermiego”. Physical Review, 104 (4): 1189–1190. Bibcode: 1956PhRv..104.1189C . doi : 10.1103/PhysRev.104.1189 „Bound Electron Pairs in a Degenerate Ferxai Gas”*) https://journals.aps.org/pr/pdf/10.1103/PhysRev.104.1189

[6] Josephson, BD (1962). „Możliwe nowe efekty w tunelowaniu nadprzewodzącym”. Physics Letters. 1 (7). Elsevier BV: 251–253. https://en.wikipedia.org/wiki/Brian_Pippard

[7] https://en.wikipedia.org/wiki/Cooper_pair#cite_note-4

[8] https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.108.1175

[9] https://en.wikipedia.org/wiki/Superconductivity

eprasa.pl 189a207405

Photo from the Nobel Foundation archive.
John Bardeen
Prize share: 1/3

Photo from the Nobel Foundation archive.
Leon Neil Cooper
Prize share: 1/3

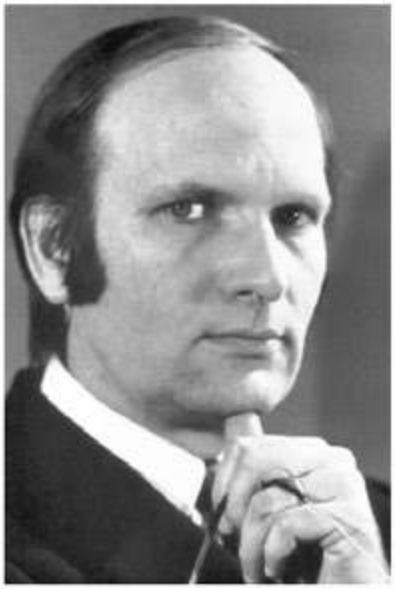


Photo from the Nobel Foundation archive.
John Robert Schrieffer
Prize share: 1/3

W wywiadzie w 2013 r. Cooper powiedział: „*Ludzie mnie pytają: Co robiłeś po otrzymaniu Nagrody Nobla? Czy chodziłeś do pracy każdego dnia, próbując zdobyć kolejną? Absolutnie nie. Po prostu idź do pracy*”.[10]

„*Leon Cooper jest gigantem w świecie fizyki, ale nosi swój płaszcz osiągnięć lekko*” – powiedział wówczas James Valles, profesor fizyki, dodając: „*To niezwykłe, jak był zaangażowany w pracy w Brown i przystępny od czasu zdobycia Nagrody Nobla w 1972 r. Przez lata był skutecznym mentorem i doradcą niezliczonej liczby studentów i młodszych pracowników naukowych. Ugruntował naszą reputację w ciągu swojej 55-letniej kariery w Brown*”.[11]

Od teorii BCS do stosowania BCM

Kontynuując pracę nad nadprzewodnictwem, Cooper w swojej karierze zwrócił się ku neuronauce. W 1973 r. założył i kierował Brown's Institute for Brain and Neural Systems, który badał układy nerwowe zwierząt i mózg człowieka. W latach 80. opracował fizyczną teorię uczenia się w korze wzrokowej, zwaną teorią „BCM”, nazwaną na cześć Coopera i jego współpracowników Eliego Bienenstocka i Paula Munro. Współpracując z kilkoma kolegami Cooper zaczął badać sposoby modelowania mechanizmów kory wzrokowej mózgu. Stworzony model opierał się na idei, że synapsy, które przenoszą sygnały chemiczne między neuronami, są kluczowe dla pamięci. W 1982 r. opublikował teorię, która była jednym z pierwszych modeli matematycznych pokazujących, w jaki sposób modyfikacja synaptyczna może prowadzić do pewnych form uczenia się i pamięci. Teoria została nazwana BCM. Wraz z Charlesem Elbaumem założył także firmę technologiczną Nestor, której celem było znalezienie zastosowań komercyjnych i wojskowych dla sztucznych sieci neuronowych.

Czas na pozostałe nagrody

Leon N. Cooper otrzymał w 1968 r. Nagrodę Comstocka od Narodowej Akademii Nauk USA, a w 1977 r. Medal Kartezjusza od Akademii Paryskiej.

Napisał również wiele książek, m.in. *An Introduction to the Meaning and Structure of Physics* w 1968 r. oraz *Physics: Structure and Meaning* w 1992 r. Niedawno, w 2014 r., opublikował *Science and Human Experience*.

„*Intelektualna ciekawość Leona nie znała granic*”, zauważa Peter Bilderback, który pracował z Cooperem w Brown[12] i dodaje: „*Czuł się swobodnie rozmawiając na każdy temat, w tym na temat sztuki, którą bardzo kochał. Często porównywał budowę fizyki do budowy wielkiej katedry, oba piękne ludzkie osiągnięcia, osiągnięte przez wiele rąk przez wiele lat i być może nigdy nie w pełni ukończone*”.

Teoria „BCS” miała również istotny wpływ na teorie fizyki cząstek elementarnych i stanowiła punkt wyjścia dla wielu prób wyjaśnienia nowych nadprzewodników wysokotemperaturowych.

dr Kazimierz Mikulski
Maksymilianowo

[10] https://www.brown.edu/news/2024-10-28/leon-cooper
[11] https://www.brown.edu/news/2024-10-28/leon-cooper
[12] https://www.brown.edu/news/2024-10-28/leon-cooper

eprasa.pl 189a207405

Żywoty fizyków

Hans Christian Oersted

Tadeusz **Wibig**

Hans Christian Oersted, portret z 1830 r. wikimedia.commons.org

Po duńsku Ørsted urodził się w małym miasteczku Rudkøbing na wyspie Langeland w Danii 14 sierpnia 1777 roku. Hans i jego młodszy brat Anders kształcili się w systemie edukacji domowej co w ich przypadku dało doskonałe rezultaty: Anders został na trochę ponad rok premierem duńskiego rządu, a o karierze Hansa będzie niżej. W wieku 12 lat zaczął pomagać ojcu, który był właścicielem apteki i być może wtedy zainteresował się chemią. W wieku 16 lat zdał egzamin wstępny na Uniwersytet Kopenhaski. W wieku 19 lat, w 1796 r., ukończył tam farmację, a mając 22 lata, w 1799 r. uzyskał stopień doktora za pracę „*Dissertatio de forma metaphysices elementaris naturae externae*," o filozofii przyrody Immanuela Kanta.

W 1800 roku Volta przedstawił światu swoją baterię [Fizyka w Szkole 64/4, 26 (2019)], a Oersted został kierownikiem apteki. Bateria Volty rozszerzyła znacznie możliwości badań eksperymentalnych. Do tej pory elektryczność była zasadniczo utożsamiana z wzajemnym pocieraniem dielektryków innymi dielektrykami i indukcją elektrostatyczna, czego skutkiem było pojawianie się w sumie niedużych ładunków, a co za tym idzie i prądów, przy znacznych czasem różnicach potencjałów. Bateria pozwalała na potencjały na ogół zdecydowanie mniejsze, ale za to prądy mogły płynąć większe i przez czas zdecydowanie dłuższy.

Oersted już w 1801 roku opublikował artykuł naukowy opisujący jego własną baterię i podał sposób, w jaki wyznaczyć wielkość przepływającego prądu elektrycznego, mierząc szybkość produkcji gazów w procesie elektrolizy wody.

Rząd duński przyznał Oerstedowi trzyletnie stypendium umożliwiając mu tym samym podróżowanie po Europie. Spędził ten czas głównie w Niemczech i Francji.

Jako filozof z wykształcenia Oersted przyswoił filozofię nauki **Friedricha Wilhelma Josepha von Schellinga**, a szczególnie zauroczył go skądinąd bardzo głęboki i z natury romatyczny pogląd na jedność Wszechświata. Jak sam pisał w *Materialien zu einer Chemie des neunzehenten Jahrhunderts* [Regensburg, 1803 r.]

> „*W ten sposób nasza fizyka nie byłaby już zbiorem fragmentów dotyczących ruchu, ciepła, powietrza, światła, elektryczności, magnetyzmu i kto wie czego jeszcze, ale objęlibyśmy cały wszechświat jednym systemem*".

Szczególnie warto zwrócić uwagę na postulowaną w tym zdaniu unifikację magnetyzmu i elektryczności.

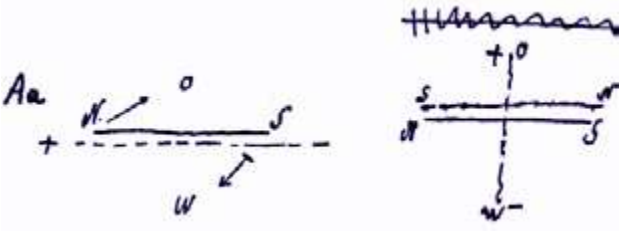
W 1806 roku Oersted został profesorem na Uniwersytecie w Kopenhadze i kontynuował tam badania nad elektrycznością. Mówi się, że swojego największego odkrycia, dzięki któremu przeszedł do podręczników fizyki, dokonał przypadkiem pokazując studentom, jak to prąd z baterii potrafi ogrzać drut, w którym płynie. Przypadkowo obok stał kompas i Oersted zauważył wychylenie igły, gdy włączał prąd.

Przez kilka następnych miesięcy Oersted przeprowadzał kolejne eksperymenty aż wreszcie ogłosił swoje odkrycie 21 lipca 1820 roku w czterostronicowym artykule (po łacinie), który wkrótce został przetłumaczony na większość głównych języków europejskich. Angielski artykuł Oersteda nosił tytuł *Experiments on the Effect of a Current of Electricity on the Magnetic Needle* [Annals of Philosophy, or, Magazine of Chemistry, Mineralogy, Mechanics, Natural History, Agriculture, and the Arts v.16 1820].

Już we wrześniu tegoż roku praca Oersteda została przedstawiona przez **Françoisa Arago** z Francuskiej Akademii Nauk i zaraz potem **André-Marie Ampère** [Fizyka w Szkole 60/6, 36 (2015)] idąc dalej tym tropem zauważył, że dwa równoległe przewody, w których płynie prąd odpychają się, lub przyciągają zależnej od tego, czy prąd płynie w nich w tym samym, czy w przeciwnych kierunkach. I tak narodziła się elektrodynamika ostatecznie uwieńczona czterema równaniami znanymi powszechnie jako równania Maxwella.

Są tacy, a w większości są to Włosi, którzy twierdzą, że związek między elektrycznością i magnetyzmem został odkryty dwadzieścia lat wcześniej przez włoskiego

eprasa.pl 189a207405

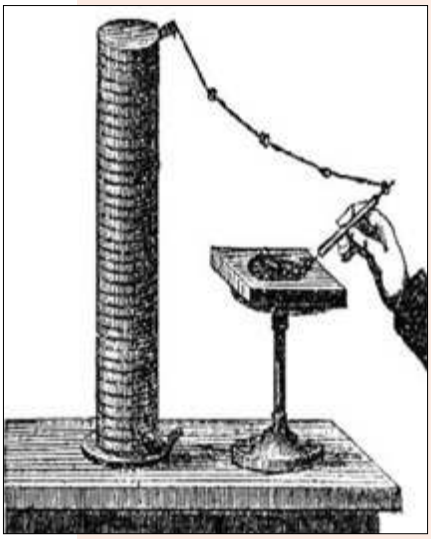


Oryginalne notatki Oersteda. Pokazuje on, w jaki sposób prąd elektryczny płynący w przewodzie powoduje obrót znajdującej się w pobliżu namagnesowanej igły kompasu.

prawnika z zawodu i fizyka z zamiłowania Giovanni **Domenico Romagnosiego.**

Pochodził on z małej wioski niedaleko Piacenzy Salso Maggiore. W 1791 został urzędnikiem w magistracie w Trydencie. Miasto było wtedy pod panowaniem Francuzów, co ważne jest o tyle, że w 1799 roku Trydent zajęła Austria i Romagnosi ze względu na swoje powiązania z francuskim rządem stał się osobnikiem podejrzanym, został aresztowany i trafił na piętnaście miesięcy do więzienia w Innsbrucku.

„Pan Giandomenico Romagnosi [...] przygotował stos pana Volty, zbudowany z okrągłych blaszek cynku i miedzi, na przemian z kawałkami wilgotnej flaneli z wodą zaimpregnowaną solą amoniakalną; srebrny drut, podzielony na kilka kawałków jak łańcuch, został przymocowany do stosu. Ostatni segment łańcucha przechodził przez szklaną rurkę, a od jej zewnętrznego zakończenia rozciągała się gałka z czystego srebra przymocowana do łańcucha. Następnie wziął zwykłą igłę magnetyczną w formie kompasu morskiego, w kwadratowej drewnianej desce; [...] umieścił go nad szklanym izolatorem, w pobliżu wspomnianego stosu. Następnie, biorąc srebrny łańcuch i trzymając go za wyżej wspomnianą szklaną rurkę, zbliżył jego koniec do igły magnetycznej i utrzymując kontakt przez kilka sekund, sprawił, że igła odchyliła się od kierunku biegunów o kilka stopni. [...]”



Rekonstrukcja eksperymentu Romagnosiego.

Z pewnego punktu widzenia nie było to takie złe. Tam bowiem dowiedział się odkryciu Volty i siedząc jeszcze w więzieniu rozpoczął studia nad elektrycznością. Te nieprofesjonalne badania ostatecznie doprowadziły do jego słynnego eksperymentu dotyczącego wpływu stosu Volty na igłę magnetyczną. Opublikował on raport o nim w lokalnych czasopismach (po włosku oczywiście) [*Gazzetta di Trento, Gazzetta di Trentino* albo *Gazzetta di Roveredo*, a może *Ristretto dei foglietti universali di Trento* szczegóły nie są jasne].

Opis doświadczenia Romagnosiego budzi pewne wątpliwości. Nie wydaje się, aby obwód przez niego zbudowany został zamknięty, a zatem z baterii nie płynął żaden prąd. Skąd więc widziane przez niego wychylenie igły? Trudno powiedzieć.

Tymczasem sława Oersteda szybko obiegła świat. W marcu 1821 r. został członkiem *The Royal Society of Edinburgh,* w kwietniu członkiem zagranicznym *the Royal Society of London*. W 1922 r. został też członkiem zagranicznym *Royal Swedish Academy of Sciences*, a w 1929 członkiem *American Philosophical Society*.

Oersted nie zamierzał jednak osiadać na laurach. Pośród wielu bardzo znaczących działań administracyjnych jakich się podejmował wymienić należy założenie w 1824 r. *Selskabet for Naturlærens Udbredelse* (Towarzystwa Upowszechniania Nauk Przyrodniczych), *Patent- og Varemærkestyrelsen* (Duńskiego Urzędu Patentowego i Znaków Towarowych) organizacji, które ostatecznie przekształciły się w *Danmarks Meteorologiske Institut* (Duński Instytut Meteorologiczny), i wreszcie założenie w 1829 r. *Den Polytekniske Læreanstalt*, które stało się w Duńskim Uniwersytetem Technicznym.

W swoim życiu naukowym, mimo nawału obowiązków, wrócił do swych pierwszych naukowych zainteresowań, czyli do chemii. Jeszcze w 1820 r. wyizolował związek zwany piperiną (zasadniczy, najistotniejszy kulinarnie składnik zwykłego pieprzu). W 1824 r. jako pierwszy wyprodukował aluminium w stanie czystym. Było ono przewidziane już w 1808 r. przez Humphry'a **Davy,** jednak próby wyizolowania go za pomocą procesów elektrolizy zakończyły się wtedy niepowodzeniem. Oerstedowi udało się wyizolować formę metaliczną poprzez reakcję chlorku glinu z amalgamatem potasu, a następnie wygotowanie niechcianej rtęci.

Pod koniec życia zwrócił się także ku filozofii. W roku 1850 przygotował wielkie i znaczące dzieło *Der Geist in der Natur*. Po angielsku opublikowano je rok po śmierci Oersteda w roku 1852 pod tytułem *The Soul in Nature*.

Na koniec można dodać, że Hans Christian Oersted przyjaźnił się z innym, może nawet bardziej znanym, szczególnie wśród dzieci Hansem Christianem – Andersenem.

W uznaniu zasług Oersteda dla światowej nauki od roku 1930 zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej oficjalnie jego imieniem nazwa się jednostkę natężenia pola magnetycznego (oznaczanego najczęściej we wzorach literą $\boldsymbol{H}$ w odróżnienia od $\boldsymbol{B}$ – indukcji magnetycznej). Związek między tymi wielkościami jest prosty $\boldsymbol{B} = \boldsymbol{\mu H}$, gdzie $\boldsymbol{\mu}$ to przenikalność magnetyczna ośrodka. Ersted (**Oe**), bo tak się oficjalnie ta jednostka po polsku nazywa jest używany w starym układzie jednostek opierającym się na trójcy: centymetr-gram-sekunda (CGS). Układ ten jest sukcesywnie wypierany przez układ SI. W układzie SI jednostką natężenia pola magnetycznego jest **A/m** (amper na metr)

$$\mathbf{1\ Oe = 1000/(4\pi)}\ (\approx 79.5775)\ \mathbf{A/m}$$

eprasa.pl 189a207405

W ubiegłym jeszcze wieku wystrzelony został z amerykańskiej bazy Vandenberg mały duński satelita nazwany imieniem Oersteda. Po spędzeniu ponad dwudziestu lat na orbicie satelita ten nadal działa i wciąż przesyła dokładne dane na temat pola magnetycznego Ziemi. Na podstawie tych pomiarów stwierdzono ostatnio, że bieguny magnetyczne Ziemi przesuwają się coraz prędzej, z czego coś może wynikać, ale nie ma powodu do paniki. Oersted czuwa!

Tak dziś wygląda Ørsted.

Doświadczenie domowe:

Magnetyczne efekty płynącego prądu

A. Potrzebne materiały
1. Dowolna igła do szycia
2. Talerzyk
3. Magnes neodymowy
4. Bateryjka R20
5. Jakieś pół metra grubego (~1 mm) drutu, najlepiej miedzianego
6. Korek od butelki
7. Woda
8. Łyżeczka (lub inny stalowy przedmiot, np. gwóźdź)

B. Narzędzia: nóż

C. Kolejność czynności
1. Igłę namagnesować (wystarczy parę razy potrzeć ją neodymowym magnesem. Czy osiągnęliśmy zadowalający efekt końcowy, przekonujemy się sprawdzając, czy łyżeczka (lub inny stalowy przedmiot, np. gwóźdź) przyciąga igłę? Jeśli nie, pocieramy igłę dalej – do skutku).
2. Odciąć z korka plasterek o grubości kilku milimetrów.
3. Nalać na talerzyk trochę wody.
4. Delikatnie ułożyć plasterek korka na wodzie., a na nim namagnesowaną igłę.
5. Poczekać chwilę.
6. Jeśli dobrze namagnesowaliśmy igłę, powinna ustawić się w kierunku północ-południe.
7. Wyginamy drut w pętlę (z fragmentem pośrodku w miarę prostym) tak, aby oba końce można połączyć z biegunami trzymanej w ręku baterii.

8. Ustawiamy pętlę prostym odcinkiem drutu równolegle nad pływającą w kierunku N-S igłą w możliwie bliskiej odległości (~1 cm).
9. Łączymy oba końce drutu z baterią.
10. Obserwujemy zachowanie igły.
11. Powinna się ona trochę obrócić, odłączamy baterię.
12. Igła powinna wrócić na kierunek N-S.
13. Podłączamy ponownie baterię zmieniając jej bieguny.
14. igła powinna obrócić się o takie samo trochę w przeciwnym kierunku.

Można doświadczenie rozbudować dokładając szeregowo jeszcze jedną i więcej baterii. Można też próbować zmieniać odległość drutu od igły, jednak próba określenia, jak siła oddziaływania zależy od odległości nie jest łatwa. Oerstedowi się nie udało. Dokonali tego w tym samym roku jeszcze dwaj zdolni Francuzi **Jean-Baptiste Biot** i **Félix Savart**.

eprasa.pl 189a207405

Foto – Dreamstime

Fizyka... klimat... człowiek...

(Miniatura dydaktyczna)

Do napisania tej pracy sprowokował mnie artykuł pana Tadeusza Wibiga „Dlaczego warto uczyć się fizyki", a który ukazał się w specjalnym e-Wydaniu zatytułowanym: „Zadania z fizyki z elementami dydaktyki". Autor w tej pracy wykonuje szereg obliczeń dotyczących m.in. energii padającego deszczu.

Waldemar **Reńda**

Zanim jednak przejdę do tych i innych zadań, zacytuję jedno ze stwierdzeń autora na temat zadań z fizyki. Pisze on, że na ogół są to zadania, w których „odpowiedź nie jest ważna, a przynajmniej nie jest ważna sama w sobie. Służy ona tylko sprawdzeniu, czy uczeń zdołał rozszyfrować zagadkę wymyśloną przez autora." I dalej pisze, że te „wyrafinowane" zadania „z ambitnego zbioru, stworzonego przez szczególnie złośliwego autora" nie kształcą naukowej wyobraźni.

Zadania mało poznawcze

Pozwolę sobie na pewien komentarz. To prawda, że w większości zadań fizycznych nie jest ważny wynik, a jedynie umiejętność odpowiedniego zastosowania i przekształcania odpowiednich wzorów. Czy one są wartościowe dydaktycznie? Otóż, w niewielkim stopniu, bo ograniczają się do utrwalania poznanych wzorów, funkcji itp. oraz „trenują" pewne operacje matematyczne. Pamiętam, że gdy moja siostra była w kl. X, to ja jej rozwiązywałem zadania z fizyki, mimo że byłem w klasie VIII. Wystarczyło, że pokazała mi wzory, które poznała na ostatnich lekcjach. Oczywiście miałem pewną satysfakcję, że udało mi się je rozwiązać, ale była to satysfakcja podobna do tej, gdy ułoży się puzzle lub kostkę Rubika. Ale to zdecydowanie za mało dla procesu dydaktycznego.

Aby zadanie miało wartość dydaktyczną, musi służyć rozwiązaniu konkretnego problemu fizycznego, który uzupełni treści nauczania. **Zadanie musi mieć wartość poznawczą.** Wówczas odpowiedź będzie zwieńczeniem dokonanej analizy problemu i będzie bardzo ważnym elementem poznawczym.[1]

Niestety, zadania w aktualnie wydawanych zbiorach są przematematyzowane i mało wartościowe dydaktycznie. Dodam jeszcze z przykrością, że i **odhumanizowane,** jak cała szkolna fizyka oraz w znacznej mierze pozostałe przedmioty przyrodnicze.

Czy wspomniane wyżej zadania układają osoby złośliwe? Nie sądzę. Znam niektórych autorów i uważam, że nie są złośliwi. Problem polega na tym, że chcą układać zadania nowe. W efekcie więc powstają zadania coraz bardziej – jak to ujął T. Wibig – „wyrafinowane".

Weźmy na przykład wydawane obecnie przez WSiP zbiory zadań przeznaczone dla uczniów realizujących program rozszerzony. Są to zadania bardzo poprawne merytorycznie, ale – niestety – dotyczące hipotetycznych i dalekich od rzeczywistości przypadków. Można mieć również zastrzeżenia do niektórych nierzeczywistych danych – np. 2-minutowego okresu drgań bliżej nieokreślonego wahadła.

[1] Szerzej piszę na ten temat w artykule zamieszczonym w tym samym e-Wydaniu (s. 13.).

eprasa.pl 189a207405

Co zaciekawi uczniów?

Autor wspomnianego wyżej artykułu proponuje zadania, które wg niego zaciekawią uczniów, a przede wszystkim dotyczą dobrze znanych zjawisk. Oblicza zatem energię kinetyczną spadających kropel i porównuje tę wartość z energią potencjalną wody zawartej w chmurze. Okazuje się, że brakuje znaczna jej część. Dlaczego? Słusznie odpowiada, że energia ta uległa rozproszeniu w wyniku oporu powietrza.[2] A dokładniej: równa jest pracy owych sił oporu. Wiąże się to ze wzrostem energii wewnętrznej kropel i atmosfery, co powinno podnieść jej temperaturę. Wniosek: padające deszcze zwiększają efekt cieplarniany. Czyżby? Otóż autor zapomniał o tym, że aby woda ta dotarła do chmur musiała zostać wykonana praca „kosztem" energii wewnętrznej atmosfery. A zatem bilans energetyczny jest zerowy i deszcze nie mają wpływu na efekt cieplarniany.[3] Podobnie jest z opadami śniegu. Tylko Panie Tadeuszu! Śnieg się nie „rozpuszcza", ale topi. Ach ten język osób piszących na tematy fizyczne…!

Dalej autor proponuje wykorzystanie energii spadających liści oraz energię potencjalną sztucznej góry pod Kamieńskiem w ten sposób, by tą górą zasypać wyrobisko. Ba, autor idzie dalej i proponuje to samo z Tatrami, Sudetami i Górami Świętokrzyskimi. Kończy słowami: „niestety tej energii starczyłoby Polsce zaledwie na kilka lat."

Jak to skomentować? O ile badanie bilansu energii deszczu ma pewien walor poznawczy, to resztę analiz należy potraktować z dużym przymrużeniem oka. Ot, matematyczna zabawa, bo autor zapomniał, że chcąc owo wyrobisko bełchatowskie zasypać, trzeba by wykonać kolosalną pracę. Dodam, że owa góra już jest ciekawym elementem krajobrazu oraz terenem rekreacyjnym dla mieszkańców Bełchatowa. W dodatku na jej szczycie powstaje farma wiatrowa. Natomiast jezioro, które powstanie po zalaniu odkrywki, będzie nie tylko najgłębszym jeziorem środkowowschodniej Europy, ale i rajem dla miłośników rekreacji wodnej. W dodatku zbiornik wodny zmniejszy deficyty wody w tym rejonie, bo powstała odkrywka znacznie obniżyła poziom wód gruntowych, co niekorzystnie wpływa na stan lasów i na uprawy rolne. Zostawmy więc tę górę tam, gdzie jest. Podobnie jak i Tatry, Sudety czy Góry Świętokrzyskie. Czy zatem robić z uczniami tego typu zadania? Wątpię. Natomiast zgadzam się z tytułem pracy. Tak, **fizyki warto się uczyć**, by rozumieć zachodzące w przyrodzie zjawiska i by zachowywać się rozsądnie. Ale o tym – potem...

Człowiek, energia i efekt cieplarniany

Wrócę jednak do owej energii deszczu czy energii potencjalnej góry. Jest to energia potencjalna grawitacji. Czy ją wykorzystujemy? Tak. Od dawna bowiem na większych strumieniach i rzeczkach budowano młyny. Przy okazji spiętrzano wodę w powstałych stawach przed stawidłami,[4] by ją potem wykorzystać w pracy młyna. Dziś buduje się elektrownie wodne z dużymi jeziorami zaporowymi.[5]

Energię potencjalną spiętrzonej wody wykorzystuje się również do gromadzenia nadmiaru energii elektrycznej. Do tego celu służą elektrownie szczytowo-pompowe. Niestety, ich sprawność nie jest duża, bo nie przekracza 40%. Będą jednak odgrywały dużą rolę, gdy zwiększy się ilość energii elektrycznej „wytwarzanej"[6] przez wiatraki oraz fotowoltaikę.

A energia potencjalna grawitacji innych ciał?

Są projekty, by ją wykorzystać podobnie jak w przypadku elektrowni szczytowo-pompowych. I tak np. ciało o masie 1 tony podniesione na wysokość 50 m ma energię potencjalną względem poziomu przyjętego jako zerowy w przybliżeniu równą 500 kJ. Przy czym sprawność takiego urządzenia jest porównywalna ze sprawnością akumulatorów chemicznych.

Foto – Dreamstime

[2] Wartość tej siły można obliczyć ze wzoru: $\frac{1}{2}C_xS\rho v^2$, gdzie C_x to bezwymiarowy współczynnik zależny od kształtu ciała (dla kropli jest równy 0,2), S – to maksymalny przekrój kuli prostopadły do kierunku jej ruchu, zaś ρ – to gęstość powietrza. Z I zasady dynamiki Newtona wynika, że kropla porusza się z taką prędkością, by jej ciężar był co do wartości równy sile oporu dynamicznego działającego na tę kroplę. Zatem: $mg = \frac{1}{2}C_xS\rho v^2$. Wynika stąd, że prędkość spadania kropli jest proporcjonalna do pierwiastka z jej masy.

[3] Dokładniejsza analiza problemu wymaga uwzględniania ciepła parowania i ciepła skraplania. W efekcie woda parująca oziębia się. Natomiast skraplająca się para w chmurze oddaje to ciepło. Ponieważ ciepło skraplania i parowania maleje wraz z temperaturą, zatem skraplająca się para w temperaturze niższej niż ta, w której powstała, oddaje nieco więcej ciepła do otoczenia niż pobrała w czasie parowania.

[4] Takie stawy są również korzystne biologicznie i klimatycznie.

[5] Korzystne są tego typu zapory na górskich rzekach, bo równocześnie regulują przepływy wody. W dodatku jezioro zaporowe nie zajmuje tu zbyt dużego obszaru, jak to jest w przypadku terenów nizinnych, gdzie nie jest to korzystne z wielu względów, ale to temat na osobną rozprawkę.

[6] Nie „wytwarza" się energii, tylko się ją przetwarza.

eprasa.pl 189a207405

Procesy energetyczne zachodzące w przyrodzie decydują o stanie i zmianach ziemskiego klimatu. Jest on pochodną wzajemnych oddziaływań zachodzących pomiędzy atmosferą, hydrosferą, kriosferą, litosferą i biosferą. Układ ten jest w równowadze chwiejnej i podlega fluktuacjom. Zaburzenia tej równowagi mogą spowodować różne czynniki – zarówno wewnętrzne (fluktuacje parametrów opisujących stan składników układu), jak i zewnętrzne (np. wybuchy wulkanów czy też zmiany aktywności słonecznej), a także człowiek.

Zaburzeniem wywołanym działalnością człowieka jest m.in. tzw. **efekt cieplarniany**. O tym, że za efekt ten odpowiadają takie gazy jak dwutlenek węgla, tlenki siarki i metan,[7] to już wiemy.[8] Wiemy jednak, że zawsze w atmosferze był dwutlenek węgla i nie wzrastała temperatura mórz i atmosfery. W przyrodzie bowiem występują mechanizmy samoregulujące. I tak wzrost ilości CO_2 w powietrzu i w wodzie powoduje rozrost masy zielonej,[9] a ta pochłaniając go, zmniejsza jego zawartość w atmosferze.

Tak było do czasu tzw. wielkiej rewolucji przemysłowej, której skutkiem jest spalanie ogromnych ilości węglowodorów i uwalnianie się owych gazów cieplarnianych. Dodatkowo w wyniku spalania węgla powstaje sadza, która silnie absorbuje promieniowanie słoneczne.

Wiemy, jaki jest „mechanizm" efektu cieplarnianego związany z istnieniem owych gazów cieplarnianych. Natomiast warto wspomnieć o innych przyczynach. A mianowicie, jaki wpływ na klimat ma Słońce? Jeżeli założymy, że jego moc emisyjna jest stała, to – poza niewielkimi fluktuacjami – klimat nie powinien ulegać większym zmianom. Działa tu bowiem ów mechanizm samoregulacji. Jeżeli nasłonecznienie rośnie, to rośnie również szybkość parowania wody z mórz, oceanów, rzek, jezior oraz gleby. Parująca woda pobiera ogromne ilości energii,[10] co hamuje proces wzrostu temperatury. Ponadto zwiększa się zachmurzenie. A ponieważ chmury w znacznym stopniu odbijają promieniowanie słoneczne, więc mniej promieniowania dociera do powierzchni Ziemi i ją ogrzewa.[11] Ale gdy ta równowaga zostaje zaburzona, wówczas rośnie temperatura lądów i mórz, topią się lodowce, w wyniku czego odkrywa się coraz większa powierzchnia gruntu, a ów grunt absorbuje promieniowanie, co przyspiesza proces ocieplania gruntu, wody i powietrza. Efektem jest wzrost poziomu oceanów. Obecnie szybkość tę ocenia się na ok. 3 do 5 mm/rok.[12] Ale ta szybkość może ulec zwiększeniu, co grozi poważnymi skutkami gospodarczymi dla wielu krajów.

Czy lody stopnieją?

Stopienie się lodu pływającego nie powoduje wzrostu poziomu mórz (zob. prawo Archimedesa). Poziom ten rośnie w wyniku topnienia lodowców zarówno na Grenlandii, Antarktydzie, jak i tych górskich. Obliczmy zatem o ile wzrośnie poziom oceanów w wyniku stopienia się całego lodowca grenlandzkiego.

Proszę się nie obawiać. Rachunek nie jest trudny. Wystarczą pewne dane encyklopedyczne i kalkulator.

---

[7] Metan uwalniany jest z topniejącej wiecznej zmarzliny.

[8] Przepuszczają one promieniowanie słoneczne, a równocześnie absorbują promieniowanie cieplne emitowane przez powierzchnię Ziemi.

[9] Dotyczy to zarówno roślinności na lądzie jak i morskiego fitoplanktonu. Dodam, że wraz ze wzrostem temperatury wody, maleje zdolność rozpuszczania się w niej gazów, w tym tlenu i CO_2, co negatywnie wpływa na rozwój zarówno zoo- jak i fitoplanktonu.

[10] W temperaturze 20°C ciepło parowania wody to 585 cal/g, czyli 2450 kJ/kg. Zob. też odnośnik 2.

[11] Chmury również zatrzymują promieniowanie cieple gruntu. Fakt ten sprawia, że zachmurzenie łagodzi letnie upały oraz zmniejsza zimowe mrozy.

[12] Problem z pomiarem tego wzrostu polega m.in. na tym, że występują pionowe ruchy poszczególnych fragmentów skorupy ziemskiej. I tak np. Skandynawia uwolniona od ciężaru lodowca wypiętrza się, a teren Niderlandów się obniża.

eprasa.pl 189a207405

Oto one: powierzchnia Grenlandii: 2166 tys. km^2. Z tego 81% jest pokryte lodowcem. Zatem lodowiec ma powierzchnię 1754,5 tys. km^2. Jeżeli średnia grubość lodowca wynosi 1,5 km, to ma on objętość 2632 tys. km^3. Ponieważ lód ma gęstość równą 0,91 gęstości wody, zatem z tego lodu powstanie 2395 tys. m^3 wody. Oceany mają powierzchnię równą ⅔ powierzchni kuli ziemskiej, czyli:

$$\tfrac{2}{3}(4\pi \cdot R_Z^2) = \tfrac{2}{3}(4\pi \cdot 6371^2)\ km^2 = 3{,}4 \cdot 10^8\ km^2.$$

Powstanie więc warstwa wody o grubości:

$$2{,}4 \cdot 10^6 : 3{,}4 \cdot 10^8 = 0{,}007\ km = 7\ m$$

Otrzymaliśmy wynik zgodny z tym, który podają ekolodzy.

Nie sądzę jednak, że stopi się cały lód grenlandzki. Zapewne pozostanie lodowiec w jej północnej części. Tym się jednak nie pocieszajmy, bo przyrost poziomu oceanów już o 2 m może spowodować katastrofalne skutki.

A lodowce na Antarktydzie? Tu topią się w zasadzie jedynie lodowce szelfowe oraz przybrzeżne pola lodowe, czyli te, które pływają. Zatem raczej nie powinny zwiększyć poziomu oceanów. Dodam, że przyrost objętości oceanów jest również skutkiem wzrostu ich temperatury. Na szczęście spływająca z lodowców woda o temperaturze bliskiej zeru nieco hamuje ów przyrost.

Jak widać, winowajcami tego wszystkiego są gazy cieplarniane i Słońce.[13] Ono bowiem dostarcza energię, która wywołuje wszelkie zjawiska zachodzące w oceanach jak np. prądy morskie z Golfsztromem i El Ninio na czele, jak i zjawiska atmosferyczne. To ono napędza ów potężny silnik cieplny wprawiający w ruch owe masy wody i powietrza. To Słońce jest odpowiedzialne za sztormy, huragany, tornada, powodzie,[14] ale też dostarcza życiodajnej energii wywołującej fotosyntezę i zapewnia dogodną temperaturę dla powstania życia i jego rozwoju.

Układ Słońce-Ziemia

A energii tej jest sporo! Otóż do Ziemi do 1 m^2 powierzchni prostopadłej do padającego promieniowania w ciągu 1s dociera 1368 J energii promienistej zarówno w zakresie światła widzialnego, podczerwieni jak i nadfioletu (UV).[15]. Wartość ta zwana jest **stałą słoneczną** i jest mierzona ponad atmosferą Ziemi. W przypadku jej powierzchni jest ona niewiele mniejsza pod warunkiem, że atmosfera jest maksymalnie przeźroczysta.[16]

Powyżej podałem średnią wartość stałej słonecznej. Może jednak ona ulegać pewnym zmianom. Zależy ona między innymi od aktywności Słońca objawiającej się np. liczbą tzw. plam, których większa ilość pojawia się mniej więcej co 11 lat. Mogą to być również dłuższe okresy.

Wiemy na przykład, że ok. 10 tysięcy lat temu skończyło się na półkuli północnej zlodowacenie. Jesteśmy więc obecnie w tzw. interglacjale. Owe zlodowacenia wiążą się z wzajemnym układem Ziemi i Słońca. Otóż – jak wiemy – Ziemia porusza się po orbicie eliptycznej, przy czym w peryhelium oddalona jest od Słońca o 147,1 mln km, a w aphelium o 152,1 mln km.

Obecnie najbliżej Słońca znajdujemy się na początku stycznia, a najdalej z początkiem lipca. Fakt ten na naszej półkuli zarówno łagodzi zimę, jak i zmniejsza upały w lecie. Dodatkowo eliptyczność orbity Ziemi sprawia, że okres jesień-zima jest w naszych szerokościach geograficznych krótszy o 7,25 doby od czasu trwania wiosny i lata.[17] Odwrotnie jest na półkuli południowej. Ponieważ Ziemia wykonuje ruch precesyjny z okresem równym 25782 lat, zatem mniej więcej za ok. 12 tys. lat znajdziemy się w odwrotnej sytuacji. Może to mieć wpływ na nasz klimat. Zauważmy bowiem, że na półkuli południowej przeważają oceany, a na północnej kontynenty, co ma duży wpływ na klimat danego regionu.

Jak wiemy, woda ma znacznie większą pojemność cieplną niż ląd.[18] Zatem owe południowe oceany gromadzą w lecie duże zasoby energii wewnętrznej (cieplnej),

Foto – Dreamstime

[13] Autor wspomina o cieple płynącym z wnętrza Ziemi. Na razie wykorzystujemy go w geotermii, w czym przoduje Islandia. Zauważmy jednak, że owe urządzenia przyśpieszają transport energii z wnętrza Ziemi na jej powierzchnię, co ociepla atmosferę. Niemniej jednak, takie zastosowania uważa się za ekologicznie pozytywne.

[14] Wzrost średniej temperatury lądów, atmosfery i mórz powoduje zwiększenie dynamiki tych zjawisk.

[15] Promieniowanie to wywołuje opaleniznę skóry, ale i jej zmiany chorobowe. Wywołuje również zmętnienie rogówki oka. Dlatego używajmy na plaży kremów i okularów z filtrem UV. Tego typu okulary należy zakładać również, będąc na śniegu w zimowy, słoneczny dzień.

[16] Jest to moc porównywalna z mocą grzałki w czajniku elektrycznym. Chcąc jednak obliczyć moc promieniowania słonecznego, jakie dociera do danej powierzchni Ziemi, należy uwzględnić **albedo** tego terenu, czyli stosunek energii odbitej do energii padającej. I tak np. albedo świeżego śniegu jest prawie równe jedności, a sadzy bliskie zeru. Średnie albedo Ziemi to 0,4. Jakie są skutki tych różnic, można się przekonać, porównując temperatury białej i czarnej karoserii samochodów stojących na parkingu w słoneczny, letni dzień. Róbmy to ostrożne, bo w tym drugim przypadku można się oparzyć. Dodam, że wewnątrz takiego samochodu już po kilkudziesięciu minutach temperatura sięga 60^0C, co jest groźne dla zdrowia, a nawet życia pozostawionych tam np. zwierząt, czy małych dzieci. A niestety to się zdarza.

[17] Okresy astronomiczne.

[18] Pojemnością cieplną ciała nazywamy iloczyn ciepła właściwego i jego masy.

eprasa.pl 189a207405

która łagodzi tamtejsze zimy. Natomiast zjawisko to nie występuje na naszej półkuli. Tak więc, gdy znajdziemy się po przeciwnej stronie orbity Ziemi, zimowy śnieg i lód znajdujący się na terenach bliskich biegunowi może się nie stopić w lecie. A ponieważ śnieg odbija niemal w całości promieniowanie słoneczne, zatem sprzyjać to będzie powstawaniu lodowców.[19] Najpierw na północy danego kontynentu,[20] a potem coraz to dalej na południe. Tak było kilkanaście tysięcy lat temu z lodowcem skandynawskim, który dotarł aż do przedgórza Karpat.

Dodam, że coroczna zmiana odległości Ziemi od Słońca wywołuje wprawdzie zmianę wartości stałej słonecznej.[21] Są to jednak zmiany chwilowe (wartości maksymalne i minimalne trwają nie dłużej niż 1 miesiąc) i nie mają większego wpływu na zmiany lokalnego klimatu.

Przyroda sobie poradzi?...

A klimat w danym rejonie zależy od wielu czynników. Od położenia geograficznego, ukształtowania terenu,[22] układu kontynentów,[23] prądów morskich. I tak np. lokalny klimat może ulec zmianie w wyniku zmiany natężenia lub kierunku biegu owych prądów. Znamy bowiem wpływ Golfstromu na klimat północno-zachodniej Europy czy El Ninio na pogodę w rejonie Pacyfiku.

Podobnie jest z erupcjami wulkanicznymi. I tak na przykład wybuch wulkanu na Krakatau,[24] który nastąpił w 1883 roku spowodował ochłodzenie na dużym obszarze Indonezji, co odbiło się negatywnie na produkcji rolnej w tym rejonie. Ochłodzenie to trwało kilka lat i było wynikiem zapylenia atmosfery.[25] Dodam, że powstałe wówczas tsunami okrążyło glob ziemski wywołując duże straty w rejonie oceanu indyjskiego.

Jak widać, czynników klimatotwórczych jest wiele. Jednakże szybkość z jaką obecnie rośnie średnia temperatura atmosfery i mórz, każe nam postępować roztropnie, by zahamować ten proces. Niestety, nie jest z tym dobrze. Od czasu rozwoju rolnictwa wypalano lasy i dzieje się to nadal (vide lasy amazońskie), spalamy ogromne ilości węgla kamiennego, niszczymy środowisko przyrodnicze, zanieczyszczając je w sposób katastrofalny i chyba nieodwracalny.[26] Z ociepleniem klimatu zapewne przyroda sobie poradzi, ale czy poradzi sobie z nim człowiek…?

W. Reńda,
Olkusz, 2024

[19] Konieczne są wówczas długotrwałe okresy zimna wraz z obfitymi opadami śniegu.

[20] Zlodowacenie najpierw pojawiło się w północnej Skandynawii i na Labradorze.

[21] Wiemy, że natężenie promieniowania maleje z kwadratem odległości. Zatem: $I_1/I_2 = r_2^2/r_1^2$. W tym przypadku mamy: $I_2/I_1 = (147/152)^2 = 0{,}935$, co oznacza, że w aphelium dociera do Ziemi 6,5% mniej energii niż w peryhelium.

[22] Np. Himalaje w znacznym stopniu ograniczają południkowy ruch mas powietrza w tej części Azji.

[23] Układ ten decyduje m.in. o przebiegu prądów morskich.

[24] Wyspa pomiędzy Sumatrą i Jawą.

[25] W tym przypadku pyły dotarły do stratosfery i utrzymywały się tam przez wiele lat. Absorbowały one część energii promieniowania słonecznego, co spowodowało znaczne ochłodzenie terenu. Jeszcze poważniejsze skutki wywołał w 1815 r. wybuch wulkan Tambora na indonezyjskiej wyspie Sumbawu. Pochłonął on również kilkadziesiąt tysięcy istnień ludzkich.

[26] Zauważmy, że przyroda nie tworzy śmieci.

Od autora:

Odpowiadając na „miniaturę dydaktyczną" pana Waldemara Reńdy, „wywołany do tablicy" chciałbym dodać do niej jeden krótki komentarz.

Wierzę, że większość z nas chciałaby zreformować nauczanie fizyki w szkole. Czy marzenia te spełnią się i w jakiej formie, czas pokaże, ale porozmawiać o tym można i należy. Rozważania o tym, jak powinny wyglądać zadania z fizyki są elementem tej dyskusji.

A teraz do rzeczy, czyli do kropel wody spadających z deszczem. Pierwotnie postawione (uczniom/czytelnikom) pytanie brzmiało: co dzieje się z energią kropli, które przed deszczem wiszą nad nami na jakiejś rozsądnej wysokości, a potem spadają i topią się w kałuży? (powinienem powiedzieć oczywiście „rozpuszczają się" - ach ten język osób piszących na tematy fizyczne…) Pytanie tak proste, że prościej się nie da. Odpowiedź na pierwszy rzut oka też jest prosta. Wszyscy wiedzą, że energia potencjalna to E=mgh. Ale na drugi rzut oka, wiadomo, że spadające krople niosą energię kinetyczną E=mv2/2. Energia zachowywać się musi (tak nas uczą w szkole) i tu napotykamy mały problem. Coś się nie zgadza – jakby paradoks. Może to pobudzić ciekawość, zainteresowanie, zachęcić do prób znalezienia „właściwej" odpowiedzi. W sumie o to chodziło. Nauczanie fizyki powinno łaskotać, drażnić szare komórki, zachęcać je do poszukiwań.

Jak pokazuje „miniatura", niektóre osoby ich pobudzona ciekawość doprowadziła do napisania głębokiego tekstu na tematy tak poważne, jak kryzys klimatyczny, efekt cieplarniany, wahania stałej słonecznej, topnienie lodowców czy energetyka odnawialna, geotermia, a nawet tektonika płyt kontynentalnych, cykle Milankovicza itd. No i oto właśnie chodzi!

Warto na koniec wspomnieć o tym, że zadania z fizyki nie zawsze powinny być nudne. Fizyka może być zabawna, choć trudno w to uwierzyć niektórym. Propozycja zniwelowania Góry Kamieńskiej, czy Tatr, to był oczywiście żart, a nie propozycja na serio. Być może żart niespecjalnie śmieszny, ale mówiący być może coś o wartości stałej grawitacyjnej i jej znaczeniu dla Wszechświata, bo cóż obraca sfery niebieskie? Może nie warto pytać o to uczniów, może na lekcjach fizyki należy zachować powagę. Niech pociągi jadą dalej ze stacji A do stacji B… Tylko dokąd zawiozą one uczniów w XXI wieku.

Tadeusz Wibig

eprasa.pl 189a207405

W co się bawić?

1. Miś ekwilibrysta

Czytelnicy „Fizyki w Szkole" zapewne zauważyli, że nadajemy naszym działaniom nieco „poetyckie" nazwy. I tak wystawa interaktywna „Fizyka i zabawki" w Sopocie przy Molo w 2004 roku nazywała się „W czasie deszczu dzieci się nudzą", a z wystaw toruńskich, ta z optyki – „Fiat Lux!" [1], z mechaniki – „Z górki na pazurki" a interaktywny wykład z elektromagnetyzmu, z silnym przesłaniem dydaktycznym, że prąd elektryczny jest niebezpieczny - „Niech to piorun trzaśnie!". Jednak nadal największym rezonansem – tak jako liczba odwiedzających na naszych stronach internetowych [2] jak i niezliczone „klony" w różnych czasopismach naukowych a także centrach nauki [3] cieszą się wspomniane „zabawki". Ta popularność jest tak duża, że w publikacjach naukowych staramy się zastępować słowo zabawki przez PED – proste eksponaty dydaktyczne.

Grzegorz **Karwasz**

Zaletą pomysłu prof. Vittorio Zanettiego z Trento, u którego „terminowałem", zanim sprowadziliśmy eksponaty na wystawy do Słupska i Warszawy (1998), później do Białegostoku (1999) i Gdańska (2003) jest powszechna dostępność PED-ów. Dwie piłeczki, kawałek wysuszonego żeberka wieprzowego, korek, gwóźdź i dwa widelce, itp. – wystarczą do skonstruowania narracji prawie na dowolny fizyczny temat.

Z korka budujemy zarówno nurka Kartezjusza jak i „wiszącego ptaka" [2]. Istotna jest jednak umiejętność skonstruowania różnych, wielowątkowych, interdyscyplinarnych, prostych dydaktycznie a zajmujących naukowo opowieści. Wieprzowe żeberko, nieco asymetryczne, kręci się w jedną stronę, jak celtyckie czółenko. A to z kolei służy nie tylko do wywołania zdziwienia zwiedzających wystawę, ale do podjęcia skomplikowanej narracji o niesymetrycznej strzałce czasu [4].

Inicjujemy cykl opisów PED-ów, który ma na celu odświeżenie ich dydaktycznej atrakcyjności, nawet (a może właśnie) w erze powszechności centrów nauki. A jako motto serii korzystamy z tytułu piosenki genialnego Wojciecha Młynarskiego.

„Zabawki"

Rozkwit „zabawek" fizycznych w Polsce zaczął się od wspomnianych wystaw. Natychmiast po pokazaniu (i pomacania) fizycznych obiektów umieściliśmy w Internecie ich zwierciadlane opisy. Uczestniczyli w tych działaniach moi ówcześni studenci (później dyplomanci, asystenci, doktoranci, adiunkci) w Wyższej Szkole Pedagogicznej w Słupsku, obecnie Uniwersytecie Pomorskim, których już czas wymienić po kolei: Ania Okoniewska, Ania Kurowska, Tomek Wróblewski, Damian Pliszka, Krzysztof Hubisz, Mirek Brozis, Andrzej Krzysztofowicz, Monika Jurek. Stworzyli oni, autonomicznie, nieskończoną ilość dalszych działań. Pierwsze zwierciadło internetowe eksponatów i wystaw nosi, w wydaniach na różnych stronach, nazwę „zabawki".

Sukces działań zaowocował uzyskaniem w 2005 roku projektu z Brukseli, w panelu „Science & Society". To pozwoliło nam na organizację wystaw w Paryżu, Trento, Lubljanie, Berlinie. A przede wszystkim – na stworzenie opisów PED-ów w pięciu językach, a ostatnio nawet w kazachskim.

Oczywiście, lista eksponatów nie mogła być nieskończona. Dlatego początkowe, spontaniczne opisy ze stron „zabawki" musieliśmy na stronie skrócić i uporządkować. Opisy na stronach „zabawki1" są rygorystycznie 6-cio

eprasa.pl 189a207405

zdaniowe: dwa proste zdania wprowadzenia, w którym nie pozwalamy sobie na żadne trudne słowo, dwa kolejne zdania – z jednym a maksimum półtora nowego słowa, i dwa zdania końcowego żartu – dla odprężenia neuronów czytelnika. Dopiero na drugiej stronie (o ile czytelnik ją wybierze) pozwalamy sobie na bardziej swobodny dobór formy i treści – wyjaśnienia, wzory, schematy, przykłady. Ogromna ilość internautów nas odwiedzających, szczególnie przed pojawieniem się mediów społecznościowych, jest dowodem trafności tej innowacyjnej, rozproszonej formy dydaktyki.

Opisy na podstronie „zabawki1" są w niektórych przypadkach znacznie uboższe niż na stronie „zabawki", ale jak wspomniałem, dydaktycznie bardziej spójne. Skrócenie opisów pozwoliło na precyzyjne podzielenie na cztery działy fizyki (mechanika, elektromagnetyzm, optyka i termodynamika) i w ramach działów – na zagadnienia, a w każdym zagadnieniu – cztery rodzaje obiektów. I tak w optyce mamy i soczewki (jako optyka geometryczna), i okulary dyfrakcyjne, i zagadnienia składania kolorów. Pogrupowanie odbyło się przez podobieństwo zagadnienia, ale kolejność opisów – przez zasadę stopniowania trudności. W mechanice zaczynamy od statyki.

Miś ekwilibrysta

Misia Ernsta udało nam się kupić w sieci sklepów dydaktycznych „Città del Sole" (reminiscencja do traktatu Tommasa Campanelli). Niestety, był on (miś, nie traktat) tak atrakcyjny, że na którymś z objazdowych pokazów po prostu „pojechał w siną dal" i zostawił nam tylko jedno, kiepskiej jakości swoje zdjęcie – rys. 1a.

Tak organizacja wystaw jak i strony internetowe rygorystycznie oddają znane zasady dydaktyki (odwołujemy Czytelnika do ostatnich trzech artykułów „dydaktycznych" w „Fizyce Szkole" [5]). Przede wszystkim możliwość dotknięcia eksponatów realizuje zasadę *poglądowości*, a za Immanuelem Kantem, geofizykiem i kosmologiem, powiedzielibyśmy – zasadę *naoczności*. „Zabawka" nie służy przerwaniu monotoniczności lekcji, ale jest istotnym elementem dla „podniesienia flagi", czyli dla *otwarcia kanału* transmisji, używając określenia z niegdysiejszego komputerowego standardu RS232.

„Koniec spania, teraz będzie się działo!" Można to by nazwać też zasadą aktywizacji uczniów, ale moje studia ekonomiczne wyrobiły we mnie niechęć do jakichkolwiek klasyfikacji. Jak pisze wybitny włoski pedagog i neuropsychiatra, Piero Crispiani – „dydaktyka to nie abstrakcyjna dyscyplina naukowa, ale indywidualna pasja nauczyciela i niekończące się wymiany opinii w pokoju nauczycielskim" [6]. Zasad dydaktycznych można wymieniać wiele: zabawki są uporządkowane według rosnącego stopnia trudności.

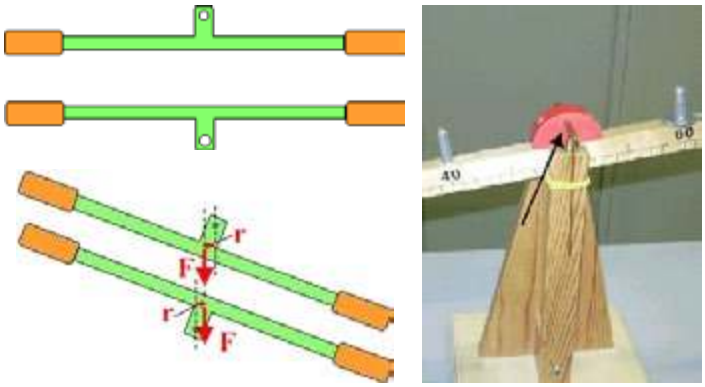
Zaczynamy od misia na linie, bo pojęcie masy punktowej (jak w matematycznym wahadle) jest prostsze niż masy rozłożonej, czyli bryły sztywnej. Korzystam też z tego, co usłyszałem na jednej z pierwszych lekcji z fizyki: ciała nie przewracają się, jeśli ich środek ciężkości nie wychodzi poza podstawę. Krzywa Wieża w Pizie, gdyby nie polski inżynier, profesor Politechniki w Turynie, Andrzej Jamiołkowski, który ją „wyprostował" lat temu już dwadzieścia, już by runęła [7].

Zanim podjęto prace, wieża stała tylko cudem – środek ciężkości wychodził nawet poza szerokie, ukryte pod ziemią fundamenty: zresztą plac wokół Katedry w Pizie nazywa się właśnie Placem Cudów. Wieża zaczęła się krzywić już w XIII wieku, po postawieniu pierwszej kondygnacji, nic nie pomogło wygięcie w formie łuku kolejnych pięter, ale Galileusz miał znakomite miejsce do zrzucania kamieni (jest za to dziś 200 euro grzywny, więc w swych pracach nic o tym nie wspominał).

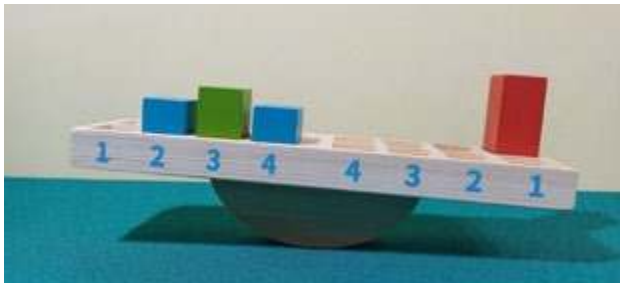
Przechylanie się środka ciężkości poza pole podstawy pokazywaliśmy w poprzednim artykule [5] – w doświadczeniu skopiowanym z terapii psychologicznej. W terapii tej ustawiamy ochotnika między dwoma „osiłkami", prosimy o zamknięcie oczu i przechylanie się do przodu, w postawie wyprostowanej, bez oderwania nóg od ziemi. Oczywiście, dwóch osiłków, jeden z przodu, drugi z tyłu ma w odpowiedniej chwili „delikwenta" złapać. Mało

Rys. 1. (a) „Miś ekwilibrysta" jako najprostszy przykład zagadnienia równowagi. Może on zostać przybliżony przez trzy masy punktowe (dwie kulki i korpus misia) a środek ciężkości tego układu mas jest pod punktem podparcia. (b) Rowerzysta ze sklepiku przy Muzeum w Berlinie jest jeszcze prostszy: tylko dwie masy, a ich środki ciężkości są pod punktem podparcia. (c) Ten sam „eksponat" w skali makro: jazda rowerem na linie (z dużym obciążnikiem na długim ramieniu pod liną), Turyn, Parco Michelotti, wystawa Experimenta 06, foto Maria Karwasz, 2006.

eprasa.pl 189a207405



Rys. 2. Warunkiem równowagi człowieka stojącego jest, aby środek ciężkości znajdował się w obrębie obrysu stóp. Ale nie jest to równowaga stabilna. (a) Prawdziwie stabilną równowagę, tj. powracającą do wyjściowej pozycji, ma wieszak na ubranie: środek ciężkości jest pod środkiem zaczepienia. Wychylenie powoduje powrót do równowagi. Dla punktu zawieszenia pod środkiem ciężkości równowaga nie jest stabilna. (b) Dydaktyczna waga do badania prawa dźwigni dwustronnej ma punkt zawieszenia na środkiem ciężkości belki (eksponat Uniwersytet w Udine). Rys. T. Wróblewski, foto GK.



Rys. 3. Dwie zabawy z zagadnieniami równowagi. (a) Waga – niezwykle dydaktyczna: pozostaje stabilna, mimo przechyłu. (b) Balansujący księżyc – współzawodnictwo w układaniu klocków. W tle plakat „On the Track of Modern Physics". Eksponaty i foto GK.

kto wykaże się takim zaufaniem z zamkniętymi oczyma. Psychologicznie ma to doświadczenia uczyć wiary w siebie i zaufania do bliźnich, ale w fizyce też się przydaje, jak zagadnienie środka ciężkości (pępka) i płaszczyzny podparcia (stóp, których nie wolno oderwać od ziemi). W nowoczesnej dydaktyce mówimy o czuciu fizyki całym ciałem, „embodiment" („Wcielenie" ma w języku polskim inne, Bożo-Narodzeniowe znaczenie).

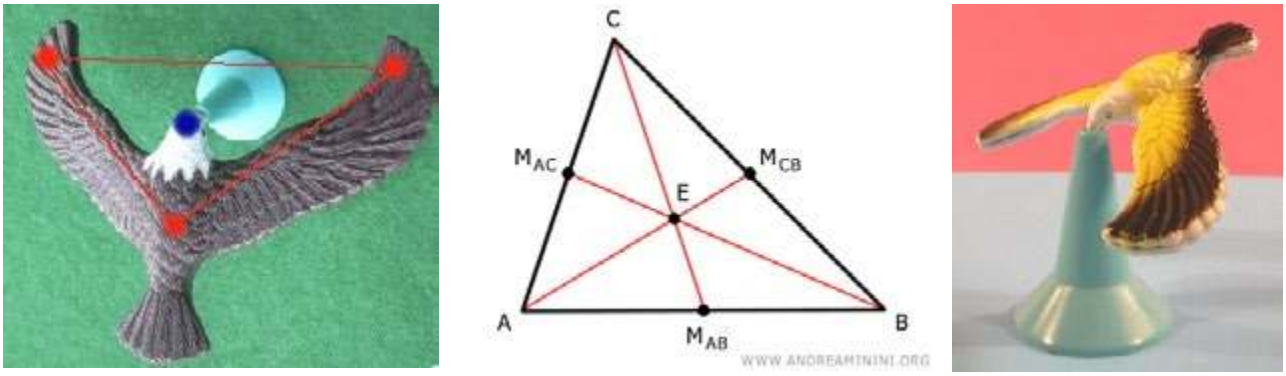
Miś na linie jest bardzo dydaktyczny, bo można go przybliżyć za pomocą trzech mas punktowych: jedna nad rowerkiem, dwie po bokach, pod liną, rys. 1a. I tu jest kolejny, zasadniczy atut fizyki jako nauki: możliwość uproszczenia świata za pomocą modelu: ruch nigdy, nawet Voyagera na krańcach Układu Słonecznego nie jest jednostajny, ale chwilowo tak.

Graficzny model pozwala na odkrycie jeszcze innego, zaskakującego w swej prostocie warunku równowagi statycznej: ciała nie przewracają się, jeśli ich środek ciężkości jest *pod* punktem podparcia. Przykład? Zwykły wieszak na garnitur. Nikt nie zawiesi *wieszaka* do góry nogami, rys. 2a.

Rysunek 2b wprowadza nas w kolejne dydaktyczne zabawy z równowagą: badanie równowagi dźwigni dwustronnej. Tego rodzaju PED-ów jest sporo: waga na klocki na rys. 3a i „balansujący księżyc" na rys. 3b. Pierwszy eksponat z rys. 3, bardzo dydaktyczny, jest znakomitym sposobem na *ilościowe* wyjaśnienie zagadnienia dźwigni. Na poziomie przedszkolaka możemy powiedzieć: „Widzisz, jak jeden może przeważyć trzech innych?" Na poziomie uniwersytetu zapytamy: „Pod jakim kątem uchyli się waga przy określonych masach klocków. Masy wagi nie pomijamy. Należy uwzględnić również moment bezwładności walcowatej podstawy."

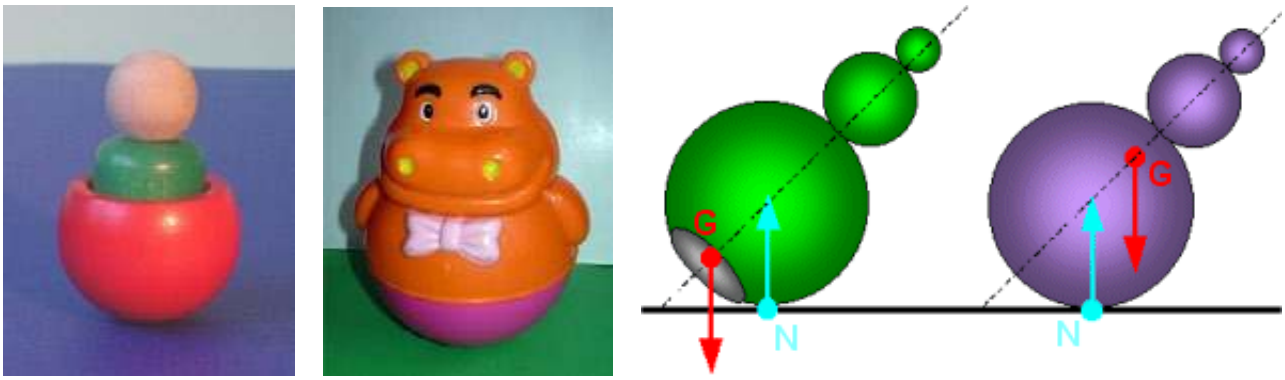
Drugi PED z rys. 3 – to świetna zabawa towarzyska: stabilność piramidki z cylindrycznych klocków zależy nie tyle od ich ułożenia na sierpie księżyca co od tarcia między cylindrami. I znów, na poziomie uniwersyteckim można pytać o wektory sił oddziaływania między różnokolorowymi walcami.

Wiszący ptak, rys. 4, jest dydaktycznie identyczny jak miś, ale tę identyczność ukrywa: ołowiane ciężarki są ukryte na końcach skrzydeł. Pokazujemy to schematycznie, nieco „na oko". O ile środek ciężkości trzech,



Rys. 4. (a) Układ trzech punktowych mas: udajemy na tym rysunku, że są one identyczne, a niebieski punkt postawiliśmy w punkcie podparcia. (b) Ten eksponat może służyć również na lekcji matematyki: środek ciężkości trójkąta (pełnego, czyli wyciętego np. z kartonu) jest na przecięciu trzech środkowych. Źródło: www.andreaminini.org. (c) Układ skrzydeł zapewnia warunek „miśka": środek ciężkości całości jest pod punktem podparcia. Foto: Andrzej Krzysztofowicz.

eprasa.pl 189a207405



Rys. 5. „Wańka-wstańka" czyli zagadnienie równowagi trwałej w przypadku ciągłego rozkładu masy. Obie zabawki ukrywają obciążnik w podstawie. Bez niego przewróciłaby się. Foto: A. Krzysztofowicz, T. Wróblewski, eksponaty GK.

najlepiej równych mas punktowych łatwo wykreślić, rys. 4a, w przypadku rozkładu masy, np. pełnego trójkąta, rys. 4b, jest to trudniejsze.

W lekcjach euklidesowej geometrii uczą nas, nieco apodyktycznie, że środek ciężkości trójkąta leży na przecięciu trzech „środkowych", czyli odcinków łączących wierzchołek ze środkiem przeciwległego boku. Co więcej, środkowe te, po włosku *mediany* są podzielone przez środek ciężkości w stosunku 1/3 do 2/3. I o ile włoski pasjonat pięknie wyjaśnia zależności geometryczne, rys. 4b, nadal nie wiemy, dlaczego punkt przecięcia jest środkiem ciężkości. Potrzeba dokonać komplikacji, na poziomie uniwersyteckim: zsumować przyczynki wszystkich „mas punktowych" *i*. Formuła jest znana:

$$\mathrm{R} = \frac{\Sigma_i m_i \mathbf{r}_i}{\Sigma_i m_i}.$$

gdzie $\mathbf{r}_i$ – to wektory położenia mas m_i (w określonym układzie odniesienia), a **R** – położenie środka ciężkości w tym układzie.

Kolejny eksponat, kiwająca się laleczka z Muzeum Nauki w Monachium, rys. 5a, jest jeszcze o jeden stopień trudności wyżej: nie punktowe masy, ale nierównomierny *rozkład* masy. Obciążniki ukryte w podstawie zapewniają stabilność: prawdziwa „wańka-wstańka".

Od statyki do dynamiki

W berlińskim sklepie długo wybieraliśmy zabawki z niklowanego drutu, przedstawiające różne postacie. Najprostszą jest, na przykład, rowerzysta z foto 1b: podobny do misia – rower z jednej strony, a punktowa przeciwwaga, nisko umieszczona, aby zapewnić stabilną równowagę. Rowerzysta jeździ dookoła punktu podparcia, a przy tym nieco się kołysze. Bo jest to wahadło fizyczne.

Ale, wiemy z kursu uniwersyteckiego, że okres drgań wahadła fizycznego, w odróżnieniu od wahadła matematycznego, zależy nie tylko od długości wahadła, ale też od skomplikowanej wielkości, określanej mianem *momentu bezwładności*. Czy można to pojęcie wyjaśnić przedszkolakom? Oczywiście! Wystarczy kij od szczotki (bez szczotki): „jak się nim łatwiej kręci? Kiedy trzymasz za środek czy za koniec?" Za tym pytaniem stoi nasza znajomość momentu bezwładności w tych dwóch pozycjach: jeżeli środek kija jest osią obrotu, moment ten wynosi 1/12 ml^2 a trzymany za koniec – cztery razy więcej: 1/3 ml^2, bez trudu do wyczucia gołą ręką. Do kolejnego „embodiment" możemy dodać niewielki młotek: trzymamy go za koniec, aby lepiej uderzać.

Trudniej kręci się młotkiem niż samym trzonkiem? Jasne! Bo młotek ma na końcu obuch (o ile ktoś to słowo rozumie). Im dłuższy trzonek, tym trudniej tym obuchem kręcić. Matematycznie, podobne masy, ale różniące

Fig. 6. Porównanie okresów drgań wahadeł fizycznych o podobnych masach, ale różniących się momentem bezwładności i „długością" d wahadła, (a) PED-y z niklowanego drutu z Berlina, (b) „Pieski kiwaczki". Zob. filmy na dydaktyka.fizyka.umk.pl/FwSzkole/pieski1 (1a, 1b, 2, 2a, 2b).

eprasa.pl 189a207405

Rys. 7. (a) Małe afrykańskie żuczki trzęsą łapami, (b) żółwiki kiwają głowami. Ustawiając je na jednym stole i trzęsąc tym stołem, każdy obiekt drga z własną częstotliwością: zbudowaliśmy mechaniczny analizator Fouriera.

się *rozkładem*. Zresztą, koła rowerowe są rozciągnięte na szprychach, czyli praktycznie są w środku puste. Tak! bo o ile środek ciężkości obliczamy sumując odległości mas od tego środka, to moment bezwładności zależy od *kwadratu* odległości od masy od punktu obrotu. I tak, dla punktowej masy m na końcu lekkiego kija o długości r i dla pustego cylindra o promieniu r (albo koła rowerowego o promieniu r) moment ten wynosi $I=1mr^2$ (podkreślamy czynnik „1" przed mr^2)

I tak wyposażeni, możemy wyliczyć okres wahań rowerzysty z rys. 1b. Wynosi on

$$T = \sqrt{\frac{I}{mgd}}$$

gdzie m – jest masą wahadła, d – odległością między osią obrotu a środkiem ciężkości, a g – przyspieszeniem ziemskim. Zauważmy, że zależność okresu wahań od masy jest pozorna – masa całkowita jest również czynnikiem występującym w momencie bezwładności I. Innymi słowy i ciężkie, i lekkie wahadła mogą mieć podobny okres drgań, a zależy on głównie od odległości d.

Ryc. 8. Dwie zabawy z „wańką-wstańką": (a) Zosi z Rzymu (dziś studentki Wydziału Filozofii) i (b) małżonki autora z rzeźbą – wieżą przed Wydziałem Chemii Freie Universität w Berlinie. „Miś puchatek" ma obciążnik w podstawie, wieża, pusta w środku, ma wewnątrz punkt zawieszenia nieco powyżej jej środka ciężkości. Filmy GK. dydaktyka.fizyka.umk.pl/FwSzkole/wieza1.MOV

Kolekcja zebrana w Berlinie to „zabawki" o podobnej masie, ale różniące się momentem bezwładności i odległością środka ciężkości od osi (a raczej punktu) obrotu, zob. fig. 6.

Kiedy koncepcja do przedstawienia jest już kompletna (przedstawić drgania bryły sztywnej różniące się okresami), wystarczy takich obiektów szukać wokół siebie. Na przykład na straganie z afrykańskimi żuczkami (rys. 7a), ptaszkami czy żółwikami (rys. 7b). Małe łapki żuczka, zawieszone prawie w środku ciężkości drgają „nerwowo", nieco większy żółwik kiwa głową powoli, jakby ze zrozumieniem. Fizyka też wymaga bajkowej narracji.

Co więcej, te afrykańskie ludowe zabaweczki mogą posłużyć jako analizator drgań, czyli dokonywać rozkładu Fouriera. Matematyczną formułę tego pojęcia podamy przy okazji zabawek z akustyki, ale zagadnienie nie jest ono trudne do zrozumienia: szukamy, czy w drganiach np. stołu, są składowe o danej częstotliwości. Układamy żuczki na stole i trzęsiemy nieregularnie stołem. Łapki niektórych żuczków zaczynają drgać, innych – nie. Potrzebne afrykańskie żółwiki? Wystarczą jakiekolwiek masy na sprężynkach.

I na końcu, wychodząc letnim wieczorem z Wydziału Chemii i Farmacji, jak zwykle zmęczony po dniu pracy na

Rys. 9. Jeszcze inne obiekty w temacie równowagi. Czytelnik już sam rozpozna „przeciw-wagi" plastikowego robota, rowerzysty na linie i blaszanego świerszcza ze straganu w Amsterdamie. Udanych łowów!

eprasa.pl 189a207405

Freie Universität w Berlinie, miałem wrażenie halucynacji: dwie wieże, nowoczesne rzeźby przed budynkiem na wietrze jakby ruszały się przed moimi oczyma. Okazało się, że dwie wieże z blachy są puste wewnątrz, i gdzieś tam w środku zawieszone, pewno podparte na jakimś wysokim słupie. O ile częstotliwość drgań żuczka to kilka Hz, drgania wież to ułamki Hz (okres ok. 5 sekund).

Reasumując, głębia dydaktyki, która można realizować za pomocą PED-ów zależy tylko od inwencji nauczyciela. Obiektów wokół nas jest niezmierna ilość. Jednak to nie obiekty są istotne, ale idea fizyczna, którą chcemy przedstawić. W tym odcinku słowami kluczowymi były: środek ciężkości, równowaga statyczna, moment bezwładności, punkt podparcia, okres drgań, analiza harmoniczna (niepotrzebne skreślić, o ile jest za trudne na określonym etapie dydaktycznym).

Jeszcze inne zestawy pokazujemy na rys. 9. „Ale pan tego ma!" – to jest pierwszy komentarz, jaki słyszę. Nie! Każdy nauczyciel może mieć podobnie bogaty zestaw, ale każdy inny. Raz zrozumiana „filozofia" – to nie obiekt jest przedmiotem naszego zainteresowania, ale idea fizyczna do przedstawienia – otwiera oczy na umiejętność obserwacji świata (i kiermaszowych stoisk). Sporo kosztuje? Nie! Druciane figurki z Berlina 1,5 euro, inne po kilka euro. Z własnych pieniędzy? Tak! Kopernik też z własnych pieniędzy (czyli pensji kanonika) kupował cegły do budowy wieży obserwacyjnej. Gdyby mierzył pozycje planet z trzęsącego się drewnianego krużganka, to do tej pory Słońce krążyłoby dookoła Ziemi.

BIBLIOGRAFIA

[1] G. Karwasz, M. Kłosiński, „Fiat Lux" – od Witelona do tomografu optycznego, „Fizyka w Szkole" 3/2023, str. 18

[2] G. Karwasz i in., Fizyka i zabawki, wystawy internetowe, dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/ i dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1/

[3] G. Karwasz, J. Kruk, Idee i realizacje dydaktyki interaktywnej – wystawy, muzea i centra nauki, Wyd. Nauk. UMK, 2012

[4] G. Karwasz, Czy świat się kręci w prawo?, Plakat dydaktyczny, dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pliki/Kwarki_plakaty/symm5pl.pdf

[5] G. Karwasz, K. Wyborska, Dydaktyka kognitywistyczna, Fizyka w Szkole 6/2024, str. 28

[6] P. Crispiani, B. Siemieniecki, G. Karwasz, Dydaktyka kognitywistyczna, Wyd. Nauk. UMK, 2024

[7] G. Karwasz, Jak prostowano Krzywą Wieżę, Głos Koszaliński, 4/08/2001, https://hd.fizyka.umk.pl/~karwasz/publikacje/2001_Wieza.pdf

Materiały multimedialne do tego artykułu: dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/1095

Cyberataki na nauczycieli

Aż 9 proc. polskich nauczycieli i nauczycielek doświadczyło cyberprzemocy lub cyberagresji – ze strony swoich uczniów lub ich rodziców – wynikło z badań dr. hab. Łukasza Tomczyka z Uniwersytetu Jagiellońskiego. To temat tabu, a przecież nauczycielom należy się wsparcie – ocenia naukowiec.

Badanie ankietowe przeprowadzono wśród 700 nauczycieli. Aż 9 proc. z nich deklarowało, że padło w ciągu ostatniego roku ofiarą cyberataku. A skoro w Polsce mamy ok. 700 tys. nauczycieli, to może oznaczać, że dziesiątki tysięcy osób w Polsce doświadczyły agresji lub tzw. przemocy zapośredniczonej cyfrowo ze względu na swoją pracę w szkole. Tymczasem skala problemu może być większa – nauczyciele nie zawsze mają świadomość, że padają ofiarą cyberprzemocy. Bywa tak, że są oczerniani lub ośmieszani w internecie, ale o tym nie wiedzą, bo np. intencjonalnie nie korzystają z mediów społecznościowych. To, że nie widzą problemu, nie oznacza jednak, że tego problemu nie ma.

Z badań wynikło, że wśród grup, które nieco częściej niż inne padały ofiarą ataków byli nauczyciele religii i matematyki. Na ataki byli też relatywnie bardziej podatni nauczający mężczyźni niż kobiety. W szkołach zawodowych cyberataki na nauczycieli to częstszy problem niż w liceach. A nauczyciele starszych klas mają większy problem niż nauczyciele w przedszkolach i nauczaniu podstawowym – wymienia w rozmowie z PAP autor badań, pedagog dr hab. Łukasz Tomczyk, prof. UJ.

Formy cyberprzemocy, z którymi spotykają się nauczyciele są bardzo różne. To m.in.: oczernianie i zniesławienie w internecie – czy to na forach publicznych czy na zamkniętych forach lub grupach klasowych; ataki za pośrednictwem forów społecznościowych; nagrywanie nauczyciela bez jego zgody i publikowanie wizerunku; tworzenie memów na temat nauczyciela; szantaż; włamania na konta – np. na maila, do e-dziennika; fotomontaże; tworzenie fałszywych kont nauczycieli w mediach społecznościowych; przeszkadzanie podczas lekcji online; przemoc dla śmiechu (prowokowanie nauczyciela i nagrywanie jego reakcji).

„Cyberbullying przybierał dotąd zwykle bardzo prymitywną formę, jednak dostępność sztucznej inteligencji może sprawić, że ataki na nauczycieli staną się bardziej bolesne i bardziej zaawansowane niż dotąd" – ostrzega Łukasz Tomczyk. Jego zdaniem nadszedł czas, żeby na poważnie zająć się problemem, który dotyka nauczycieli i dać im wsparcie i narzędzia do radzenia sobie z nim.

Dodaje, że problemy, z którym przychodzi się mierzyć nauczycielom, wymagają coraz bardziej zaawansowanych kompetencji cyfrowych i medialnych. A wielu nauczycieli nie czuje się pewnie na tym polu. „Średnia wieku nauczycieli w moim badaniu wyniosła 48 lat. To nie są cyfrowi autochtoni" – komentuje badacz z UJ. Jego zdaniem nauczycielom w skuteczniejszym radzeniu sobie z cyberprzemocą przyda się wiedza, jak bezpiecznie korzystać z mediów społecznościowych, jak zabezpieczać swoje konta, by nie być podatnym na atak, a nawet jakie są przepisy prawa związane z internetową przemocą.

„Profilaktyka cyberprzemocy skupiona jest na młodzieży. Dzieci i młodzież owszem, wymagają wsparcia, ale nauczyciele są pozostawieni sami sobie. Panuje przekonanie, również wśród dyrekcji szkół, że nauczyciele mają kompetencje, by samodzielnie poradzić sobie z problemem cyberataków, jaki ich dotyka" – mówi prof. Tomczyk. Jego zdaniem procedury radzenia sobie z cyberprzemocą wypracowane już np. dla szkolnej przemocy rówieśniczej nie spiszą się zbyt dobrze, gdy ofiarą pada nauczyciel.

W swoich badaniach pedagog analizował sposoby, jak nauczyciele radzą sobie z przemocą. Na razie – wobec braku eksperymentów w tym zakresie – wydaje się, że najlepszym sposobem jest profilaktyka. (PAP)

Nauka w Polsce, Ludwika Tomala

eprasa.pl 189a207405

Powtórz, utrwal, poszerz wiedzę

Zadania z fizyki. Cz. 4.

Waldemar **Reńda**

Zadanie 46. *(mechanika; nigdy za wiele ostrożności!)*

W numerze 2 „*Fizyki w Szkole*” z 1994 r. znalazłem następujące zadanie:

Kulkę jednorodną o gęstości 800 kg/m^3 puszczono swobodnie z wysokości 0,8 m od powierzchni wody. Pomijając gęstość powietrza i wszelkie opory ruchu, oblicz na jaką głębokość zanurzy się ta kulka.

Nie będę przytaczał rozwiązania, gdyż nie jest trudne, ale skoncentruję się na wyniku. Oto autor podaje wartość: **3,2 m.** Wykonując natomiast opisane w zadaniu doświadczenie stwierdzamy, że kulka zanurzy się na głębokość ok. **20 cm**. Czy wystąpienie tak znacznej różnicy nie dyskwalifikuje zadania? Wszak przecież **jedynie doświadczenie potwierdza słuszność teorii.** Spróbujmy przeanalizować czynniki wpływające na wynik: opór powietrza można na pewno pominąć. Można też pominąć wpływ wyporu powietrza na ten wynik. A siły oporu wody?

Wrzućmy w ten sposób (ostrzem w dół) do wody ołówek. (Gęstość ołówka jest zbliżona do podanej w zadaniu.) Zauważymy, że głębokość jego zanurzenia zwiększy się w stosunku do zanurzenia kuli, ale i tak daleka jest od podanego wyniku. A przecież opór (zaostrzonego) ołówka w wodzie jest bardzo mały. (Można to sprawdzić rachunkowo, stosując znany wzór na opór dynamiczny cieczy.) A więc co decyduje o tak niewielkim zanurzeniu?

W opisanym przypadku, znaczna część energii kinetycznej kuli, w czasie jej zderzenia z powierzchnią wody, zamienia się na energię powstającej wówczas fali, ale w przypadku ołówka, powstająca wówczas fala ma znacznie mniejszą amplitudę, a mimo to głębokość zanurzenia środka jego masy daleko odbiega od obliczonej przez autora zadania głębokości. Co jest więc przyczyną tej rozbieżności?

Otóż, ciało przemieszczające się w cieczy powoduje równoczesne przemieszczanie się w odwrotnym kierunku wypartej przez to ciało cieczy. Mamy zatem przemieszczające się dwie masy. Po uwzględnieniu tego faktu, oraz oporu dynamicznego cieczy, obliczony wynik znacznie mniej różnić się będzie od wyniku uzyskanego w doświadczeniu. (Por. zad. 3.26 i 3.27 ze *Zbioru zadań z fizyki* D. J. Sacharowa, Wydawnictwo PZWS, Warszawa 1968 str. 33.)

Zadanie 47. *(mechanika ruchu)*

Silnik samochodu o masie 1000 kg jadącego po poziomej szosie z prędkością 20 m/s rozwija moc 40 kW. Jaką musi on rozwijać moc, aby przy tej samej wartości prędkości poruszać się z przyspieszeniem 1m/s^2 (ruch prostoliniowy)? Oblicz opory ruchu oraz siłę oddziaływania pomiędzy jezdnią a oponami w czasie przyspieszania. *Odp. 60 kW*

Zadanie 48. *(mechanika, tarcie)*

Skrzynia o ciężarze Q przyciskana jest siłą F pod kątem 30° do poziomu. Dla jakiej minimalnej wartości f skrzynia nie będzie się przesuwała bez względu na wartość siły F.

Odp.: $f = T/N = F\cos\alpha /(Q + F\sin\alpha)$. *Dla* $F>>Q$ *wyrażenie to sprowadza się do:*

$f = F\cos\alpha / F\sin\alpha = \cos\alpha /\sin\alpha = \sqrt{3}$.

Zadanie 49. *(mechanika)*

Oblicz moc silnika rakiety o masie m w chwili, gdy zawisa ona nieruchomo nad wyrzutnią.

Wskazówka: Moc ta równa jest stosunkowi przyrostu energii kinetycznej gazów wyrzucanych z dyszy do czasu, w którym ten przyrost nastąpił. Zatem: $P = \Delta E_k/\Delta t = \Delta(mv^2/2)/\Delta t = ½\, v(\Delta p/\Delta t) = ½\, v\, F = ½\, mgv$, *gdzie* m – *masa rakiety,* v – *szybkość wylotowa gazów spalinowych.*

Zadanie 50. *(mechanika)*

Jakiemu przyspieszeniu należy poddać sznurek nawinięty na jednorodny walec, aby znajdował się on wciąż na tej samej wysokości?

Oblicz przyspieszenie kątowe walca oraz jego prędkość kątową po 2 s ruchu.

(Odp.: $a = 2\,g$*)*

Oblicz warność siły napinającej sznurek.

Zadanie 51. *(mechanika)*

Jednorodny walec o masie m oraz promieniu r odwija się swobodnie z nieruchomej nici. Oblicz jego przyspieszenie kątowe i liniowe oraz prędkość kątową po *5 s* ruchu. Oblicz wartość siły napinającej nić.

Zadanie 52. *(mechanika, por. Resnick, Halliday, FIZYKA, s. 387)*

Jednorodny pręt o długości l i masie M leży na gładkiej i poziomej powierzchni lodu. Krążek hokejowy o masie m, poruszający się prostopadle do osi pęta z prędkością $\boldsymbol{v}$ uderza w pręt w odległości d od jego środka i zatrzymuje się. Zakładając, że zderzenie było sprężyste oraz że nie występuje tarcie, oblicz masę krążka.

Rozwiązanie:

W wyniku zderzenia środek pręta poruszać się będzie z prędkością v_p, *a równocześnie pręt obracać się będzie wokół swojego środka masy (S) z prędkością kątową* ω.

Spełnione będą: zasada zachowania pędu, momentu pędu i energii kinetycznej.

Ponieważ po zderzeniu $v' = 0$, *zatem:* $mv = Mv_p$ *Spełniona jest też zasada zachowania momentu pędu układu względem środka masy pręta:* $mvd = {}^1/_{12}\, l^2 M\omega$

Ze względu na brak sił tarcia, spełniona jest zasada zachowania energii kinetycznej:

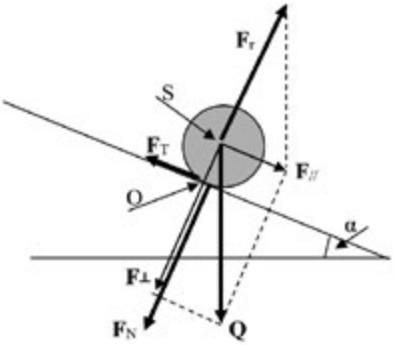
eprasa.pl 189a207405

$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} Mvp^2 + \frac{1}{2} \cdot {}^1/_{12}\, Ml^2\omega^2$

Z I równania obliczamy v_p oraz z II obliczamy ω. Wstawiając do równania III otrzymamy:

$m = Ml^2/(12d^2 + l^2)$. Można tu również obliczyć wartości v oraz ω.

Zadanie 53. *(mechanika bryły sztywnej)*



a) Udowodnij, że przyspieszenie ruchu postępowego staczającej się bryły (np. walca, obręczy czy kuli) nie zależy od jej promienia i masy.

Odp.: $a = (1/k_o)g \sin\alpha$, gdzie k_o jest współczynnikiem liczbowym we wzorze $I_o = k_o mR^2$, zaś I_o to moment bezwładności tej bryły względem chwilowej osi obrotu przechodzącej przez punkt(y) styczności bryły z powierzchnią równi. Zakładamy też, że dla walca i obręczy ich oś obrotu jest pozioma.

b) Oblicz kąt nachylenia równi (α'), przy którym ruch tej bryły **rozpocznie się** poślizgiem.

c) Udowodnij, że wartość tego kąta zależy od momentu bezwładności bryły – tak, że

$\mathrm{tg}\alpha = \mu_o/(1 - 1/k_o)$, gdzie k_o jest współczynnikiem liczbowym we wzorze na moment bez-władności tej bryły względem chwilowej osi obrotu przechodzącej przez punkt(y) styczności bryły z równią, zaś μ_o, jest współczynnikiem tarcia statycznego o **maksymalnej** wartości dla danych powierzchni równi i bryły.

Uwaga!

Zadanie a) najłatwiej rozwiązać następująco:

Oznaczmy siły (wektory sił działających pogrubiono):

Q – siła ciężkości ciała

$\mathbf{F}_{//}$ – jej składowa równoległa do pow. równi

$\mathbf{F}_{\perp}$ – jej składowa prostopadła do pow. równi

$\mathbf{F}_r$ – reakcja podłoża na nacisk ciała (wektor przesunięto do punktu S)

$\mathbf{F}_T$ – siła tarcia statycznego; ($F_T < \mu_o F_N$)

$\mathbf{F}_N$ – nacisk ciała na równię

$\mathbf{F}_r = -\mathbf{F}_N$

S – środek masy bryły

O – chwilowa oś obrotu bryły

W tym przypadku z twierdzenia Steinera

$$I_o = I_S + mR^2.$$

Ponieważ siła $\mathbf{F}_{//}$ jest wypadkową sił **Q** oraz $\mathbf{F}_r$, a moment siły $\mathbf{F}_T$ względem chwilowej osi obrotu bryły przechodzącej przez punkt O jest równy zero, zatem obrót bryły odbywa się pod wpływem działania momentu o wartości $M = F_{//} \cdot R = mgR\sin\alpha$.

Wówczas $\varepsilon = mgR \sin\alpha/k_o mR^2 = g \sin\alpha/k_o R$.

Lub $a = (1/k_o)g \sin\alpha$, co należało udowodnić.

Wartość siły $\mathbf{F}_T$ obliczymy z równania $am = F_{//} - F_T$

Stąd

$$F_T = \mathbf{F}_{//} - am = mg \sin\alpha - (1/k)mg \sin\alpha = (1 - 1/k)mg \sin\alpha .$$

Jak widać, wartość tej siły zależy od działającej na ciało siły ciężkości, od momentu bezwładności toczącego się ciała oraz sinusa kąta nachylenia równi. (Nie zależy wprost od wartości siły nacisku, a więc nie można jej obliczać ze wzoru $F_T = \mu F_N$.)

b) Wartość kąta α', przy którym ruch tej bryły **rozpocznie się** poślizgiem, obliczymy z równania: $\mu_o F_N = (1 - 1/k)mg \sin\alpha \Rightarrow \mu_o mg \cos\alpha = (1 - 1/k)mg \sin\alpha$

Zatem $\mathrm{tg}\alpha = \mu_o/(1 - 1/k_o)$, co należało udowodnić!

Dla $\mu_o = 0{,}4$ poślizg kuli nastąpi, gdy $\alpha \geq 54{,}5^0$

poślizg walca nastąpi, gdy $\alpha \geq 50^0$

poślizg obręczy nastąpi, gdy $\alpha \geq 38{,}7^0$.

Widać więc, że im większy moment bezwładności bryły, tym mniejszy kąt nachylenia równi, przy którym ruch bryły rozpocznie się poślizgiem. Natomiast **zsuwanie bryły** (np. klocka po tej równi) przy $\mu_o = 0{,}4$ nastąpi już przy kącie $\alpha \geq 21{,}8^0$.

Zadanie 54. *(mechanika)* **

Rozpatrz możliwość wspomagania napędu samochodu następującymi urządzeniami „magazynującymi" energię mechaniczną:

a) zbiornik ze sprężonym powietrzem;

b) koło zamachowe o dużym momencie bezwładności;

c) inne sposoby (zaproponuj je).

Ad a) Niech w zbiorniku o pojemności 50 dm^3 znajduje się powietrze o ciśnieniu 100 atm. Oblicz, ile dżuli energii można uzyskać w czasie rozprężania tego gazu do ciśnienia 2 atm.

Na jak długo starczy tej energii, przy pracy silnika z mocą 50 kW (68 KM)?

$$E = W = p_1V_1\ln(V_2/V_1) = 10^7\mathrm{Pa}\ 0{,}05\ \mathrm{m}^3\ln 50 \approx 0{,}2 \cdot 10^7\mathrm{J} = 2 \cdot 10^6\mathrm{J} = 2\ \mathrm{MJ}.$$

$$t = W/P = 2 \cdot 10^6\ \mathrm{J}/5 \cdot 10^4\ \mathrm{J} = 0{,}4 \cdot 10^2\ \mathrm{s} = 40\ \mathrm{s}.$$

Urządzenie takie może wspomóc silnik samochodu w chwili ruszania. Jednakże należy liczyć się ze zwiększeniem się masy samochodu o masę zbiornika z powietrzem oraz masę turbiny powietrznej. Istnieje możliwość sprężania powietrza np. przy hamowaniu pojazdu.

Ad b) Ile dżuli energii kinetycznej zmagazynowane jest w obracającym się kole zamachowym o momencie bezwładności 25 kgm^2 wykonującym 100 obrotów na sekundę?

$$E = \frac{1}{2} I\omega^2 = \frac{1}{2} I\, 4\pi^2 f^2 = 2\pi^2 f^2 I \approx 2 \cdot 10 \cdot 10000 \cdot 25\ \mathrm{J} = 5 \cdot 10^6\ \mathrm{J}.$$

Jeżeli masa tego koła byłaby równa 100 kg, to jego energia kinetyczna przy szybkości samochodu 20 m/s byłaby równa 20000 J, co stanowi zaledwie 0,4% jego energii kinetycznej ruchu obrotowego. Jeżeli w czasie hamowania można by odzyskiwać tę energię, to takie wspomaganie silnika samochodu w ruchu miejskim (np. autobusów) byłoby wskazane.

Jak powinna być usytuowana oś tego koła względem karoserii, by nie utrudniało ono zmiany kierunku jazdy samochodu? (Zob. zasada zachowania momentu pędu.)

eprasa.pl 189a207405

Foto – NASA

CREDO-Maze: całkiem niezłe dobrego początki

Tadeusz **Wibig**

Projekt CREDO-Maze „Kosmos widziany z Łodzi" wystartował już trzy lata temu. Uzyskaliśmy wtedy niezbędne finansowanie ze środków budżetu Państwa (SONP/SN/516075/2021 i potem POPUL/SP/0444/2023/01) i mogliśmy zacząć serio myśleć o tym, jak fizycznie wprowadzić fizykę z najwyższej półki pod strzechy polskich szkół. Żeby nie być źle zrozumianym, nie całą współczesną fizykę i nie ze wszystkimi jej wspaniałymi osiągnięciami. Może niezgodnie z romantycznym przesłaniem Wieszcza postanowiliśmy mierzyć zamiary podług sił. A nasze siły to przede wszystkim wiedza i myśl, no i odrobina wspomnianej rzeczywistości finansowej.

Jeśli rozejrzeć się wokół, zauważymy wszędzie obecność fizyki. Fizyki prostej, jak równia pochyła, gdybyśmy chcieli zbudować jakąś piramidę, czy dźwignia, gdybyśmy za Archimedesem i zgodnie ze starszym o dwa tysiące lat międzynarodowym przesłaniem Eugène Pottiera „chcieli ruszyć z posad bryłę świata", ale też fizyki relatywistycznej Einsteina, astrofizyki wybuchających gwiazd i fizyki cząstek elementarnych, także tych, które nieustannie przychodzą do nas z Kosmosu. I jeśli odpowiednio poszukać, można znaleźć w tym pozornym chaosie temat pasjonujący, godny uwagi, intrygujący i wbrew pozorom całkiem dostępny. I tak ostatecznie narodziła się idea projektu, który nazwaliśmy CREDO-Maze (nazwę tę wyjaśnimy za chwilę).

Idea

Idea ta to skonstruowanie urządzenia mającego za zadanie łapać i rejestrować cząstki elementarne dostarczane nam przez odległe i nie do końca poznane źródła promieniowania kosmicznego. Nie jest to coś, czego by nikt przed nami nie próbował, od połowy ubiegłego wieku naukowcy z największych uczelni i instytutów na całym świecie próbują rozwikłać skomplikowane zagadki pochodzenia i propagacji cząstek o niewyobrażalnie wielkich energiach, przy których to, co dzieje się w CERN pod Genewą, to bardzo mały pikuś (Pikuś?). Świat wydaje na to (i słusznie!) miliony, miliardy euro/dolarów i ktoś mógłby spytać się, jak my tu i teraz możemy się z nim mierzyć, a nawet choćby porównywać? Oczywiście, że nie możemy. Ale możemy ponownie odwołać się do naszego rozumu, obudzić nasze myśli i znaleźć sposób na zrobienie czegoś ciekawego właśnie tu i teraz, a konkretnie w Twojej szkole, w Waszych szkołach.

Rzeczywistość finansowa okazała nam przychylność trzy lata temu i oto możemy budować testować i potem rozdawać Wam sprzęt naukowy potencjalnie dający Wam i nam szansę na poszukiwanie niespodziewanego. Chcemy budować to, co jakiś czas temu naukowcy z Krakowa nazwali **C**osmic **R**ay **E**xtremely **D**isributed **O**bserwatory (CREDO), co w wolnym tłumaczeniu oznacza globalne obserwatorium promieniowania kosmicznego.

A tak właściwie to, co chcemy obserwować?

Cząstka wielkiej energii wpadając w atmosferę niewątpliwie prędzej, czy później musi zderzyć się z jakimś jądrem atomowym powietrza. W wyniku tego zderzenia powstaje to, co widzą w CERN w olbrzymich detektorach zderzacza LHC: lawina złożona z tysięcy cząstek elementarnych, z których każda ma także wielką energię i prędzej czy później musi zderzyć się z jakimś jądrem atomowym

eprasa.pl 189a207405

powietrza, w wyniku czego powstaje lawina złożona z tysięcy cząstek elementarnych, z których każda ma... W wyniku tego procesu do powierzchni ziemi dolatuje w jednej chwili wielka liczba cząstek o energiach już nie tak bardzo kosmicznych, ale jeszcze ciągle wielkich, relatywistycznych, jak mówią fizycy. Nazywa się to wielkim pękiem atmosferycznym i to jest właśnie to, co my chcemy rejestrować. Pierwszymi, którzy coś takiego zauważyli, byli fizycy francuscy Pierre Auger i Roland Maze.

I tu pojawiają się dwa pytania: jak i po co?[1]

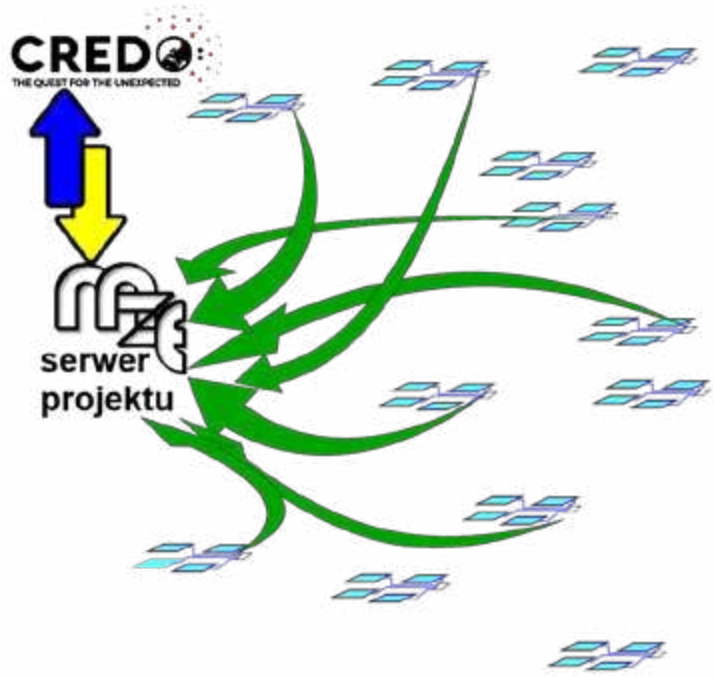
Aby zobaczyć taka lawinę musimy rozmieścić na powierzchni ziemi detektory cząstek elementarnych. Brzmi to bardzo skomplikowanie, ale wiedza o tym, jak to zrobić sięga prac Marii Skłodowskiej-Curie (może nie dosłownie). Od tamtych dawnych czasów technologie jądrowe rozwinęły się i technologie te pozwalają nam zbudować taki detektor. Zbudowanie ich kilku (najlepiej czterech) i połączenie z użyciem prostej, acz dość wyrafinowanej technologii elektronicznej w jedną stacje pomiarową nie stanowi wielkiego wyzwania dla ludzi dysponujących odpowiednią wiedzą i myślących, jak należy. Jednym z najważniejszych parametrów z jakim musieliśmy się zmierzyć był koszt całości. Ekonomia głupcze! Nie jest sztuką zamówić takie coś w sklepie ze stacjami pomiarowymi wielkich pęków atmosferycznych. Jest kilka takich sklepów na świecie, ale ceny w nich stanowią skuteczną zaporę dla tych, którzy chcieliby zorganizować globalne obserwatorium idąc tą drogą. Nasze zestawy są co najmniej kilkadziesiąt razy tańsze.

A po co nam one?

I tu pojawia się co najmniej kilka powodów. Zacznijmy od tego najbardziej ambitnego, od wielkiego pytania stojącego przed fizyką w ogóle (są listy rankingowe takich pytań, kto chce niech poszuka).

Fizycy teoretycy tworzą teorie opisujące to, co jest. Teorie te czasem ekstrapolowane są na obszary nieznane naszym wcześniejszym doświadczeniom i wtedy (czasem) stają się jeszcze ciekawsze. Przewidują one bowiem czasem zjawiska, które, gdyby udało się je zobaczyć, w dużym stopniu potwierdziłyby tę właśnie teorię, a sfalsyfikowały zaś inne, co być może oznaczałyby kolejną fizyczną rewolucję. Historia zna takie przykłady.

Wyobraźmy sobie teraz, że istnieją, teoretycznie, cząstki elementarne, który są po pierwsze bardzo ciężkie, a w dodatku żyją niesłychanie długo i oddziałują ze wszystkim raczej niechętnie. Dzisiaj cząstek takich nie znamy. Nikt ich dotąd nie widział, właśnie dlatego, że są one za ciężkie, aby wytworzyły je akceleratory w naszych laboratoriach, a i kosmos jest też dla nich dziś za mały i na ich miarę zbyt spokojny, chłodny. Ale kiedyś było inaczej. Zaraz po Wielkim Wybuchu było bardzo gęsto i gorąco. Niewyobrażalnie gęsto i gorąco. Wszystko, co mogłoby tylko powstać, powstawało i oczywiście zaraz znikało w tym wszechświatowym tyglu. Z czasem zupa ta stygła i najprawdopodobniej by się w końcu okazało, że



Rys. 1 Schemat całości sieci CREDO-Maze.

niektóre z cząstek, jakie wcześniej powstały, przetrwały i trwają ciągle przemieszczając się w rozszerzającej się przestrzeni do dziś.

Jeśli na swej drodze spotkają Układ Słoneczny mogą z jego magnetosferą jednak czasem oddziałać i w rezultacie rozpaść się na mnóstwo teraz już zupełnie normalnych, znanych nam cząstek elementarnych, które lecąc dalej mogą w zbiorowości swej trafić w Ziemię. A wtedy wywołają na całej kuli ziemskiej, a dokładnie na jej widocznej połowie, serię jednoczesnych (z uwzględnieniem oczywiście geometrii) wielkich pęków atmosferycznych tu i tam. A my je zobaczymy, jeśli na całej kuli ziemskiej ustawimy nasze stacje detekcyjne!

Są jeszcze inne powody, dla których warto mieć w szkole stację CREDO-Maze, a co najmniej warto się projektem CREDO-Maze zainteresować i do jego prac się przyłączyć. Pisaliśmy w „Fizyce w Szkole" o eksperymentach, jakie można wykonać (i jakie wykonano) dysponując czterema detektorami cząstek naładowanych[1].

Na przykład można ustawić je jeden na drugim w geometrii teleskopu i wtedy będą one monitorowały strumień dochodzących do powierzchni ziemi wtórnych mionów kosmicznych, pozostałości po malutkich wielkich pęczkach, które zanikły już gdzieś wysoko w atmosferze. Miony to takie cząstki, które wiele mogą przetrwać, o czym przekonać się możemy obserwując jednoczesne przejście cząstki naładowanej przez cztery detektory.

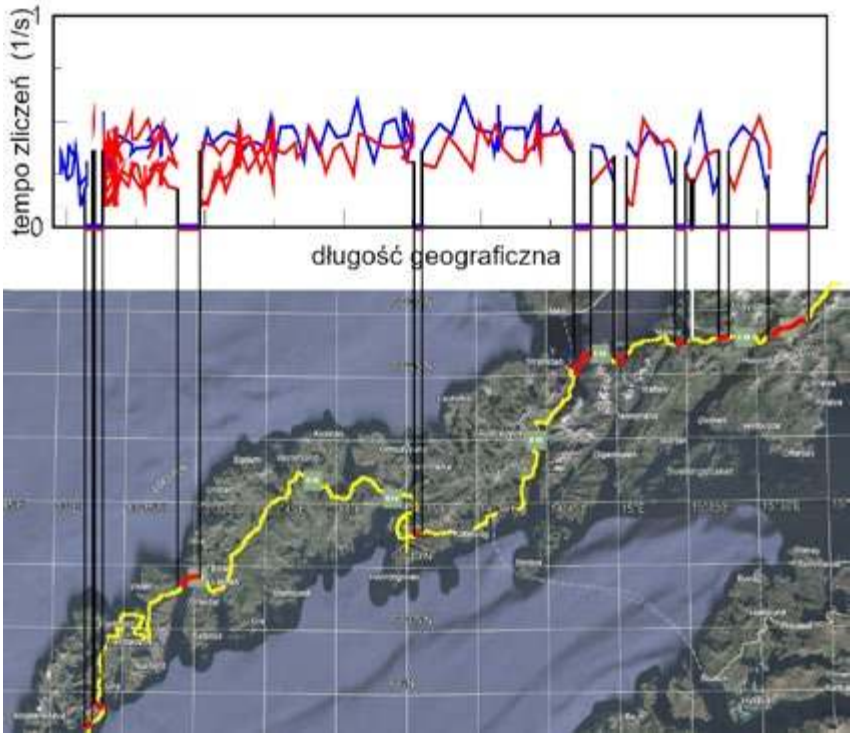
Na Lofotach i po ziemią

Pożyczyliśmy taki teleskop naszym kolegom z Finlandii, a oni wstawili go do bagażnika samochodu i pojechali na wycieczkę na daleką północ odwiedzić Świętego Mikołaja w Rovaniemi, przekroczyli koło polarne i odwiedzili dzikie i bardzo skaliste norweskie wyspy Lofoty.

[1] kilka słów wyjaśnienia jest tu potrzebne dla tych, którzy nie śledzili wcześniejszych publikacji w „Fizyce w Szkole" pod hasłem „CREDO-Maze[...]"

eprasa.pl 189a207405

Rys. 2 Teleskop CREDO-Maze (w walizeczce) przekracza koło podbiegunowe.

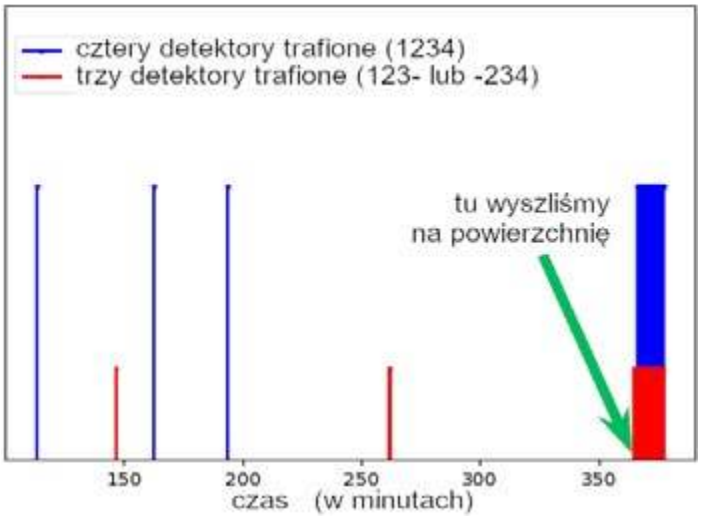


Rys. 3: Mapa drogi przez Lofoty (niżej) i ponad nią wykres tempa zliczeń niespójnych mionów.

Przez prawie całe Lofoty poprowadzona jest autostrada pokonująca cieśniny i góry przez mosty i tunele. Właśnie te tunele interesowały nas najbardziej. Niespójne miony przechodzą bez przeszkód przez dach samochodu, ale grubsze warstwy skał w znacznej mierze je pochłaniają. Ciekawi byliśmy, co pokażą nasze detektory podczas drogi tam i z powrotem. Rysunek pokazuje to dokładnie. Mamy tam mapę drogi, na której zaznaczono położenie tuneli, a ponad mapą mamy wykres pokazujący tempo zliczeń mionów. Jak widać w tunelach mionów w ogóle nie widać, czego właśnie się spodziewaliśmy.

Tunele są oczywiście pod ziemią, ale poszliśmy dalej w tym kierunku i udaliśmy się do kopalni soli (wspomnieliśmy o tym w „Fizyce w Szkole" w numerze nr 1, s.14, 2024, „*CREDO-Maze: Promieniowanie kosmiczne zapomniani odkrywcy*") i tam przez czas znacznie dłuższy niż czas przejazdu nawet przez najdłuższy tunel na Lofotach mierzyliśmy strumień mionów. Aby przebić się przez 300 metrów ziemi miony musiały mieć na powierzchni znacznie większe energie, a co za tym idzie pochodzić musiały ze znacznie większych pęków, a tych jest oczywiście zdecydowanie mniej.

Wyniki pomiaru w kopalni pokazuje wykres, na którym zaznaczono na osi czasu wszystkie zarejestrowane



Rys. 5: Wyniki zliczeń mionów 300 metrów pod ziemią (z lewej strony) i po wyjściu na powierzchnię (z prawej).

Rys. 4: Teleskop CREDO-Maze w kopalni.

eprasa.pl 189a207405

przypadki. Trzykrotnie przez ponad cztery godziny zarejestrowaliśmy koincydencję wszystkich czterech detektorów i dwukrotnie tylko trójki (górnych lub dolnych). Gdy wyjechaliśmy na powierzchnię, zliczenia posypały się gwałtownie, aż na wykresie zlały się ze sobą.

Pomiarów z teleskopem czterech liczników wykonaliśmy już wiele: zmierzyliśmy pochłanianie mionów w ołowiu („Fizyka w Szkole" nr 4, s. 18, 2022), *„CREDO-Maze: promieniowanie kosmiczne a fizyka cząstek elementarnych"*) w betonowych stropach („Fizyka w Szkole" nr 2, s. 26, 2022), „*CREDO-Maze: promieniowanie kosmiczne w każdej szkole*") a także, o czym głośno nie mówiliśmy (jeszcze) zmierzyliśmy rozkład kątowy niespójnych mionów, jednorodność detektorów i sprawdziliśmy zależności tempa zliczeń od geometrycznych parametrów teleskopu („Fizyka w Szkole" nr 6, s. 24 2022), „*CREDO-Maze: promieniowanie kosmiczne czyli właściwie co?*").

Detektorów rozstawionych poziomo można też użyć niestandardowo dla zmierzenia ważnych charakterystyk wielkich pęków promieniowania kosmicznego. Pierwszy przykład takiego eksperymentu dowodzący samego istnienia wielkich pęków i czegoś, co nazywa się „krzywą dekoherencji" opisaliśmy w pierwszym artykule z cyklu CREDO-Maze opublikowanym w „Fizyce w Szkole" w roku 2022.

Tajskie wyniki

Ostatnio niejako przypadkiem będąc na wakacjach w Tajlandii i przypadkiem mając ze sobą cała stację projektu CREDO-Maze ustawiliśmy wszystkie cztery detektory na stole całkiem blisko siebie i po analizie rejestracji okazało się, że „wykryliśmy" krótkozasięgowe korelacje w niewielkich wielkich pękach atmosferycznych.

Oczywiście nie było to odkryciem wielkim i bardzo niespodziewanym, gdyż w sumie czegoś takiego spodziewać się należało, ale wynik ten i tak okazał się na tyle ważnym i ciekawym, że udało się te wyniki opublikować w poważnym czasopiśmie fizycznym (*Physical Letters* B 860, 1, 2025 *Non-Poissonian Particle Fluctuations in the Cosmic Ray Extensive Air Shower and Shower Size Estimation*).

Współautorką tego artykułu jest Prof. Punsiri Dam-O wykładowca na Uniwersytecie Walailak w Tajlandii. Ma ona tam grupę uczniów chcących poznawać fizykę, tak jak i my. Stanowią oni naszą odległą placówkę i stację pomiarową projektu CREDO-Maze na drugim końcu świata (niemal). Dane stamtąd spływają do nas od kilku miesięcy i będą dostępne dla wszystkich.

Te trzy zilustrowane przykłady niestandardowych zastosowań aparatury stacji CREDO-Maze pokazują, jak wiele można osiągnąć przy odrobinie inwencji i przede wszystkim chęci. Propozycje innych pomiarów mamy w swoich szufladach i chętnie się nimi podzielimy z zainteresowanymi. Mimo iż chwilowo skupiamy całe nasze wysiłki na budowie i rozdawaniu kolejnych stacji pomiarowych i budowaniu przyjaznego użytkownikowi i bezpiecznego oprogramowania bazy danych, mamy w planie kilka interesujących naszym zdaniem dużych eksperymentów, które zamierzamy zrealizować w roku 2025.

Rys. 6: Stacja CREDO-Maze na stole w Walailak Univesity.

Rys. 7: Młodzi Tajowie i ich nauczyciele słuchają o CREDO-Maze.

eprasa.pl 189a207405

40 rocznica znalezienia meteorytu ALH 84001[1]

Krzysztof **Kowalczyk**

Fot. 1. Meteoryt ALH 84001. Fot. NASA/JSC/Stanford University

40 lat temu 27.12.1984 r., gdy rozgłośnie radiowe zaczynały dopiero grać „Last Christmas" zespołu Wham!, a komunistyczni dyktatorzy bardzo chcieli urzeczywistnić to, przed czym przestrzegał George Orwell w powieści „Rok 1984", ekipa poszukiwaczy meteorytów na Antarktydzie dokonała niezwykłego odkrycia meteorytu, który po latach miał wstrząsnąć naszą wiedzą o Marsie. Konkretnie okaz został znaleziony przez Robertę Score – członkinię sześcioosobowej wyprawy w rejonie wzgórz Allana (Allan Hills) na Antarktydzie. I jeśli są jakieś powody naukowe, dla których rok 1984 miałby zostać zapamiętany, to jest wśród nich niewątpliwie znalezienie meteorytu ALH 84001.

Początkowo nie wiedziano, że tajemnicza skała, wyróżniająca się na tle śniegu i lodu Antarktydy (stąd też statystycznie łatwiejsza do znalezienia niż byłoby to w przypadku spadku na innym kontynencie), pochodzi aż z Marsa. Sama możliwość, by jakaś skała mogła zostać wyrwana z powierzchni Czerwonej Planety przez uderzenie jakiegoś dużego meteorytu i nie spaść ponownie na powierzchnię Marsa, ale po milionach lat dotrzeć aż na Ziemię, wydawała się wtedy mało prawdopodobna. Było tak mimo wiedzy o mniejszej niż w przypadku Ziemi prędkości ucieczki z Marsa wynoszącej 5 km/s.

Dopiero rok później po szczegółowych badaniach laboratoryjnych naukowcy zgodzili się co do tego, że inne antarktyczne znalezisko – meteoryt EETA 79001 – może być zaklasyfikowany jako pierwszy meteoryt marsjański. Podobnie w 1993 r. dzięki znajomości składu izotopowego powierzchni Marsa, poznanego dzięki misji lądowników Viking z 1976 r. i zastosowaniu opracowanej przez siebie metody porównywania proporcji izotopów tlenu, jeden z pionierów kosmochemii Robert Clayton z Uniwersytetu w Chicago wykazał, że meteoryt ALH 84001 również pochodzi z Marsa.

Potwierdzenie po dziewięciu latach marsjańskiego pochodzenia meteorytu ALH 84001 oznaczało, że może stać się on narzędziem do badania zmian zachodzących na samej Czerwonej Planecie. Potwierdziło to zarazem intuicję znalazczyni, która była absolwentką geologii na Uniwersytecie Kalifornijskim w Los Angeles, że może to być niezwykłe znalezisko.

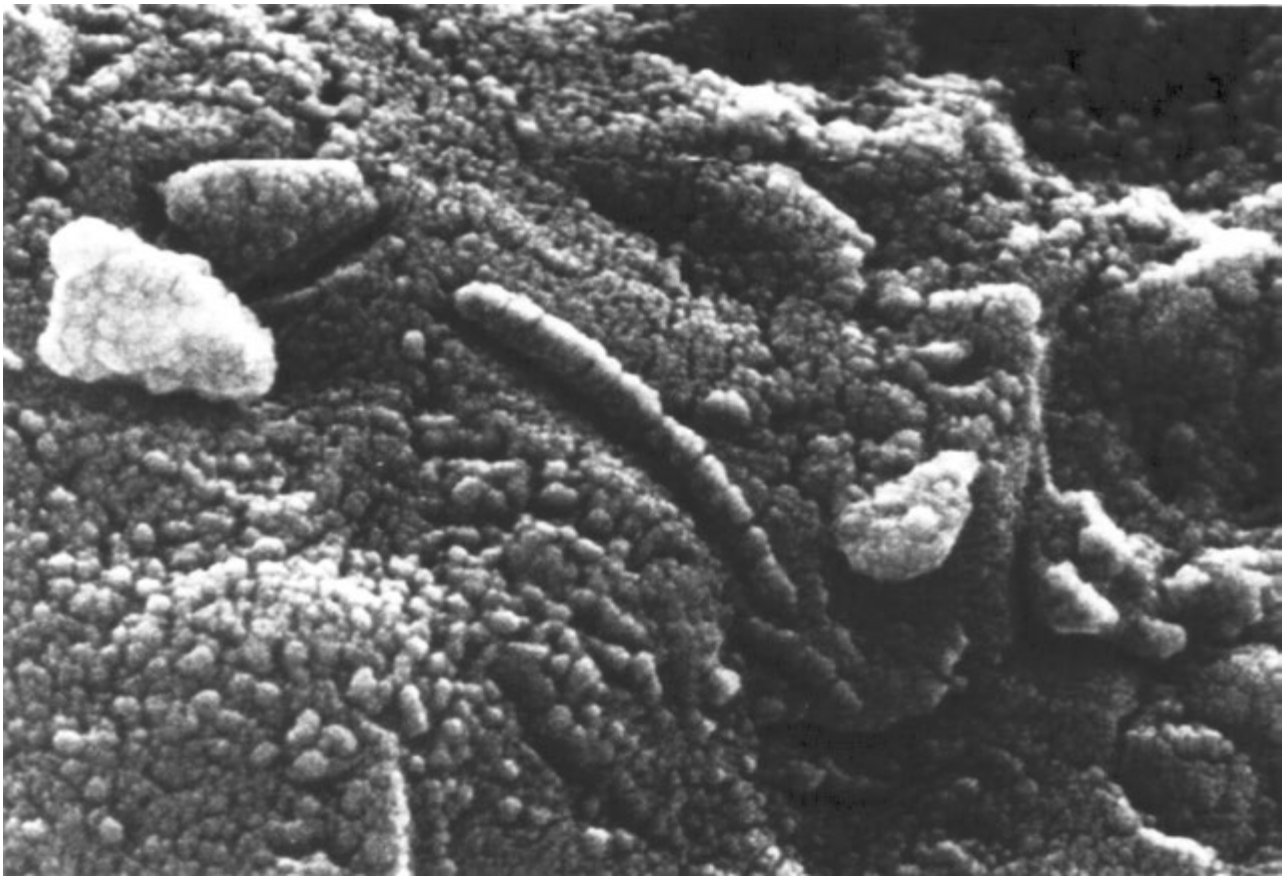
W naturalny sposób zwiększyło się zainteresowanie badaczy meteorytem ALH 84001, jako że nie dysponowano wtedy – i nie dysponujemy do dziś – próbkami materii sprowadzonej na Ziemię przez misje marsjańskie, więc na razie możemy liczyć tylko na marsjańskie meteoryty. I już samo to wystarczyłoby, by uznać ALH 84001 za niezwykłe znalezisko, ale w 1996 r. opinię publiczną zelektryzowała jeszcze jedna wiadomość.

Latem 1996 r. zespół kierowany przez Davida McKaya, który był m.in. geologiem szkolącym astronautów z programu Apollo, a potem głównym astrobiologiem w Johnson Space Center, ogłosił odkrycie możliwych mikroskamieniałości w marsjańskim meteorycie znalezionym na Antarktydzie. Za istnieniem potencjalnego marsjańskiego życia w postaci pradawnych mikroorganizmów miały świadczyć cztery rodzaje struktur znalezionych w meteorycie ALH 84001. Były wśród nich: wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, globulki węglanowe, obecne w globulkach siarczki żelaza i kryształki magnetytu (Fe_3O_4) przypominające minerał wytwarzany przez niektóre ziemskie bakterie, czy wreszcie bakteriopodobne nanorurki o rozmiarach zaledwie 40 nanometrów, będące domniemanymi skamielinami mniejszych niż ziemskie mikroorganizmów.

[1] Tekst ukazał się po raz pierwszy na profilu Facebook Planetarium Centrum Nauki Kopernik, którego Autor jest pracownikiem: https://www.facebook.com/share/1F6hGMXk4n/

[2] Wspomina o tym Donald Goldsmith w książce „W poszukiwaniu życia na Marsie" (wyd. Prószyński i S-ka, Warszawa 2000), która zawiera wiele szczegółów z kulisów badań meteorytu ALH 84001.

eprasa.pl 189a207405



Fot. 2. Struktury, które wzięto za możliwe skamieniałości marsjańskich mikroorganizmów na obrazie fragmentu meteorytu ALH 84 001 z mikroskopu elektronowego. Fot NASA

Jeszcze przed oficjalną publikacją w „Science", z powodu przecieku do Białego Domu[2], do sprawy odniósł się ówczesny prezydent Stanów Zjednoczonych Bill Clinton, co tylko podgrzało emocje: „Jeśli to odkrycie zostanie potwierdzone, z pewnością będzie to jeden z najbardziej oszałamiających faktów o naszym Wszechświecie, jaki kiedykolwiek odkryła nauka. Jego implikacje są tak dalekosiężne i budzące podziw, jak tylko można to sobie wyobrazić. Nawet jeśli obiecuje odpowiedzi na niektóre z naszych najstarszych pytań, stawia kolejne, jeszcze bardziej fundamentalne."[3]

Naukowcy podeszli do doniesień zespołu McKaya z właściwą sobie ostrożnością i inne grupy przystąpiły do badań, które miały ostatecznie potwierdzić lub obalić tezę o możliwym pochodzeniu śladów w meteorycie od hipotetycznych marsjańskich form życia. W kolejnych latach odkrywano, że chociażby takie struktury jak policykliczne węglowodory aromatyczne są znacznie bardziej powszechne we Wszechświecie niż się dotychczas zdawało i mogą powstawać też w miejscach ekstremalnie nieprzyjaznych dla życia. Część struktur branych przez grupę McKaya jako możliwe pozostałości życia może być też pochodzenia mineralnego, a meteoryt mógł też ulec zanieczyszczeniom organicznym na Ziemi, gdy leżał przez tysiące lat w antarktycznym mrozie, zanim go odkryto. Jeśli nawet przeniósł na Ziemię jakieś ślady marsjańskiego życia, to możliwe, że już nigdy się o tym nie dowiemy, bo równie dobrze obecne w nim niezwykłe struktury mogły powstać w inny sposób.

Sprawa meteorytu ALH 84001 z jednej strony wzbudziła na nowo zainteresowanie Marsem, a z drugiej strony nadszarpnęła wizerunek NASA, która jako instytucja naukowa musiała w kolejnych latach dystansować się od ogłoszonej w 1996 r. niezwykłej hipotezy o znalezieniu potencjalnych śladów życia na Marsie.

NASA nie składa jednak broni w temacie poszukiwań śladów marsjańskich mikroorganizmów i nie licząc już tylko na marsjańskie meteoryty we współpracy z ESA przygotowuje misję Mars Sample Return, która ma wystartować w 2026 r. Celem misji jest pierwsze w historii sprowadzenie próbek z powierzchni Marsa na Ziemię.

Bezzałogowa misja Mars Sample Return ma zabrać z powierzchni Marsa przygotowane tam już w specjalnych zasobnikach przez łazik Perseverance zebrane próbki gruntu z rejonu krateru Jezero, o którym wiadomo, że płynęła tam ciekła woda. Marsjańskie życie, jeśli kiedykolwiek istniało, wciąż bowiem czeka na odkrycie i – kto wie – może jego ślady odnajdziemy właśnie w okolicy krateru Jezero…

[3] Link do nagrania z briefingu prasowego z 07.08.1996 r.: https://www.youtube.com/watch?v=pHhZQWAtWyQ

eprasa.pl 189a207405

Fizyczna ewolucja gwiazd

Marcin **Wesołowski**

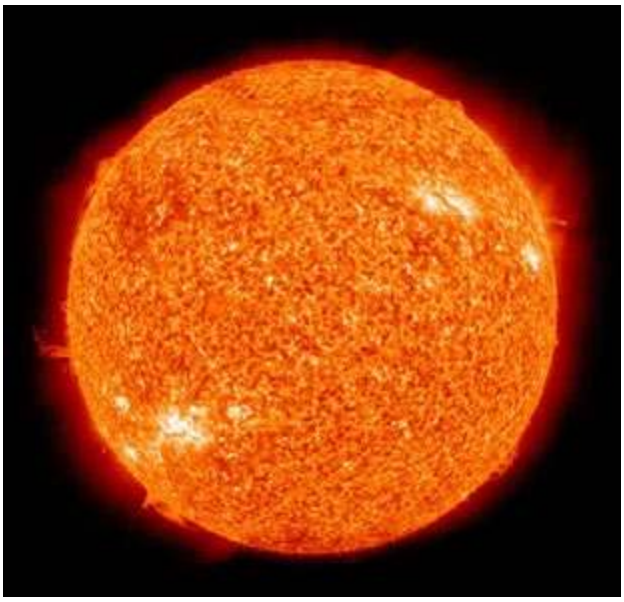


Foto. 1. Słońce w dalekim ultrafiolecie, widoczna granulacja powierzchni. Foto. NASA.

Gwiazda jest samoświecącym obiektem astronomicznym, który przez znaczną cześć swojego życia wypromieniowuje energie powstałą w wyniku reakcji jądrowych zachodzących w jego wnętrzu. Głównym procesem odpowiedzialnym za powstawanie energii w postaci światła jest spalanie wodoru do helu i innych cięższych pierwiastków. Najbliższa gwiazda względem Ziemi to Słońce, które jest odległe od niej o około 150 mln km, druga z kolei to α Centauri odległa o 4,3 lat świetlnych znajdująca się w gwiazdozbiorze Centaura.

Okiem nieuzbrojonym możemy zaobserwować około 6000 gwiazd na obu półkulach ziemskich ze znanych około 20 milionów gwiazd, które należą do naszej galaktyki. Szacuję się, bowiem, że całkowita liczba wszystkich gwiazd w Galaktyce Drogi Mlecznej wynosi około $2{\cdot}10^{11}$. Masy gwiazd przybierają wartości od około 0.08 M_S do rzędu 100 M_S, (M_S jest masą Słońca), promienie od około 10 km (gwiazdy neutronowe) do rzędu 1000 R_S, temperatury powierzchni od rzędu tysiąca do kilkudziesięciu tysięcy Kelvinów.

Ze względu na jasność absolutną gwiazdy podzielono na następujące klasy: I – nadolbrzymy, II – jasne olbrzymy, III – olbrzymy, IV – podolbrzymy, V – karły (gwiazdy ciągu głównego), VI – podkarły, VII – białe karły. Dla gwiazd o szczególnie dużej jasności absolutnej tzw. hiperolbrzymów wprowadzono dodatkowo klasę jasności „0”. Ze względu na intensywność występujących w widmie promieniowania elektromagnetycznego linii i pasm absorpcyjnych gwiazdy dzielimy na następujące typy widmowe (zgodnie ze zmniejszaniem się temperatury fotosfery gwiazdy): O, B, A, F, G, K, M.

Oprócz wyszczególnionych powyżej podstawowych typów widmowych gwiazd istnieje nieliczna grupa gwiazd o widmach zbliżonych do typów G lub K mających silne linie i pasma węgla. Typy te oznaczono literami R i N. Są to tzw. gwiazdy węglowe. Gwiazdom posiadającym w widmie pasma tlenku cyrkonu przypisano typ S – są to gwiazdy cyrkonowe. W każdym z typów wyróżnia się dodatkowo dziesięć podtypów oznaczonych cyframi 0, 1, 2, 3,... 9. Np. gwiazda oznaczona, jako G5 jest gwiazdą o widmie pośrednim, pomiędzy typem F i K. Obecnie stosowany jest powszechnie system MK dwuwymiarowej klasyfikacji widm gwiazdowych (Morgana i Keenana), w którym każdej gwieździe przypisuje się typ widmowy i klasę jasności.

Typ widmowy gwiazdy zależy od jej efektywnej temperatury, czyli temperatury, jaką idealne ciało czarne o takiej samej powierzchni jak gwiazda musiałoby mieć, aby wytworzyć taką samą całkowitą energię. Temperaturę efektywną możemy obliczyć na postawie prawa Stefana – Boltzmanna. Dla przykładu obliczmy teraz temperaturę efektywną dla Słońca korzystają z następujące zależności:

Foto. 2. Alpha Centauri. Foto. NASA.

Foto. 3. Jedna z najjaśniejszych gwiazd – Syriusz. Foto. NASA, ESA.

Foto. 4. Wega – jasna gwiazda nieba nocnego. Foto. NASA.

eprasa.pl 189a207405

$$T_{ef} = \sqrt[4]{\frac{L}{4\pi\sigma R_S^2}}, \qquad (1)$$

gdzie L jest mocą wypromieniowaną przez Słońce ($L = 3.86 \cdot 10^{26}$ W), σ jest stałą Stefana-Boltzmanna ($\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$), R_S jest promieniem równikowym tarczy Słońca ($R_S = 696342 \cdot 10^3$ m). Wówczas temperatura efektywna dla naszej dziennej gwiazdy wynosi $T_{ef} = 5781.46$ K. Dodatkowo zauważmy że moc wypromieniowaną przez Słońce możemy powiązać że stała słoneczną za pomocą następującej zależności:

$$L = 4\pi d^2 S, \qquad (2)$$

gdzie d jest odległością Ziemi od Słońca ($d = 150 \cdot 10^9$ m), S jest stałą słoneczną czyli ilością energii słonecznej docierającej w jednostce czasu do jednostki powierzchni prostopadłej do kierunku rozchodzenia się promieniowania na górnej granicy atmosfery ($S = 1361$ $W \cdot m^{-2}$). Wartość stałej słonecznej została wyznaczona na pomiarów wykonanych przez SORCE (ang. Solar Radiation and Climate Experiment). Ponadto słała słoneczna charakteryzuje się zmiennością w czasie. Rozkład ten został przedstawiony na rys.1.

Wykorzystując równania (1-2) można zauważyć, że temperatura efektywna dla Słońca dana jest jako:

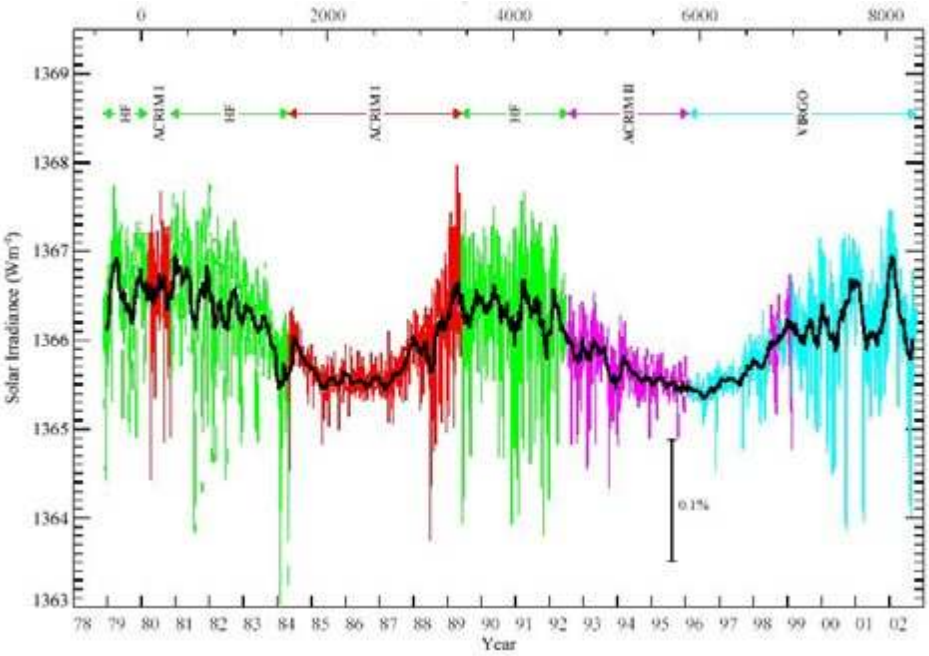
$$T_{ef} = \sqrt[4]{\frac{4\pi d^2 S}{4\pi\sigma R_S^2}} = \sqrt[4]{\frac{d^2 S}{\sigma R_S^2}} = 5777.01\,K \qquad (3)$$

W klasyfikacji MK Słonce jest określane jako gwiazda typu widmowego G2 V. Czerwony olbrzym Aldebaran w gwiazdozbiorze Byka ma efektywną temperaturę około 3910 Kelwinów i jest klasyfikowany jako gwiazda K5, podczas gdy Alcyone, najjaśniejsza z niebieskich olbrzymów w gromadzie otwartej Plejady, ma efektywną temperaturę około 12700 kelwinów i jest klasyfikowana jako gwiazda B7.

Foto. 5. Galaktyka Drogi Mlecznej w podczerwieni – zdjęcie wykonane przez Kosmiczny Teleskop Spitzera. Widoczna ogromna liczba gwiazd w Galaktyce. Foto. NASA.

Kolory i efektywne zakresy temperatur są następujące:

- powyżej 30 000 Kelwinów – opis koloru: niebieski
- B – 10 000 do 30 000 Kelwinów – opis koloru: niebiesko-biały
- A – 7500 do 10 000 Kelwinów – opis koloru: biały
- F – 6000 do 7500 Kelwinów – opis koloru: żółto-biały
- G – 5200 do 6000 Kelwinów – opis koloru: żółty
- K – 3700 do 5200 Kelwinów – opis koloru: pomarańczowy
- M – 2400 do 3700 Kelwinów – opis koloru: czerwony.



Rys.1. Zmienność stałej słonecznej (Rys. NASA).

Foto. 6. Pulsar w Mgławicy Kraba. Foto. NASA, ESA.

eprasa.pl 189a207405

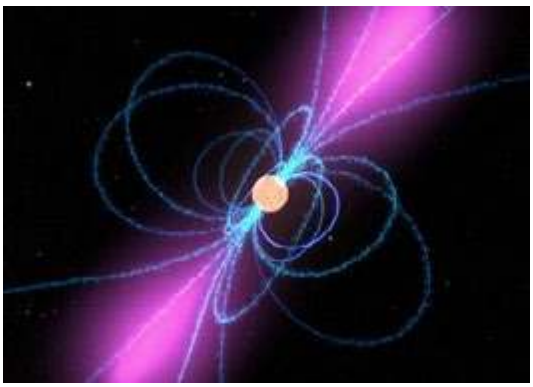


Foto. 7. Graficzny model pulsara. Foto. NASA.

Foto. 8. Gwiazda Nova Cygni 1992. Foto. NASA. M_S

Aby móc dowiedzieć się nieco więcej o poszczególnych rodzajach gwiazd dokonamy teraz klasycznego ich podziału. Możemy wyróżnić następujące typy gwiazd.

Gwiazda neutronowa jest jednym z możliwych ostatnich etapów ewolucji gwiazd. Obiekt powstały po wybuchu supernowej o bardzo niewielkich rozmiarach rzędu 10 km i olbrzymiej gęstości około 10^{17} [kg·m^{-3}], zbudowany jest głównie z neutronów. Szybko rotująca gwiazda neutronowa obdarzona znacznym polem magnetycznym może być pulsarem – źródłem silnego promieniowania elektromagnetycznego o pulsującym w czasie natężeniu.

Gwiazda Nova – gwiazda zmienna, która nagle w ciągu kilku dni powiększa wybuchowo swą jasność o kilkanaście wielkości gwiazdowych. Następnie jasność gwiazdy powoli w ciągu kilku lat maleje, by w końcu osiągnąć poziom sprzed wybuchu, przy czym mogą występować dalsze wahania jasności.

Analiza jasności prowadzi do wniosku, że przyczyną wybuchu jest niestabilność, prowadząca do odrzucenia warstw zewnętrznych gwiazdy. Wzrost jasności, początkowo związany jest z gwałtownym wzrostem promienia gwiazdy, a więc że zwiększeniem powierzchni emitującej promieniowanie, a następnie duża jasność gwiazdy pochodzi od promieniowania jej gorętszych teraz odsłoniętych głębszych warstw.

Obecnie uważa się, że zdecydowana większość (lub nawet wszystkie) Gwiazdy Nove to składniki układów podwójnych a wybuchy są konsekwencją procesów związanych z przepływem materii z jednej gwiazdy do drugiej. Termin ”gwiazda nova” może być mylący, gdyż nie oznacza on oczywiście gwiazdy nowo powstałej, lecz taką, która świeciła relatywnie słabo, lecz nagle gwałtownie pojaśniała.

Gwiazda Supernowa, (supernowa) – gwiazda ulęgająca zjawisku fizycznego wybuchu, który prowadzi do jej rozpadu i któremu towarzyszy olbrzymi wzrost blasku nawet o 20 magnitudo. Zjawisko to ma miejsce w bardzo późnym etapie ewolucji gwiazdy. W maksimum blasku gwiazdy supernowe promieniują z mocą porównywalną do mocy promieniowania całych galaktyk, przez co mogą być wykrywane nawet w bardzo dużych odległościach od Ziemi.

Ze względu na cechy obserwacyjne supernowe dzielimy obecnie na trzy grupy Ia (SNIa), Ib (SNIb) i II (SNII). Podział ten jest pozostałością pierwotnego podziału na dwie grupy. Supernowe typu Ia osiągają maksymalną jasność w czasie około dwóch tygodni od wybuchu a następnie w podobnym okresie czasu obniżają swój blask o około $3^m,5$. Dalszy spadek jasności jest już znacznie wolniejszy. Jasność w maksimum blasku wykazuje bardzo małą dyspersję i dlatego są one najlepszymi „świecami standardowymi”, służącymi do wyznaczania odległości we Wszechświecie.

Charakterystyczna cechą widm tego rodzaju supernowych jest całkowity brak linii wodoru. Występują one w galaktykach eliptycznych i w dyskach galaktyk spiralnych, ale nie są obserwowane w ich ramionach.

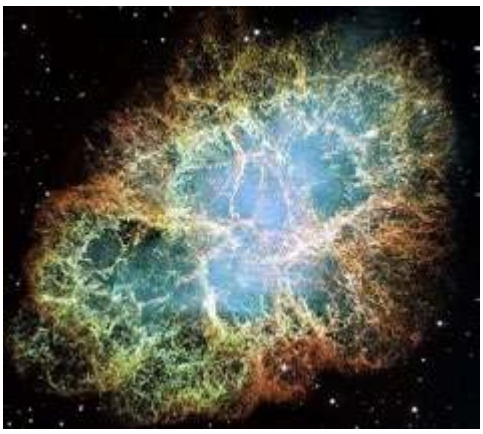


Foto. 9. Mgławica Kraba – pozostałość po supernowej SN 1054. Foto. NASA.

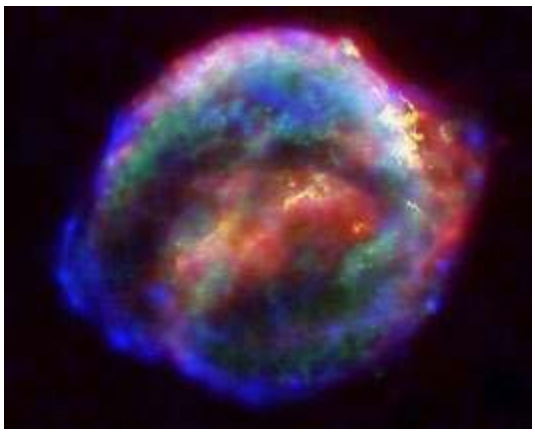


Foto. 10. Pozostałość po gwieździe Keplera – SN 1604. Foto. NASA.

Foto. 11. Gwiazda zmienna V838 Mon. Foto. NASA, ESA.

eprasa.pl 189a207405

Foto. 12. Ekspansja świetlnego echa V838 Monocerotis do 2004 roku. Foto. NASA, ESA.

Foto.13. Dalsza ekspansja Gwiazdy V838 w latach 2005 – 2006. Foto. NASA, ESA.

Powszechnie uważa się, że przyczyną wybuchu supernowych (Ia) jest niestabilność białego karła pojawiająca się w momencie, gdy przekroczy on masę krytyczna 1.44 M_S (masę Chandrasekhara). Może się to zdarzyć np. w układzie podwójnym.

Gwiazdy supernowe (Ib) są znacznie rzadziej obserwowane. Ich krzywa blasku jest podobna do supernowych Ia, lecz wykazuje nieco wolniejszy spadek jasności, szczególnie w pobliżu maksimum. Widma supernowych Ib są podobne do widma supernowych Ia. Wykazują jednak pewne cechy w okolicach maksimum blasku, które w widmach supernowych Ia ujawniają się później, dopiero kilkadziesiąt dni po maksimum. Stwierdza się również w ich widmach brak linii wodorowych. Prawdopodobnie poprzednikami supernowych Ib są gwiazdy Wolfa-Rayeta.

Supernowe Ib nigdy nie występują w galaktykach eliptycznych. Dowodzi to, że pomimo pewnych podobieństw są to obiekty różne od supernowych typu Ia. Za przyczynę wybuchu uważa się nagłą implozję jądra nadolbrzyma o masie większej niż 15 M_S. Supernowe II zmieniają po wybuchu swoją jasność w sposób zdecydowanie inny niż dwie poprzednie grupy supernowych. Przede wszystkim zmiany blasku są wolniejsze i wykazują większą niejednorodność.

Kilkadziesiąt dni po maksimum spadek jasności jest zatrzymany na pewien czas – pojawia się jego wyraźne plateau – następnie jasność maleje w przybliżeniu liniowo. Widma supernowych II zawierają linie emisyjne wodoru oraz absorpcyjne linie helu, azotu, sodu magnezu, żelaza. Supernowe II występują w ramionach spiralnych galaktyk. Uważa się, że przyczyna wybuchu supernowej II jest przekształcenie się rdzenia masywnej gwiazdy w neutrony i towarzyszące temu powstanie fali uderzeniowej, która rozrywa gwiazdę.

Gwiazda zmienna to gwiazda o zmieniającej się jasności. Zasadniczo rozróżniamy dwa typy gwiazd zmiennych: gwiazdy zmienne fizycznie oraz gwiazdy zmienne zaćmieniowe. W pierwszym typie zmiany jasności są wynikiem zachodzących procesów fizycznych, w drugim typie zmiany jasności są wynikiem wzajemnego zakrywania się dwóch składników układu podwójnego.

Gwiazda V838 jest jedną z ciekawszych gwiazd znajdujących się na obrzeżach naszej Galaktyki – Galaktyki Drogi Mlecznej. Szczegóły związane z naturą i ewolucją tej gwiazdy do końca nie są jeszcze zrozumiałe, choć uważa się, że opuściła ona ciąg główny stając się nadolbrzymem.

Gwiazdy fizycznie podwójne to układ dwóch gwiazd związanych siłami wzajemnej grawitacji krążących wokół wspólnego środka masy po orbitach eliptycznych. Rozróżniamy gwiazdy wizualnie, spektroskopowo i zaćmieniowo podwójne.

Gwiazdy magnetyczne – gwiazdy głównie typu A, w których istnieją stosunkowo silne pola magnetyczne. Natężenie pola magnetycznego większości gwiazd magnetycznych ulega zmianom nieregularnym lub periodycznym.

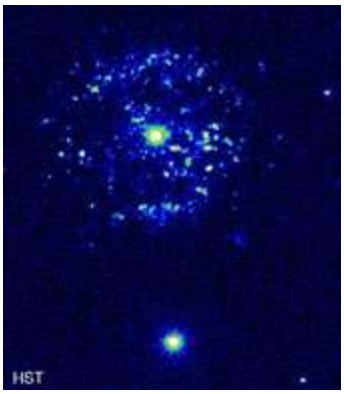


Foto. 14. Gwiazda podwójna T Pyxidis – znajdująca się w gwiazdozbiorze Kompasu (łac. Pyxis). Foto. NASA, ESA.

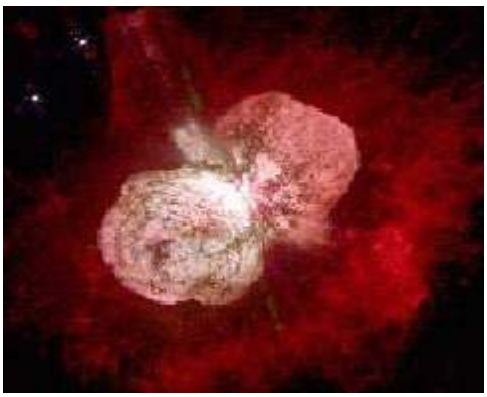


Foto. 15. Eta Carinare – należy do najbardziej magnetycznych gwiazd w kosmosie. Foto. NASA.

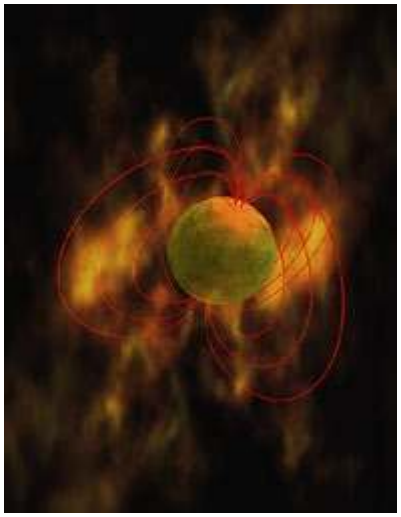


Foto. 16. Magnetar wraz z liniami pola magnetycznego (wizja artystyczna). Foto. NASA.

eprasa.pl 189a207405

Foto. 17. Gwiazda CH Cygni (symbiotyczna) znajdująca się w gwiazdozbiorze Łabędzia. Foto. NASA.

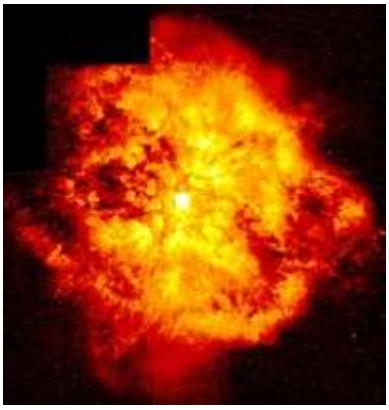


Foto. 18. Mgławica M1 – 67 wokół Wolfa-Rayeta WR 124. Fotografia wykonana przez Kosmiczny Teleskop Hubble'a. Foto. NASA, ESA.

Foto. 19. Ostanie chwile przed potężną eksplozją (błyskiem gama) gwiazdy typu Wolfa-Rayeta. Foto. NASA.

Okres zmienności pola magnetycznego jest rzędu od kilku do kilkudziesięciu dni. Zmianom tym towarzysza niewielkie zmiany jasności i natężeń linii widmowych. Periodyczność zmian pola magnetycznego dobrze tłumaczy model "skośnego rotatora". Zakłada on, że oś magnetyczna gwiazdy jest nachylona pod pewnym kątem do osi rotacji gwiazdy, co sprawia, że obserwujemy zmiany pola magnetycznego gwiazdy zgodne z okresem jej rotacji. Najlepiej poznana gwiazda magnetyczna o okresie zmian równym 5, 469 doby to gwiazda α^2 *CanumV enaticorum*.

Gwiazdy metaliczne, Am – gwiazdy ciągu głównego o temperaturze efektywnej od 7400 K do 10 200 K, które mają silne linie pierwiastków metalicznych (Fe, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr) przy jednoczesnym osłabieniu w widmie linii Ca, Mg i Sc. Dwie charakterystyczne cechy gwiazd metalicznych to: 1) bardzo wolno rotują, 2) zdecydowana większość a być może wszystkie są składnikami układów podwójnych.

Gwiazdy optycznie podwójne to układ dwóch gwiazd niezwiązanych ze sobą grawitacyjnie, znajdujących się w zupełnie różnych odległościach od Słońca, które jednak na sferze niebieskiej położone są bardzo blisko siebie sprawiając wrażenie, że są ze sobą związane.

Gwiazdy symbiotyczne to układ podwójny gwiazd, z których jedna jest chłodnym nadolbrzymem lub olbrzymem typu G, K, lub M a druga jest gwiazda ciągu głównego o znacznie wyższej temperaturze efektywnej lub jest białym karłem. Wybuchy jasności o około 2 magnitudo związane są z przepływem materii z gwiazdy chłodniejszej do cieplejszej. Przykłady gwiazd symbiotycznych: *Z Andromedae, CH Cygni, AG Draconis*.

Gwiazdy typu Wolfa-Rayeta to bardzo jasne gwiazdy (jasność absolutna może być rzędu nawet 9 magnitudo) o wysokiej temperaturze powierzchni, równej kilkadziesiąt tysięcy Kelvinów. Ich widma charakteryzują się silnymi szerokimi liniami emisyjnymi helu, węgla i azotu oraz niewielkim natężeniu lub brakiem linii wodoru. Taka charakterystyka widma może być wytłumaczona istnieniem bardzo dużej rozrzedzonej otoczki ekspandującej z dużą prędkością. Dawniej gwiazdy Wolfa- Rayeta zaliczano do typu widmowego O. Aktualnie wyodrębniono dla nich oddzielny typ W, który podzielono na podgrupy WC, WN i WO w zależności od tego czy intensywniej występują linie węgla, azotu czy tlenu.

Gwiazdy wielokrotne to układ co najmniej 3 gwiazd (i nie więcej niż 10) związanych ze sobą grawitacyjnie i krążących wokół wspólnego środka masy.

Gwiazdy zmienne typu δ Cephei (cefeidy) – cefeidy długookresowe o okresie zmienności od 1 do 70 dni (u większości okres wynosi około 7 dni). Amplituda zmian

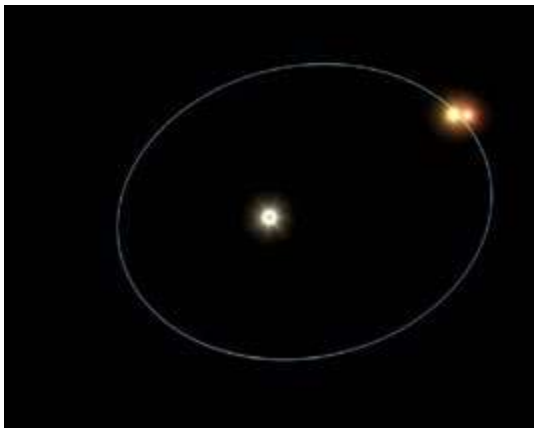


Foto. 20. Artystyczna wizja orbity HD 188753, gwiazda systemu potrójnego. Foto. NASA.

Foto. 21. Potrójny zachód słońca na HD 188753 Ab – wizja artystyczna. Foto. NASA.

eprasa.pl 189a207405

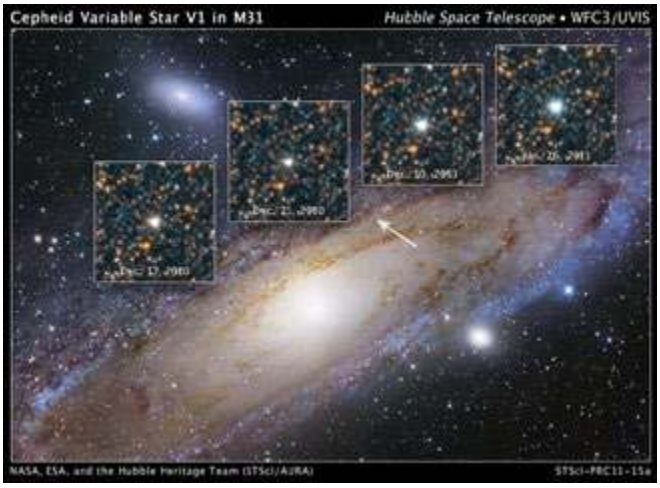


Foto. 22. Gwiazda zmienna typu cefeid znajdująca się w galaktyce Andromedy (M31). Foto. NASA.

Foto. 23. Gwiazda zmienna T Tauri – od jej nazwy pochodzi cała klasa gwiazd zmiennych typu T Tauri. Foto. NASA.

jasności zawiera się w przedziale od 0.1 do 2.0 magnitudo. Są to nadolbrzymy typu F-G. W grupie cefeid wyróżnia się również grupę typu *W V irginis* o mniejszej mocy promieniowania.

Gwiazdy zmienne typu RR Lyrae to olbrzymy typu widmowego A – F o okresach zmienności od 0.05 do 1.2 doby. Amplituda zmian jasności tego typu gwiazd zawiera się w przedziale od 0.5 do 2.0 magnitudo.

Gwiazdy zmienne typu T Tauri to gwiazdy typu widmowego F – G wykazujące nieregularne zmiany jasności o amplitudzie rzędu nawet 3 magnitudo. W okresach pomiędzy wybuchami jasność gwiazdy może być przez dłuższy czas stała. Linie absorpcyjne wykazują przesuniecie w kierunku czerwieni a linie emisyjne w kierunku fioletu. Jest to spowodowane gwałtownymi ruchami materii w atmosferze gwiazdy. Chłodne warstwy opadają na gwiazdę a gorące są wyrzucane na zewnątrz. Prawdopodobnie gwiazdy typu T Tauri należą do gwiazd bardzo młodych o nieustalonej równowadze wewnętrznej.

Ewolucja gwiazd

Ewolucja gwiazd to ogół zmian fizyko – chemicznych, jakim ulęgają gwiazdy wraz z upływem czasu. Powszechnie uważa się, że gwiazdy powstają z materii międzygwiazdowej w wyniku kurczenia się wielkich obłoków molekularnych. Obłoki te zawierają głównie wodór, hel i pył. Kurczenie obłoku następuje wtedy, gdy oddziaływanie grawitacyjne pomiędzy jego cząsteczkami przezwycięża ciśnienie gazu. Aby tak się stało obłok musi spełnić tzw. kryterium Jeansa określające jego minimalna masę M_J, (masę Jeansa), przy której możliwy jest proces kontrakcji grawitacyjnej.

Swobodnie kurczący się obłok wypromieniowywuje coraz to więcej wyzwalanej energii grawitacyjnej i jego jasność rośnie, natomiast temperatura pozostaje stała. Pierwotny olbrzymi obłok kurcząc się zwiększa swoja gęstość. Ponieważ masa Jeansa jest odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka z gęstości obłoku wiec w zapadającym się pierwotnym obłoku powstają lokalne skupienia spełniające kryterium Jeansa. Dochodzi do jego fragmentyzacji, czyli rozpadu na mniejsze obłoki – protogwiazdy, z których każda kurczy się oddzielnie zwiększając swoja gęstość i temperaturę. Gdy masa kurczącego się pojedynczego obłoku jest nie mniejsza niż 0.08 M_S temperatura centralna może osiągnąć wartość około 10 mln Kelvinów. Wtedy w jądrze protogwiazdy może rozpocząć się proces przemiany wodoru w hel, któremu towarzyszy wydzielanie się olbrzymich ilości energii.

Energia ta w większości jest wypromieniowana z powierzchni fotosfery, jako promieniowanie świetlne, a pewna jej cześć uwalniana jest jako energia neutrin. Zostaje osiągnięta równowaga hydrostatyczna tzn. ciśnienie grawitacyjne zostaje zrównoważone prze ciśnienie gazu, ustaje proces kontrakcji grawitacyjnej. W zależności od masy nowo powstałej gwiazdy zachodzi w niej synteza helu w cyklu proton-proton lub w cyklu węglowo – tlenowym (CNO). W ten sposób rodzi się gwiazda, która na wykresie H-R znajduje się na ciągu główny.

Ponieważ procesy nukleosyntezy zachodzą tylko w centralnych rejonach gwiazdy więc po pewnym czasie zaczyna wyczerpywać się paliwo wodorowe, głównym składnikiem gwiazdy staje się hel i tempo spalania wodoru słabnie. Gwiazda na tym etapie ewolucji zbudowana jest z helowego jądra spowitego wodorową atmosferą. Ciężar górnych warstw gwiazdy przestaje być równoważony przez ciśnienie promieniowania, gwiazda traci stabilność i jej jadro zaczyna się kurczyć. Powoduje to wzrost temperatury na tyle duży, że w cienkiej warstwie wokół jądra helowego powstają warunki do dalszej przemiany wodoru w hel, której tempo zaczyna wzrastać. W konsekwencji ciśnienie promieniowania przeważa nad ciężarem zewnętrznych warstw atmosfery i gwiazda zaczyna „puchnąć" – czyli zwiększać swoje wymiary, przekształcając się w czerwonego olbrzyma.

Na diagramie H-R odpowiada temu droga ewolucyjna, polegająca na odejściu w prawo od ciągu głównego do obszaru olbrzymów. Czas przebywania gwiazdy na ciągu głównym zależy od jej masy. Gwiazdy bardziej masywne ewoluują szybciej (szybciej się „starzeją"). Uważa się, że zasadniczo do stadium czerwonego olbrzyma ewolucja wszystkich gwiazd o masach większych niż około 0.4 M_S przebiega podobnie. Natomiast gwiazdy o masach

eprasa.pl 189a207405

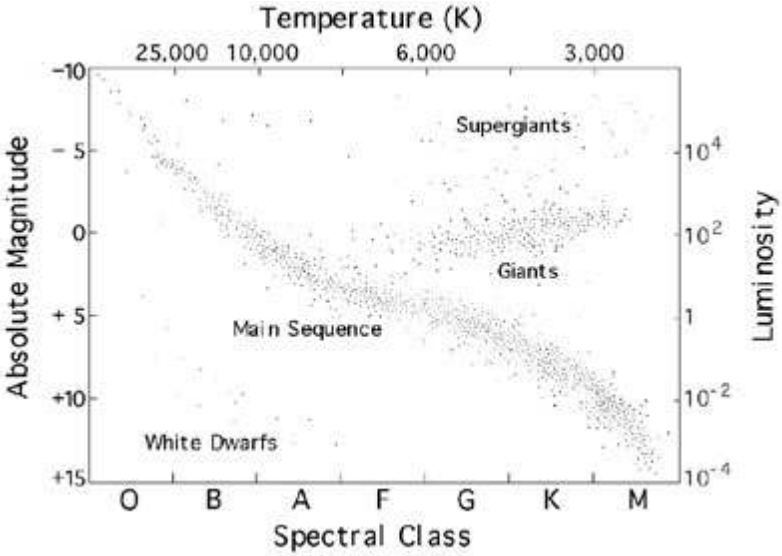


Foto. Diagram Hertzsprunga – Russella (H – R). Foto. NASA.

Foto. 25. Obszar gwiazdotwórczy LH 95 w Wielkim Obłoku Magellana. Foto. NASA, ESA.

mniejszych od tej granicznej wartości, po wyczerpaniu wodoru w jadrze osiągają szybko stadium białego karła.

Dalsza droga ewolucyjna zależy w zasadniczy sposób od masy gwiazdy. Dla gwiazd o masach zbliżonych do masy Słońca opisane powyżej kurczenie się helowego jądra może doprowadzić do warunków sprzyjających syntezie węgla z helu (proces 3 α – polega on na syntezie jądra węgla z trzech jąder helu). Ten etap ewolucji określany jest jako błysk węglowy. Gwiazda ma jednak zbyt mała masę, aby po wypaleniu się helu mogła przemieniać węgiel w pierwiastki cięższe.

Końcowy etap ewolucji takich gwiazd polega na stopniowym wygaszaniu przemian jądrowych, kurczeniu się jądra do momentu aż ciśnienie grawitacyjne zostanie powstrzymane przez ciśnienie zdegenerowanego gazu elektronowego. Jednocześnie zaistniałe dynamiczne niestabilności powodują odrzucenie warstw zewnętrznych. Powstała w ten sposób mgławica planetarna otacza gwiazdę kończącą ewolucje, jako stygnący biały karzeł.

Gwiazdy bardziej masywne o masach większych niż $2{,}5M_S$ mogą przemieniać powstały węgiel sukcesywnie aż do żelaza i niklu. Zachodzą w nich kolejno reakcje syntezy neonu, tlenu, krzemu i w końcu żelaza i niklu. Na tych dwóch pierwiastkach kończy się nukleosynteza w gwiazdach, gdyż charakteryzują się one największą energią wiązania.

Dalsze przemiany jądrowe są endotermiczne i wymagałyby dostarczenia energii z zewnątrz. Powstający żelazowo-niklowy rdzeń gwiazdy pozostaje stabilny tak długo, jak długo ciśnienie zdegenerowanego gazu elektronowego jest w stanie zrównoważyć ciśnienie grawitacyjne. Gdy rdzeń gwiazdy osiągnie pewną graniczną masę ($\approx 1.4M_S$), wtedy następuje gwałtowny rozpad jąder żelaza i niklu na jądra helu i neutrony. Towarzyszy temu gwałtowne, zmniejszenie się objętości rdzenia – jego implozja. Następnie powstaje fala uderzeniowa, która rozrywa gwiazdę. Zjawisko to obserwuje się, jako wybuch supernowej.

W trakcie wybuchu zachodzą reakcje jądrowe, których produktem są jądra ciężkich pierwiastków, które nie mogłyby być wyprodukowane we wnętrzach gwiazd. W wyniku wybuchu powstaje święcąca mgławica otaczającą odsłonięty rdzeń gwiazdy, który stanowi teraz gwiazdę neutronową. W przypadku bardzo masywnych gwiazd o masach większych niż $8M_S$ przypuszcza się, że ten ostatni etap przebiega podobnie, lecz powstała fala uderzeniowa nie jest w stanie odrzucić kolejnych warstw zewnętrznych gwiazdy, które opadają na rdzeń zwiększając jego masę. Ostatecznie ma miejsce kolaps rdzenia, który przekształca się w czarną dziurę.

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

LITERATURA

[1] M. Jaroszyński, 1993, Galaktyki i budowa Wszechświata, PWN, Warszawa
[2] M. Kubiak, 1994, Gwiazdy i materia międzygwiazdowa, PWN, Warszawa
[3] Urania – Postępy Astronomii, roczniki 1995-2012
[4] Strony internetowe:
http://www.nasa.gov
http://sci.esa.int

W następnych wydaniach polecamy m.in.

- **Praca domowa z fizyki – znieść, ograniczyć, zostawić?**
- **Muzyka sfer – Kepler twierdził, że słyszy muzykę sfer dochodzącą z Kosmosu**
- **Wykorzystanie wiedzy ucznia o funkcjach matematycznych**

eprasa.pl 189a207405

PRENUMERATA 2025

PRZEDŁUŻ LUB ZAMÓW!

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

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

eprasa.pl 189a207405

Za pół ceny i taniej!

ROCZNIK 2024
6 wydań – 135 zł!

PAKIET ARCHIWALNY
6 różnych wydań – 30 zł!

(w cenie są koszty wysyłki)

(oferta ważna do wyczerpania zapasów)

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

eprasa.pl 189a207405