FIZYKA
w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

361 (LXIV) indeks 35810X Nr 2 marzec/kwiecień 2019 CENA 27,50 zł (w tym 5% VAT)

Medycyna przyszłości
HEMODYNAMIKA OBLICZENIOWA

Słońce
– nasza dzienna gwiazda

Co to jest fizyka
i po co jest w szkole

Kinematyka w praktyce
– zadania z ruchu jednostajnego

Centaury
– między Jowiszem a Neptunem

Ustalanie wieku starych drzew i innych obiektów zabytkowych

Od dendrochronologii do datowania radiowęglowego

ISSN 0426-3383
03
9 770426 338902

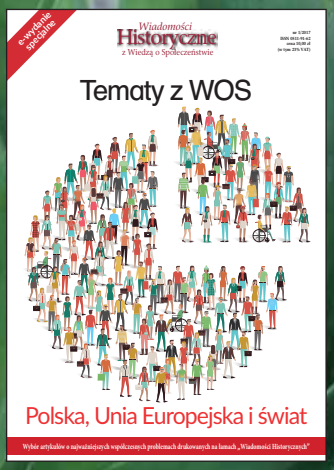
eprasa.pl 452d4c7cid

Wydania specjalne

(wersje elektroniczne – pliki PDF)

2018

2017



2016

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

eprasa.pl 452d4c7cfd

Drodzy Czytelnicy!

Z wielką przyjemnością oddaje Państwu do dyspozycji nowy, wiosenny numer „Fizyki w Szkole”. Za oknem jest coraz ładniej, Słońce przygrzewa coraz mocniej. Ale właściwie, dlaczego Słońce w ogóle grzeje? Jeśli ktoś z Państwa pragnie poznać odpowiedź na to pytanie, to znajdzie je w artykule Marcina Wesołowskiego i Piotra Gronkowskiego pt. „Słońce – nasza dzienna gwiazda”. W artykule jest omawianych szereg istotnych problemów fizyki Słońca. Po pierwsze, omówione są reakcje jądrowe będące źródłem energii Słońca. W następnej kolejności omówiona jest budowa Słońca, jak też problematyka jego obrotu. Z tego fragmentu możemy się dowiedzieć, że Słońce nie obraca się jak bryła sztywna. W dalszej części wspomnianego artykułu omówione są zagadnienia związane z wiecznie aktualną problematyką plam słonecznych. Dla nauczycieli praktyków i astronomów amatorów bardzo istotne są porady dotyczące technik obserwacji Słońca.

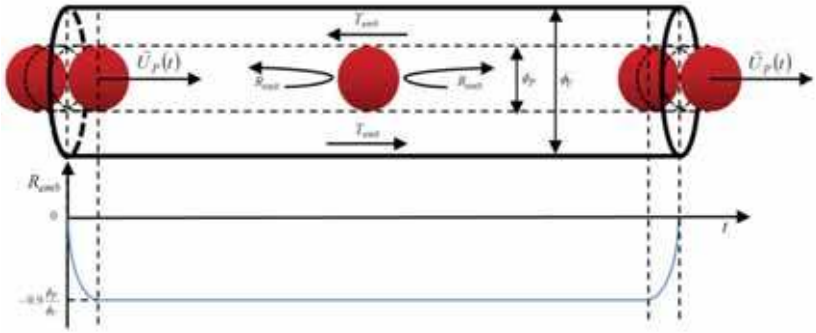
Innym artykułem wartym polecenia jest artykuł Tomasza Kubiaka „Od dendrochronologii do datowania radiowęglowego, czyli fizyka na tropie śladów przeszłości” poświęcony różnym metodom określania wieku obiektów. Przy czym autor skupia się na metodach używanych do określania wieku obiektów nie starszych niż kilka, kilkanaście tysięcy lat. Autor zaczyna omawianie problemu od prostych technik, takich jak dendrochronologia. Przechodzi potem do technik bardziej złożonych, takich jak datowanie radiowęglowe, a kończy na zgrubnym przedstawieniu takiej wyrafinowanej techniki jak datowanie z wykorzystaniem spektroskopii elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR).

Na sam koniec chciałbym Państwu polecić trzeci artykuł naszego stałego autora Marcina Majki. Jest on poświęcony hemodynamice, czyli nauce o dynamice przepływów wewnątrz układu krwionośnego.

Głęboko wierzę, że pozostałe artykuły też są warte przeczytania, jednakże skromna ilość miejsca nie pozwala mi na ich szczegółowe omówienie.

Tradycyjnie życzę miłej lektury.

W imieniu redakcji
Redaktor prowadzący
Zbigniew Wiśniewski



11 **Hemodynamika obliczeniowa gałęzią medycyny przyszłości**
Marcin Majka

Od dawna rozwija się mało znana gałąź łącząca wiedzę medyczną opartą na pomiarach klinicznych oraz wiedzę i umiejętności fizyków i informatyków. Jest to hemodynamika obliczeniowa, która obecną wiedzę medyczną wykorzystuje do opisu matematycznego oraz fizycznego zjawisk zachodzących w układzie krążenia człowieka.

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

4 **Od dendrochronologii do datowania radiowęglowego, czyli fizyka na tropie śladów przeszłości**
Tomasz Kubiak

16 **Paradoksy szczególnej teorii względności. Część II**
Jan Kurzyk

Z naszych lekcji

21 **Co to jest fizyka? – esej dydaktyczny**
Grzegorz P. Karwasz, Tomasz Wróblewski

Fizyka, pojawia się w mózgu człowieka jak tylko niemowlę otwiera oczy. Mózg niemowlaka musi szybko zrozumieć, że soczewka oka wytwarza na siatkówce obraz odwrócony.

26 **Kinematyka w praktyce** Andrzej Sokołowski

30 **Lekcje poświęcone rozwiązywaniu zadań z fizyki w szkole podstawowej**
Czesław Surowiec

32 **Niezwykle prosta kolejka elektryczna** Stanisław Bednarek

Astronomia dla każdego

36 **Słońce – nasza dzienna gwiazda cz. 1**
Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski

44 **Centaury** Janusz Rokita

48 **Narodziny nowoczesnej astronomii** Zbigniew Wiśniewski

FIZYKA w Szkole z Astronomią
CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI
NUMER 2 MARZEC/LKWIECIEŃ 2019 Nakład 3000 egz. CENA 27,50 zł (w tym 5% VAT)
361 (LXII) indeks 35810X ISSN 0426-3383

Komitet redakcyjny Krystyna Jabłońska-Ławniczak, Jerzy Kreiner, Andrzej Majhofer (Przewodniczący Komitetu), Zygmunt Mazur, Andrzej Szymacha, Mirosław Trociuk **Redakcja** Zbigniew Wiśniewski (redaktor prowadzący – fizykcs@wp.pl) **Adres redakcji** ul. Warchałowskiego 2/58, 02-776 Warszawa **Wydawnictwo** Agencja AS Józef Szewczyk, ul. Warchałowskiego 2/58, 02-776 Warszawa, e-mail: szewczyk24@gmail.com, tel. 606 201 244, www.aspress.com.pl, NIP: 951-134-91-51 **Wydawca i redaktor naczelny** Józef Szewczyk, szewczyk24@gmail.com **Prenumerata** www.aspress.com.pl/prenumerata-2019/, e-mail: szewczyk24@gmail.com, tel. 606 201 244 **Reklama** Jędrzej Chodakowski, jchodakowski1953@gmail.com **Skład i łamanie** Vega design **Druk i oprawa** Paper & Tinta, ul. Ceglana 34, 05-270 Nadma
Zdjęcie na okładce i wspisie treści: Adobe Stock.

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

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

Od dendrochronologii do datowania radiowęglowego, czyli fizyka na tropie śladów przeszłości

Odkrywanie śladów przeszłości kojarzy się zapewne czytelnikom „Fizyki w Szkole" z pracą historyka, archeologa bądź geologa. Ustalanie wieku starych drzew, odnalezionych resztek materii organicznej a także przedmiotów czy obiektów zabytkowych byłoby jednak znacznie utrudnione, gdyby nie badania prowadzone przez fizyków oraz astronomów.

Tomasz **Kubiak**

Datowanie radiowęglowe czy termoluminescencyjne a także datowanie z wykorzystaniem spektroskopii elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR) to, jak same nazwy wskazują, metody w sposób oczywisty bazujące na fizyce. Związki innych, np. dendrochronologii, z tą nauką nie są już na pozór takie oczywiste, dlatego warto je przypomnieć. Przyjrzyjmy się zatem dokładniej stosowanym współcześnie technikom datowania bezwzględnego, które pozwalają ustalić wiek próbki i wyrazić go w latach kalendarzowych.[1]

Dendrochronologia:

Na początku warto wyjaśnić dwie kwestie. Pierwsza wiąże się z pochodzeniem samego słowa dendrochronologia. Jak nietrudno się domyślić wywodzi się ono z języka greckiego, a dokładnie ze złożenia słów „dendron" + " chronos" + „-logia", czyli odpowiednio: „drzewo", „czas" i „nauka". Jak zatem sama nazwa sugeruje będziemy mówić o naukowej metodzie umożliwiającej rachubę czasu (a dokładnie datowanie) w oparciu o materiał drzewny.

Pozostaje jeszcze druga sprawa, czyli ustalenie, co właściwie łączy przedstawicieli nauk fizycznych z dendrochronologią. W tym przypadku musimy cofnąć się do lat 70-tych XIX wieku, kiedy holenderski astronom Jacobus Kapteyn prowadził pomiary grubości przyrostów rocznych dębów rosnących w różnych miejscach na terenie Niemiec i Holandii. Próbował ustalić, czy powtarzające się dla różnych drzew wzorce słojów korelują z 11-letnim okresem zmian aktywności słonecznej.

Jego wnioski wskazywały jednak, że zmiany grubości pierścieni mają związek z warunkami klimatycznymi, przede wszystkim z ilością opadów. Unikalną możliwość wykorzystania słojów rocznych do badań nad środowiskiem przedstawił z kolei rosyjski fizyk Fedor Nikiforovich Shvedov, publikując w 1892 r. pracę pokazującą, iż pierścienie mogą ukazywać okresy suszy.

Za ojca dendrochronologii powszechnie uznawany jest jednak amerykański astronom Andrew Ellicott Douglass. Początkowo jego zainteresowania naukowe koncentrowały się na badaniu plam słonecznych i ewentualnych korelacji całkowitej irradiancji słonecznej ze zjawiskami meteorologicznymi. Przypomnijmy, iż plamy słoneczne to występujące w zmiennej liczbie ciemniejsze obszary widoczne w fotosferze, które charakteryzują się niższą od otoczenia temperaturą i silnym polem magnetycznym.

Na początku XX wieku Douglass postanowił wykorzystać wzór tworzony przez przyrosty roczne długowiecznych sosen żółtych do określenia zmian klimatycznych w minionych wiekach i powiązać je z fluktuacjami docierającego do Ziemi promieniowania elektromagne-

[1] W przeciwieństwie do datowania bezwzględnego, datowanie względne pozwala określić jedynie kolejność powstawania (starszeństwo) przedmiotów czy obiektów.

eprasa.pl 452d4c7cfd

tycznego emitowanego przez Słońce. Na pomysł, aby wykorzystać słoje drzew do datowania, astronom wpadł po spotkaniu z archeologami, którzy potrzebowali efektywnej metody określania czasu powstania starożytnych budowli. Douglass porównywał wzory wzrostu drewna pozyskanego z ruin z opracowanym przez siebie standardem i tym samym próbował określać daty ścięcia drzew stanowiących materiał budulcowy.

W 1937 roku Douglass założył słynne laboratorium LTRR (*ang. Laboratory of Tree-Ring Research*) na Uniwersytecie Arizony w Tucson, które po dzień dzisiejszy jest miejscem prowadzenia interdyscyplinarnych badań pozwalających rekonstruować zmiany środowiska oraz rozwikłać procesy zachodzące w ekosystemach i społeczeństwach ludzkich, oczywiście w oparciu o dendrochronologię.[2]

Obecnie już małe dzieci uczone są, że wiek ściętego drzewa można wyznaczyć poprzez policzenie słojów widocznych na pniaku (fot. 1). Dendrochronologia oferuje jednak znacznie więcej. Technika datowania, określana w języku angielskim „crossdating", pozwala na przypisanie słojom widocznym w strukturze drewna dokładnego czasu ich powstania. Układ pierścieni bywa obrazowo porównywany do kodu kreskowego. Ten ostatni umożliwia bowiem jednoznaczną identyfikację produktów na podstawie informacji zakodowanej w postaci serii czarnych pasków, a dokładnie ich grubości i wzajemnych odstępów. Analogicznie zbiór słojów o określonych szerokościach określa kolejne lata kalendarzowe, w których zostały one wytworzone.

Pierwszym etapem procesu datowania jest oczywiście pobranie próbki. W przypadku żywych drzew przeprowadza się to za pomocą świdra przyrostowego Presslera (rys.1), natomiast dla elementów drewnianych, np. belek konstrukcyjnych, z wykorzystaniem wierteł rurowych o średnicy 10-12 mm napędzanych wiertarką elektryczną. Pobrane próbki drewna są suszone a następnie poddawane analizie w laboratorium.

W tym miejscu dociekliwi czytelnicy zapytają zapewne, czy można przeprowadzić datowanie, jeśli ze względu na szczególne walory zabytku nie jest możliwe naruszenie jego struktury i pobranie materiału. Odpowiedź jest twierdząca w przypadku, gdy na oczyszczonej powierzchni widoczny jest przekrój poprzeczny drewna. Wówczas pomiar przeprowadza się na podstawie cyfrowego zdjęcia elementu.

Narzędziem przydatnym do oceny próbek jest trójokularowy mikroskop z systemem przechwytywania wideo, który pozwala na analizę obrazu na monitorze komputera. Wyznacza się szerokość kolejnych słojów a ich układ porównuje z wzorcem. Warunkiem przeprowadzenia datowania jest bowiem posiadanie odpowiedniej skali dendrochronologicznej (tzw. chronologii standardowej) właściwej dla danego obszaru geograficznego i gatunku drzewa. Tego typu skala jest zbiorem sekwencji słojów pochodzących z wielu próbek, począwszy od tych najmłodszych, pobranych z rosnących współcześnie długowiecznych drzew (dębów, sekwoi, sosen amerykańskich) aż do najstarszych, pozyskanych z elementów konstrukcyjnych wiekowych drewnianych budowli o ustalonej dacie powstania.

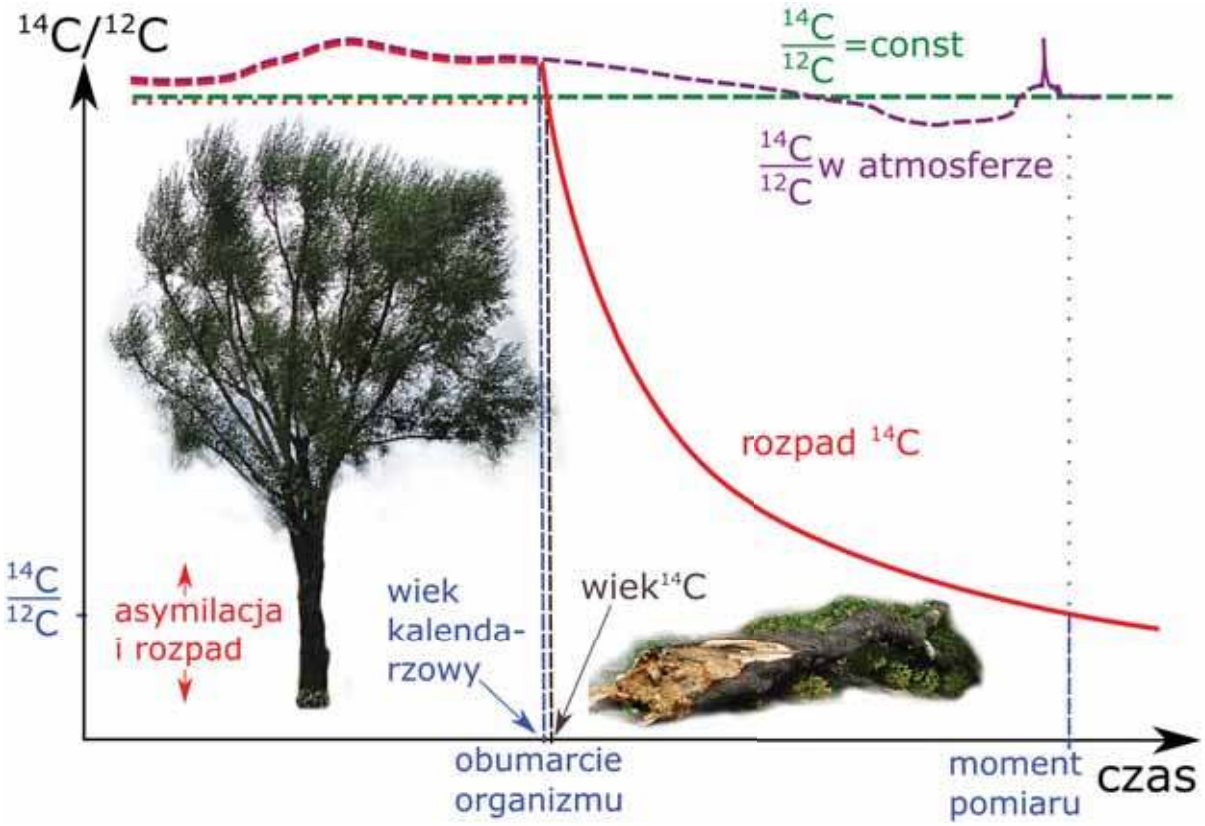
Fot.1. Sekwencja koncentrycznych pierścieni o różnych grubościach widoczna w przekroju poprzecznym pni ściętych drzew.

Rys. 1. Świder przyrostowy Presslera służy do pobierania próbek z pnia drzew.

Datowanie ułatwiają światowe repozytoria chronologii oraz specjalne programy komputerowe umożliwiające analizę porównawczą próbek. Należy jednak pamiętać, że pierścienie są charakterystyczne dla drzew, które wykazują sezonowość wzrostu a takie rosną np. w strefie klimatów umiarkowanych. Czytelników zainteresują zapewne przykłady wykorzystania dendrochronologii do ustalania wieku obiektów i przedmiotów zabytkowych w naszym kraju. Metoda ta posłużyła m.in. do datowania drewna z wału grodu gnieźnieńskiego, elementów mostu nad Jeziorem Lednickim, wraku łodzi znalezionej w Kołobrzegu a nawet malowanych na desce ikon z Muzeum Budownictwa Ludowego w Sanoku.

[2] Więcej o działalności laboratorium można przeczytać na stronie: https://ltrr.arizona.edu/ (dostęp z 29.01.2019).

eprasa.pl 452d4c7cfd



Rys. 2. Po śmierci organizmu asymilacja radiowęgla z otoczenia nie równoważy już jego rozpadu promieniotwórczego i zawartość izotopu w szczątkach maleje z czasem T½ ≈ 5730 ± 40 lat. Porównanie stosunków $^{14}C/^{12}C$ w próbce i w standardzie współczesnej biosfery pozwala określić wiek radiowęglowy. Ustalenie wieku kalendarzowego wymaga uwzględnienia zmian koncentracji ^{14}C w atmosferze, co w praktyce oznacza zastosowanie tzw. kalibracji radiowęglowej skali czasu.

Datowanie radiowęglowe:

Większość czytelników, zapytana o znaną im metodę datowania, w pierwszej kolejności wymieni na pewno technikę radiowęglową. Dzieje się tak nie bez powodu. Już w szkole średniej uczniowie dowiadują się o niej bowiem podczas lekcji na temat czasu połowicznego rozpadu jąder pierwiastków promieniotwórczych. O metodzie często wspomina się też w mediach, np. przy okazji informacji o sensacyjnych znaleziskach archeologicznych. Warto zatem przypomnieć, pogłębić i ugruntować wiedzę o jej podstawach fizycznych.

Datowanie radiowęglowe, jak sama nazwa wskazuje, stosowane jest w przypadku obiektów pochodzenia organicznego, które zawierają w swoim składzie węgiel. Przykładem mogą być tu szczątki organizmów żywych, starożytne papirusy czy elementy drewniane. Wszystkich miłośników historii nauki zainteresuje zapewne informacja, iż pomysłodawcą wykorzystania radiowęgla do określania wieku był amerykański fizykochemik Willard Libby, za co został uhonorowany Nagrodą Nobla z chemii w 1960 r.

Z lekcji fizyki pamiętamy, że pierwiastki posiadają izotopy, czyli odmiany różniące się liczbą neutronów w jądrze. W przypadku węgla są to głównie stabilne izotopy ^{12}C i ^{13}C, które stanowią odpowiednio prawie 98,89% i 1,11% jego całkowitej zawartości w atmosferze. Będący przedmiotem naszego zainteresowania izotop ^{14}C jest natomiast niezmiernie rzadki, gdyż statystycznie w próbce zawierającej 10^{12} atomów węgla pojawi się tylko jedno tego typu jądro. Co więcej, jest ono nietrwałe i na skutek rozpadu beta minus przekształca się w jądro azotu:

$$^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + e^{-} + \bar{\nu}_e$$

Oczywiście kluczowy jest czas połowicznego rozpadu $T_{½}$, który dla węgla ^{14}C wynosi około 5730 lat. Wnikliwi czytelnicy od razu zauważą, że przez prawie 4,5 miliarda lat istnienia naszej planety znajdujący się na niej promieniotwórczy izotop powinien w zasadzie zaniknąć. Należy jednak pamiętać, że ubytek wynikający z rozpadu promieniotwórczego jest równoważony przez nowe atomy ^{14}C, które wciąż powstają w górnej troposferze i stratosferze. Strumień wysokoenergetycznych protonów docierających z kosmosu, w wyniku spalacji, generuje bowiem neutrony, a te z kolei są wychwytywane przez atomy azotu atmosferycznego, tworząc ^{14}C:

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H^{+}$$

Czas życia tego izotopu jest na tyle długi, że może on brać udział w globalnym cyklu obiegu węgla. Ulega zatem utlenieniu do tlenku i ditlenku węgla a następnie rozprzestrzenia się w atmosferze, rozpuszcza się w wodach mórz i oceanów oraz gromadzi w rezerwuarach lądowych. Ważne jest, iż $^{14}CO_2$ uczestniczy również w procesie fotosyntezy. W konsekwencji radiowęgiel przekazywany jest

eprasa.pl 452d4c7cfd

przez kolejne ogniwa łańcucha pokarmowego, wbudowując się najpierw w tkanki roślinne, a potem zwierzęce czy ludzkie. Dopóki organizm żyje i pobiera z otoczenia radiowęgiel, jego stężenie w tkankach jest w zasadzie stałe. Asymilacja ^{14}C ustaje jednak w chwili śmierci, a zatem nie równoważy już postępującego rozpadu promieniotwórczego i zawartość izotopu w martwej materii zaczyna maleć z czasem (rys. 2).

Mierząc zatem stosunek $^{14}C/^{12}C$ w próbce i porównując go z analogicznym stosunkiem dla atmosfery można określić czas, jaki minął od momentu śmierci. Nasuwa się jednak pytanie, czy zawartość radiowęgla w atmosferze na pewno przez te wszystkie wieki dzięki kosmogennej produkcji utrzymywała się na tym samym poziomie? Poglądy na ten temat ewoluowały. Początkowo zakładano bowiem, że przynajmniej w okresie przedindustrialnym dystrybucja ^{14}C na Ziemi była w przybliżeniu stała. Dopiero później uświadomiono sobie, że na jego abundancję mogły wpływać zmiany ilości docierającego do atmosfery promieniowania kosmicznego. Natomiast po roku 1850, gdy rozwój przemysłu spowodował gwałtowny wzrost emisji CO_2 (wolnego od ^{14}C), stosunek ^{14}C do ^{12}C uległ zmniejszeniu.

Kolejna, tym razem radykalna zmiana miała miejsce w latach 60-tych XX w. Próbne wybuchy bomb jądrowych wprowadziły wówczas do atmosfery takie ilości ^{14}C, że jego koncentracja około roku 1964 niemal się podwoiła. Warto wspomnieć, iż duża ilość z wyprodukowanego wówczas $^{14}CO_2$ rozpuściła się w powierzchniowych wodach oceanów, powodując szybszą jego eliminację z atmosfery niż wynikałoby to z czasu połowicznego rozpadu. Konkluzja z powyższych rozważań jest zatem taka, że zawartość ^{14}C w atmosferze w ciągu wieków wcale nie była stała[3].

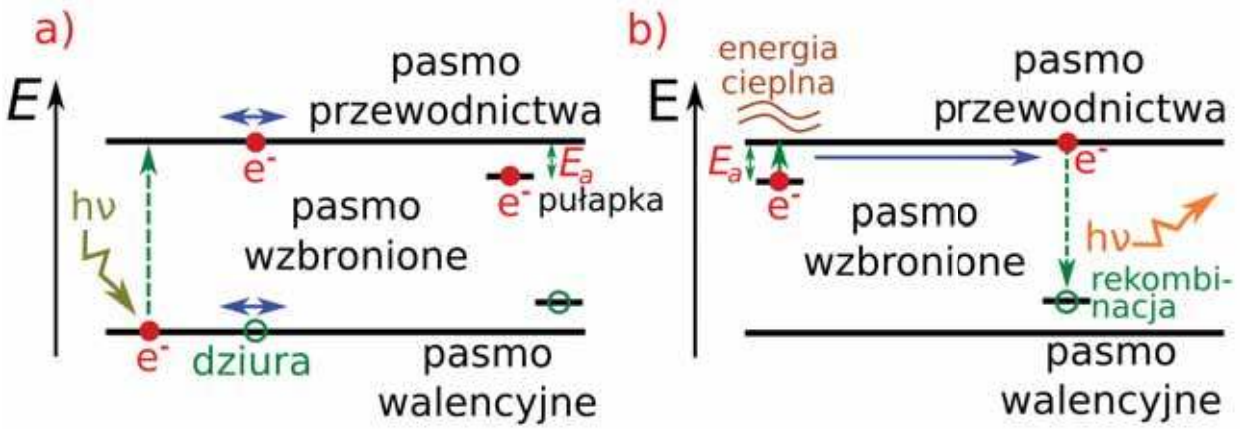
Skoro datowanie opiera się na porównaniu stosunków izotopów $^{14}C/^{12}C$ odpowiednio w próbce i w atmosferze, do jego precyzyjnego wykonania konieczna byłaby znajomość stosunku $^{14}C/^{12}C$ w biosferze w przeszłości, a nie tylko w chwili obecnej. Przyjęto, że wiek wyznaczany w odniesieniu do współczesnego standardu nazywamy konwencjonalnym wiekiem radiowęglowym. Aby na jego podstawie określić wiek kalendarzowy, konieczne jest przeprowadzenie tzw. kalibracji radiowęglowej skali czasu.

Fizycy często wzorcują różne przyrządy pomiarowe, ustalając relację pomiędzy ich wskazaniem a odpowiadającą wartością daną przez wzorzec miary. Procedura kalibracji przy datowaniu ^{14}C jest jednak zdecydowanie bardziej problematyczna. Wymaga zastosowania krzywej kalibracyjnej odzwierciedlającej relację pomiędzy wiekiem radiowęglowym a rzeczywistym (kalendarzowym).

W tym miejscu czytelnicy zapewne zaczną zastanawiać się, na jakiej podstawie możliwe jest stworzenie takiej krzywej? Otóż robi się to, mierząc próbki, których wiek można było ustalić innymi, dokładniejszymi metodami datowania bezwzględnego. Przykładowo należy do nich warwochronologia, bazująca na analizie sekwencji grubości kolejnych warstw osadów w jeziorach zastoiskowych, czyli warw. Podstawową techniką wykorzystywaną do kalibracji jest jednak dendrochronologia, której podstawy opisano w pierwszej części niniejszego artykułu. Niestety, krzywa powstająca w oparciu o porównanie wyników pomiarów radiowęglowych (wiek ^{14}C) i dendrochronologicznych (wiek rzeczywisty) drewna ma skomplikowany kształt i nie zawsze pozwala na jednoznaczne przypisanie wieku radiowęglowego do kalendarzowego. Dlatego wynik kalibrowany zawsze podawany jest w postaci przedziału.

Czy są jeszcze inne czynniki ograniczające precyzję datowania radiowęglowego? Na pewno warto wspomnieć o tzw. frakcjonowaniu izotopowym i efekcie rezerwuarowym. Pierwszy z wymienionych ma związek z faktem, że reakcje chemiczne zachodzą w innym tempie dla różniących się masą odmian tego samego pierwiastka. Stąd np. fotosynteza przebiega wolniej w przypadku $^{14}CO_2$ w porównaniu z $^{12}CO_2$ a w konsekwencji stosunek $^{14}C/^{12}C$ w tkankach roślinnych jest mniejszy niż w atmosferze. Wymaga to uwzględnienia odpowiedniej poprawki podczas datowania.

Z kolei organizmy pobierające węgiel z innego rezerwuaru, np. środowiska wodnego, również zawierają jego izotopy w odmiennych proporcjach. Wody słodkie mogą być bowiem zasilane w węgiel w wyniku aktywności geotermalnej czy obecności wapieni. Głębiny morskie nie wymieniają natomiast tego pierwiastka bezpośrednio z atmosferą, a jedynie pośrednio, w wyniku mieszania z wodami przypowierzchniowymi. Generalnie w takich



Rys. 3. Uproszczony schemat poziomów energetycznych w krysztale dielektryka i zmiany w konfiguracji elektronowej zachodzące na skutek: a) działania promieniowania jonizującego; b) dostarczenia do układu energii termicznej, co prowadzi do rekombinacji luminescencyjnej.

eprasa.pl 452d4c7cfd

Tabela 1. Podstawowe elementy spektrometru masowego AMS:

nazwa:	funkcja:
źródło jonów	wytwarza wiązkę naładowanych ujemnie jonów węgla
magnes wstrzykujący	zakrzywia tory jonów, kierując odpowiednie do akceleratora
akcelerator (pelletron)	przyspiesza jony węgla do energii około 1MeV
deflektor elektrostatyczny	odchyla wiązkę jonów w wybranej płaszczyźnie
magnes analizujący	oddziela od siebie wiązki jonów o różnych masach
puszki Faradaya przy komorze dryfu	zbierają jony $^{12}C^{1+}$ i $^{14}C^{1+}$ i mierzą ładunek przez nie przenoszony
analizator elektrostatyczny	usuwa z wiązki resztkowe jony, inne niż ^{14}C
detektor ^{14}C	zlicza jony ^{14}C i mierzy ich energię

Fot. 2. Akcelerator typu pelletron znajduje się w zbiorniku wypełnionym heksafluorkiem siarki o bardzo dobrych własnościach dielektrycznych.

Fot. 3. Podstawowe elementy akceleratorowego spektrometru masowego, będącego na wyposażeniu laboratorium AMS na terenie Poznańskiego Parku Naukowo-Technologicznego.

przypadkach kalibracja radiowęglowej skali czasu stanowi zazwyczaj poważniejszy problem.

Znając już podstawy teoretyczne datowania, możemy przyjrzeć się, niezmiernie ciekawemu z punktu widzenia fizyka, procesowi pomiaru zawartości izotopów w badanym obiekcie. Na wstępie warto nadmienić, iż w przeszłości w laboratoriach radiowęglowych posługiwano się licznikami proporcjonalnymi, poddając detekcji jedynie elektrony powstałe na skutek rozpadu beta minus węgla ^{14}C zawartego w próbce. Stanowił ją zazwyczaj ditlenek węgla powstały w wyniku spalania materii, której wiek chciano wyznaczyć. Co ciekawe, do dziś w niektórych ośrodkach rejestruje się rozpady promieniotwórcze ^{14}C. Przeprowadza się to jednak techniką scyntylacyjną. Wykorzystuje ona fotopowielacze do detekcji błysków światła, wywołanych przez cząstki beta padające na kryształ scyntylacyjny.

Podstawową techniką stosowaną współcześnie w procesie datowania radiowęglowego jest jednak akceleratorowa spektrometria mas, czyli AMS (od ang. *Accelerator Mass Spectrometry*). Nietrudno się domyślić, że układ eksperymentalny używany do pomiaru stosunków izotopowych w próbkach jest bardzo zaawansowany technicznie i na pewno może zafascynować każdego miłośnika fizyki. Przyjrzyjmy mu się zatem bliżej i zapoznajmy z zasadą działania.

Dla ułatwienia warto spojrzeć na fot. 2 i 3 oraz tabelę 1, w której przedstawiono podstawowe elementy spektrometru i ich funkcje. Oczywiście, aby w ogóle przystąpić do pomiarów konieczne jest przygotowanie próbek. Małą porcję datowanej materii (od kilku mg w przypadku węgla drzewnego do kilku gram dla kości) trzeba zatem najpierw poddać wstępnej preparatyce chemicznej w celu oczyszczenia bądź wyodrębnienia kolagenu. Następnie tak przygotowany materiał spalić bądź rozłożyć przy użyciu kwasu ortofosforowego(V), a powstały ditlenek węgla zebrać i przetworzyć na katodę grafitową.

Warto uzmysłowić sobie, że cała opisana powyżej procedura jest skomplikowana, czasochłonna (twa kilka dni) i wymaga specjalistycznej aparatury laboratoryjnej. Co ciekawe, datowanie metodą AMS można przeprowadzić nawet dla próbek, z których w ten sposób pozyskano 1 miligram węgla. Stanowi to istotną przewagę nad dawnymi metodami liczenia rozpadów, wymagającymi pozyskania znacznie większej ilości materiału. Poza tym sam pomiar jest zdecydowanie szybszy.

W jaki sposób on przebiega? Przygotowaną wcześniej katodę grafitową umieszcza się w źródle jonów. Wytwarzane w nim ujemne jony $^{12}C^-$, $^{13}C^-$ i $^{14}C^-$ o energii około 50 keV są sekwencyjnie kierowane przez magnes wstrzykujący do akceleratora. Należy bowiem pamiętać, iż spektrometr ma za zadanie ustalić stosunki izotopowe $^{14}C/^{12}C$ i $^{14}C/^{13}C$, a nie tylko wyznaczyć zawartość radiowęgla. Przyspieszanie jonów do energii około 1 MeV odbywa się na skutek ich przyciągania przez terminal akceleratora.

W spektrometrach stosowane są akceleratory elektrostatyczne typu pelletron (fot. 2). Wewnątrz zbiornika wypełnionego heksafluorkiem siarki (SF_6), czyli gazem o bardzo dobrych właściwościach dielektrycznych, znaj-

[3] W pierwszych latach używania techniki radiowęglowej do określania wieku próbek zakładano stałość stężenia ^{14}C w atmosferze w ciągu ostatnich 40 tys. lat.

eprasa.pl 452d4c7cfd

duje się mechaniczny łańcuch, który przenosi ładunki elektryczne od induktora do kolektora. Dzięki temu utrzymywane jest napięcie przyspieszające rzędu 460 kV. W głębi terminalu, w tzw. kanale strippingu, jony węgla na skutek zderzeń z atomami argonu tracą elektrony i zmieniają ładunek na dodatni.

W dalszym etapie wiązki $^{14}C^+$, $^{13}C^+$ i $^{12}C^+$, biegnące cały czas w kanale próżniowym, są kierowane przez magnes analizujący w różne obszary komory dryfu. Kubki Faradaya zbierają jony $^{12}C^+$, $^{13}C^+$ i mierzą przenoszony przez nie ładunek. Poruszające się po innej trajektorii jony $^{14}C^+$ bez przeszkód przelatują przez komorę dryfu, analizator elektrostatyczny i ostatecznie trafiają na krzemowy detektor półprzewodnikowy, który umożliwia ich zliczanie.

Dla zainteresowanych warto dodać, że w Laboratorium AMS na terenie Poznańskiego Parku Naukowo-Technologicznego znajdują się aż dwa akceleratorowe spektrometry masowe typu SDH-Pelletron.[4]

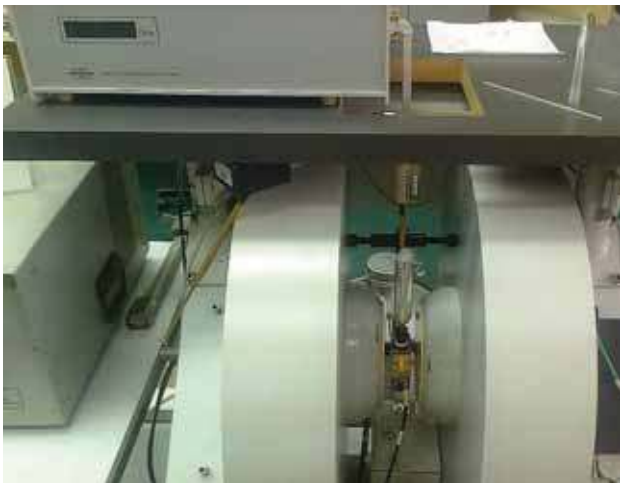
Na koniec omawiania techniki radiowęglowej trzeba wspomnieć, iż zazwyczaj przyjmuje się niepewność pomiarową konwencjonalnego wieku radiowęglowego rzędu ±50 lat lub mniej. Pamiętajmy jednak, że metoda ta jest mało przydatna zarówno w przypadku obiektów najmłodszych (kilkuset letnich), jak i bardzo starych (zazwyczaj powyżej 50 tys. lat). Generalnie dokładność datowania maleje wraz z wiekiem, stąd dla bardzo starych próbek podaje się ich wiek minimalny (np. obiekt z prawdopodobieństwem 98% jest starszy niż 41000 lat). Nie można też zapominać o kwestii niepewności krzywych kalibracyjnych i samego przypisania daty kalendarzowej do wieku radiowęglowego, co dodatkowo ogranicza precyzję datowania.

Dotychczas dowiedzieliśmy się jakimi metodami można określić wiek elementów drewnianych czy też szczątków martwej materii organicznej. Co zrobić jednak, gdy próbka nie zawiera w swoim składzie węgla? Przykładów nie trzeba daleko szukać, wystarczy wspomnieć o starych cegłach, kaflach, dachówkach, płytkach posadzkowych czy naczyniach glinianych. W takich przypadkach z pomocą archeologom ponownie przychodzi fizyka.

Datowanie termoluminescencyjne:

Pierwsza z metod zdolnych do wyznaczania wieku przedmiotów ceramicznych wykorzystuje znany z fizyki efekt termoluminescencji. Przypomnijmy, że polega on na emisji fal elektromagnetycznych z zakresu widzialnego przez ogrzane kryształy dielektryków, które wcześniej poddane były działaniu promieniowania jonizującego. Generowane na skutek ekspozycji na tego typu promieniowanie elektrony i dziury są przechwytywane przez pułapki (defekty w strukturze krystalicznej) o charakterze metatrwałym i energiach będących w zakresie pasma wzbronionego (rys.3a).

Pułapki elektronowe, jak sama nazwa wskazuje, wiążą elektrony wyrwane wcześniej z powłok pasma walencyjnego, natomiast centra dziurowe przekazują elektrony do podstawowej struktury dielektryka. Oczywiście dłuższe narażenie na promieniowanie jonizujące skutkuje



Fot. 4. Pracujący w paśmie X spektrometr EPR, który może zostać wykorzystany w procesie datowania materiałów zawierających centra paramagnetyczne.

większą liczbą uwięzionych elektronów i dziur. Co istotne, w pułapkach mogą one przebywać nawet wiele tysięcy lat i dopiero dostarczenie odpowiedniej energii (równej energii aktywacji E_a poziomu pułapkowego) może spowodować ich uwolnienie.

W wyniku wzrostu temperatury ciała elektrony mogą bowiem przeskoczyć do pasma przewodnictwa, przemieszczać się w sieci krystalicznej a następnie rekombinować, napotkawszy pułapkę dziurową (centrum luminescencji), czego widocznym rezultatem jest świecenie (rys.3b). Jego natężenie jest z reguły proporcjonalne do liczby elektronów uwięzionych wcześniej w pułapkach, czyli pośrednio do pochłoniętej dawki promieniowania. Może ona być wynikiem rozpadów promieniotwórczych radioizotopów, obecnych w naszym środowisku, np. ^{235}U, ^{238}U, ^{40}K, ^{232}Th. Cechują się one długim czasem połowicznego zaniku (rzędu od 10^8 do 10^{10} lat), zatem uzasadnione jest założenie, że w określonym miejscu pochodząca od nich dawka roczna jest stała.

Obecne w materiałach ceramicznych ziarna kwarcu i skalenie posiadają wspomnianą zdolność akumulacji energii dostarczonej przez promieniowanie jonizujące. Stąd już w latach 60-tych XX w. zaczęto wykorzystywać zjawisko termoluminescencji do datowania zabytków archeologicznych. Należy jednak podkreślić, iż poprawna ocena wieku znalezisk jest możliwa jedynie wówczas, gdy zostały one wypalone w procesie produkcji (w temp. > 500°C) i od tego czasu nie były już narażone na działanie wysokich temperatur, np. w czasie pożaru. Dostarczenie energii cieplnej powoduje bowiem uwolnienie elektronów z pułapek, a w konsekwencji utratę informacji o pochłoniętej dawce, co często określa się mianem „wyzerowania licznika termoluminescencji" bądź potocznie „restartem zegara".

Jak zatem w praktyce przeprowadzić datowanie? Pierwszym krokiem jest oczywiście odpowiednie pobranie próbek z badanego artefaktu oraz warstwy, w której został on znaleziony (próbka geologiczna przydatna jest bowiem do wyznaczenia dawki rocznej). W przypadku obiektów pochodzących z wykopalisk mierzy się ponadto głębokość ich zalegania, aby móc wyliczyć poprawkę

eprasa.pl 452d4c7cfd

uwzględniającą wpływ promieniowania kosmicznego. Co ciekawe, pozyskany materiał chroni się przed utratą wody oraz światłem słonecznym, gdyż elektrony z niektórych pułapek mogą zostać wyzwolone na skutek energii dostarczonej przez fotony (tzw. wybielanie optyczne).

W przypadku istniejących obiektów ceglanych próbki pobiera się zatem wiertłem koronowym z wnętrza ścian, uważając, by ich przy tym nadmiernie nie podgrzać. Samo datowanie termoluminescencyjne można przeprowadzić na kilka sposobów. Zazwyczaj w laboratorium z oczyszczonej próbki ceramiki wyodrębnia się ziarna o określonych rozmiarach a następnie dzieli je na kilka porcji. Jedną z nich pozostawia się do badań w stanie naturalnym, natomiast pozostałe napromienia wzrastającymi dawkami promieniowania beta lub gamma. Następnie po zwiększeniu temperatury próbek do kilkuset stopni mierzy się intensywność ich termoluminescencji.

Specjalnie przeznaczona do tego celu aparatura pomiarowa składa się z urządzenia grzewczego wyposażonego w termoparę, układu detekcyjnego działającego w oparciu o czułe fotopowielacze bądź detektory CCD a także systemu przetwarzania sygnału. Wyniki służą do skonstruowania wykresu zależności intensywności luminescencji od pochłoniętej dawki laboratoryjnej. Odpowiednie dopasowanie krzywej, przeprowadzenie ekstrapolacji i uwzględnienie stosownych poprawek pozwala oszacować dawkę archeologiczną. Na jej podstawie oblicza się wiek zabytku, stosując prosty wzór:

$$wiek = \frac{AD}{MD}$$

gdzie: *AD* – dawka archeologiczna [Gy], *MD* – moc dawki [Gy/rok]. Warto nadmienić, że standardowa wartość *MD* to w zależności od obszaru 1-10 mGy/rok.

Metodę termoluminescencji stosuje się do datowania artefaktów, których wiek zawiera się w przedziale od kilkuset do 200 tys. lat. Niepewności otrzymanych wyników zwykle szacuje się na 3-6%. Interesującym wydaje się fakt, że technikę tę z powodzeniem wykorzystywano do określania wieku murowanych obiektów zabytkowych w Polsce, czego przykładem mogą być badania na zamku w Siewierzu w województwie śląskim czy datowanie cegieł z kościoła św. Jakuba w Toruniu.

Datowanie z wykorzystaniem spektroskopii elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR)

Wspomniane już zjawisko wzbudzania elektronów do pasma przewodnictwa na skutek energii dostarczanej przez promieniowanie jonizujące i przechwytywania ich przez pułapki elektronowe wykorzystuje się również w przypadku datowania metodą spektroskopii elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR). Podstawy tej techniki wraz z przykładowymi zastosowaniami zostały już szczegółowo opisane na łamach „Fizyki w Szkole”.[5]

Ze względu na fakt, że defekty radiacyjne w kryształach dielektryków mają charakter paramagnetyczny, ilość pułapkowanych elektronów można określić poprzez pomiar intensywności integralnej sygnału EPR od danej próbki. Wyznaczenie dawki archeologicznej oraz wieku materiału odbywa się analogicznie do postępowania opisanego wcześniej dla metody termoluminescencyjnej. Różnica wiąże się z faktem, że w tym przypadku tworzony jest wykres zależności intensywności sygnału EPR od dawki laboratoryjnej.

Pomiar przeprowadza się standardowym spektrometrem EPR, który przedstawiono na fot. 4. Badane są próbki zawierające węglan wapnia (kalcyt) (np. nacieki jaskiniowe, zaprawy wapienne, muszle mięczaków i koralowców); artefakty mające w swoim składzie kwarc i skalenie (np. ceramikę) a także kości i szkliwo zębów, gdzie centra paramagnetyczne zlokalizowane są w matrycy z hydroksyapatytu. Czytelników na pewno zainteresuje fakt, iż metodą EPR można datować materiały mające od kilku tysięcy do nawet kilku mln lat, co stanowi jej przewagę nad innymi technikami datowania bezwzględnego.

Zgłębianie tajników stosowanych współcześnie metod określania wieku znalezisk archeologicznych i tworów geologicznych pozwala nam uświadomić sobie interdyscyplinarny charakter fizyki oraz jej ogromną rolę we współczesnej nauce.

dr Tomasz Kubiak
Wydział Fizyki UAM w Poznaniu
oraz Poznański Park Naukowo-Technologiczny Fundacji UAM

LITERATURA

[1] J. H. Speer, Fundamentals of Tree-Ring Research, The University of Arizona Press, Tucson 2010, s. 4-72; 117-169.
[2] M. Krąpiec, T. Ważny, Dendrochronologia: podstawy metodyczne i stan zaawansowania badań w Polsce, Światowit 39 (1994), s. 193-214.
[3] P. C. van der Kruit, Tree Rings and Climate [w:] Jacobus Cornelius Kapteyn. Born Investigator of the Heavens, Springer, Dordrecht, 2015, s. 122-126.
[4] https://www.ltrr.arizona.edu/~cbaisan/Vermont/Erica/AED.pdf Tekst: Andrew E Douglass: Father of Dendrochronology (dostęp 29.01.2019).
[5] A. Walanus, T. Goslar, Datowanie radiowęglowe, Wydawnictwo AGH, Kraków 2009.
[6] R. Wood, From revolution to convention: the past, present and future of radiocarbon dating, Journal of Archaeological Science 56 (2015), s. 61-72.
[7] E.G. Schuur, E. R. M. Druffel, S. E. Trumbore (red.), Radiocarbon and Climate Change. Mechanisms, Applications and Laboratory Techniques, Springer, 2016, s. 1-138.
[8] T. Goslar, J. Czernik, E. Goslar, Low-energy 14C AMS in Poznań Radiocarbon Laboratory, Poland, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 223-224 (2004), s. 5-11.
[9] G. Possnert, Radiocarbon Dating by the Accelerator Technique, Norwegian Archaeological Review 23(1-2) (1990), s. 30-37.
[10] A. Bluszcz, Datowanie luminescencyjne osadów czwartorzędowych - teoria, ograniczenia, problemy interpretacyjne, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 86 (2000), s. 7-54.
[11] A. Bluszcz, G. Adamiec, Termoluminescencyjne datowanie neolitycznej ceramiki z terenu Małopolski: okolice Kazimierzy Wielkiej, Światowit 39 (1994), s. 157-181.
[12] M. Martini, E. Sibilia, Luminescence dating and cultural heritage, Archeometriai Műhely 1 (2006), s. 3-11.
[13] W. J. Rink, Electron spin resonance (ESR) dating and ESR applications in quaternary science and archaeometry, Radiation Measurements 27(5-6) (1997), s. 975-1025.

[4] Wiele ciekawostek dotyczących datowania metodą ^{14}C i spektrometrów AMS znaleźć można na stronie Poznańskiego Laboratorium Radiowęglowego: https://radiocarbon.pl/ (dostęp 28.01.2019).

[5] T. Kubiak, Spektroskopia elektronowego rezonansu paramagnetycznego i jej przykładowe zastosowania w biofizyce i fizyce medycznej, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 2 (2016), s. 4-7 (artykuł znaleźć można również w e-wydaniu specjalnym Fizyki w Szkole z Astronomią „Współczesne zastosowania fizyki”, nr 1 (2018), s. 64-67).

eprasa.pl 452d4c7cfd

Wśród najprężniej rozwijających się dziedzin nauk niewątpliwie miejsce w czołówce zajmuje medycyna. Dzięki rozwojowi techniki powstają nowe metody diagnostyczne, sprzęty chirurgiczne, ale przede wszystkim lekarstwa i urządzenia umożliwiające lepsze ich poddawanie. Nic z tych rzeczy nie miałoby miejsca, gdyby nie współpraca lekarzy z naukowcami – fizykami, chemikami, biologami oraz inżynierami.

Hemodynamika obliczeniowa gałęzią medycyny przyszłości

Marcin **Majka**

Od dawna rozwija się mało znana gałąź łącząca wiedzę medyczną opartą na pomiarach klinicznych oraz wiedzę i umiejętności fizyków i informatyków. Jest to hemodynamika obliczeniowa, która obecną wiedzę medyczną wykorzystuje do opisu matematycznego oraz fizycznego zjawisk zachodzących w układzie krążenia człowieka. To dzięki hemodynamice obliczeniowej możemy z wyprzedzeniem przewidywać nagłe incydenty sercowo-naczyniowe i co ważniejsze, określać ich konsekwencje.

Hemodynamika obliczeniowa oprócz ściśle aplikacyjnego zastosowania w medycynie posiada w sobie ogromny potencjał naukowy, pozwalający odkrywać dotąd nieznane mechanizmy i reakcje zachodzące w układzie krążenia człowieka. Nic dziwnego, że coraz większa liczba naukowców z całego świata zaczyna się interesować łączeniem nauk ścisłych i medycyny.

W niedalekiej przyszłości nasz telefon komórkowy będzie wyposażony w serię czujników analizujących pracę serca oraz poziomy ciśnienia w tętnicach. Niewielkie odchylenia od normy będą w czasie rzeczywistym porównywane z personalizowanym modelem zaimplementowanym w programie telefonu. Jeżeli na podstawie wyniku symulacji program ustali, że obserwowane zmiany są zagrażające zdrowiu lub życiu pacjenta, automatycznie zostaną poinformowane odpowiednie służby ratownicze, które dokładnie będą wiedzieć jakiej pomocy potrzebuje pacjent. Wydaje się, że jest to scenariusz rodem z filmu science fiction, jednak wbrew pozorom taka rewolucja w ratownictwie medycznym może dokonać się w ciągu następnych 10 lat.

Historia modelowania układu krwionośnego człowieka

Pierwsze pomiary ciśnienia krwi wykonał Stephen Hales w 1733 roku. Hales w swojej pracy [1, 2], opisał zastosowaną metodę bazującą na umieszczeniu szklanej rurki w tętnicy w celu obserwacji zmiany poziomu krwi w jej wnętrzu (patrz ryc.1.). W swojej pracy przedstawił również elastyczne cechy tętnic, tłumacząc w ten sposób zaobserwowane przez Williama Harveya fale tętna [3, 4]. Ogromny przełom w tej dziedzinie dokonał Otto Frank, który za pomocą modelu matematycznego opisał pracę układu tętniczego [5, 6]. Ten model matematyczny nosi nazwę modelu komory powietrznej (Windkessel model).

Model matematyczny Windkessel oparty został na efekcie Windkessel, który jako pierwszy zilustrował Giovanni Borelli [7]. Efekt Windkessel po raz pierwszy opisywał serce jako centrum całego układu krwionośnego oraz jako jego jedyny element napędowy. Borelli zastępuje serce pompą, która wpompowuje krew z naczyń żylnych do tętnic. Tętnice jako bardzo elastyczne naczynia porównuje to komory powietrznej, w której poziom krwi zmienia się wraz z cyklem pracy serca. Odpływ z komory powietrznej jest stały, podobnie jak w przypadku węża strażackiego, jak porównuje Borelli (patrz ryc. 2.).

Model Windkessel był pierwszym, który uwzględniał rezystancyjne i pojemnościowe elementy ukła-

eprasa.pl 452d4c7cfd

Ryc. 1. Ilustracja przedstawiająca Stephena Hales'a wraz z jego asystentem podczas pomiaru ciśnienia tętnicy szyjnej konia. Koń unieruchomiony miał umieszczaną szklaną rurkę do różnych naczyń tętniczych. W wyniku tej ingerencji krew z tętnicy zapełniała rurkę do wysokości odpowiadającej ciśnieniu w wybranym naczyniu. [1, 2]

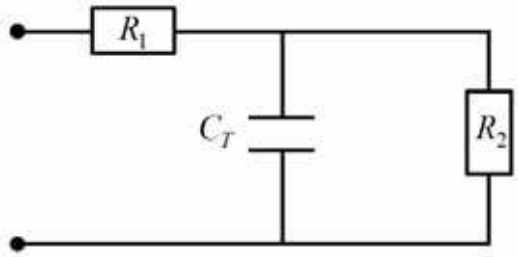
du krążenia. Zatem możliwe jest skonstruowanie elektrycznego odpowiednika modelu Windkessel z rezystancją i pojemnością połączoną równolegle, a odpowiadające temu równanie różniczkowe, które odnosi się do ciśnienia i przepływu można wyrazić w następujący sposób:

$$Q = \frac{1}{k}\frac{dp}{dt} + \frac{p}{R} \tag{1}$$

gdzie Q jest przepływem z serca, p to ciśnienie w układzie, a k jest elastycznym modułem Windkessel [8]. Po raz pierwszy oszacowano tu objętości wyrzutową serca [9].

Główną wadą tej teorii jest to, że nie uwzględnia ona zjawiska propagacji fal, które mają miejsce w obiegu, ponieważ model Windkessel jest modelem 0-wymiarowym. Również teoria Windkessel zakłada, że zmiany ciśnienia poruszają się z nieskończoną prędkością w układzie tętniczym. W konsekwencji, model Windkessel daje fałszywe zależności przepływu ciśnienia podczas systoli (skurczu serca),

Ryc. 2. Strona tytułowa (pierwsza od lewej) pracy De Motu Animalium (1680) wraz z dwiema stronicami pokazującymi problematykę badawczą Giovanniego Borelliego. Strona środkowa pokazuje badania nad układem szkieletowym i mięśniowym człowieka, strona ostatnia z prawej pokazuje badania nad układem krwionośnym człowieka o raz pierwszą próbę zastąpienia poszczególnych jego elementów pompą, komora powietrzną oraz wężem strażackim [7].



Ryc. 3. Elektryczny układ analogowy zmodyfikowanego modelu Windkesse

gdzie propagacja zjawiska jest ważna. Podczas rozkurczu serca (diastoli), gdy ciśnienie jest niemal ustabilizowane w całym układzie, a gdzie zjawiska propagacyjne są mniej istotne, przewidywania modelu Windkessel stają się bliższe rzeczywistości [10]. To założenie o nieskończonej prędkości propagacji wyjaśnia także dlaczego model Windkessel teoretycznie daje lepsze wyniki w przypadkach dużych prędkości fal tętna, na przykład w przypadku sztywniejszych partii układu tętniczego (ze względu na miażdżycę tętnic lub zwężenie naczyń) lub w przypadku krótkich i sztywnych układów tętniczych jak u ptaków i ryb [8].

Model Windkessel może być stosowany do modelowania małych gałęzi, a także naczyń obwodowych. Dokonuje się tego w odniesieniu do zmodyfikowanego modelu Windkessel [11]. Elektryczny analog zmodyfikowanego modelu Windkessel składa się z dwóch rezystorów R_1 i R_2 oraz kondensatora C_T umieszczonego równolegle z R_2, jak pokazano na Ryc.3. W analogicznym modelu elektrycznym, R_1 i R_2 reprezentują rezystancyjne składniki proksymalne i dystalne segmentów zastępowanych naczyń, a C_T oznacza całkowitą podatność pojemnościową naczynia obwodowego. Dlatego zmodyfikowany model Windkessel uwzględnia podatność obwodowych tętnic, co jest ignorowane w przypadku impedancji wyłącznie rezystywnej.

W XVIII w. szwajcarscy matematycy D. Bernoulli i L. Euler próbowali zastosować nowo opracowane wtedy zasady zachowania energii i pędu, aby opisać zjawiska przepływu krwi. Euler był pierwszym, który sformułował model matematyczny przepływu krwi w tętnicy. Jego równania były słuszne dla przepływu przez elastyczny przewód płynu nieściśliwego oraz nielepkiego. Poza założeniem, że ciecz ma być nielepki układ równań nieliniowych jest identyczny do tego stosowanego dzisiaj. Euler sugerował, że ten zestaw równań może być użyty do odtworzenia ciśnień i przepływów w układzie tętniczym, jednakże nie potrafił podać dokładnych rozwiązań dla omawianego zagadnienia propagacji fal tętna (ciśnienia) oraz przepływu krwi.

Eksperymenty francuskiego lekarza Jeana L. Poiseuille'a dały jedno z najsłynniejszych równań w hemodynamice (oraz mechaniki płynów), które dziś nazywane jest prawem Poiseuille'a. Poiseuille zajmował się spadkiem ciśnienia krwi płynącej poprzez małe naczynia krwionośne i kapilarne. W 1846 r. jego obserwacje na temat stałego laminarnego przepływu przez cylindryczne, sztywne przewody doprowadziły go do opracowania prawa Poiseuille'a:

eprasa.pl 452d4c7cfd

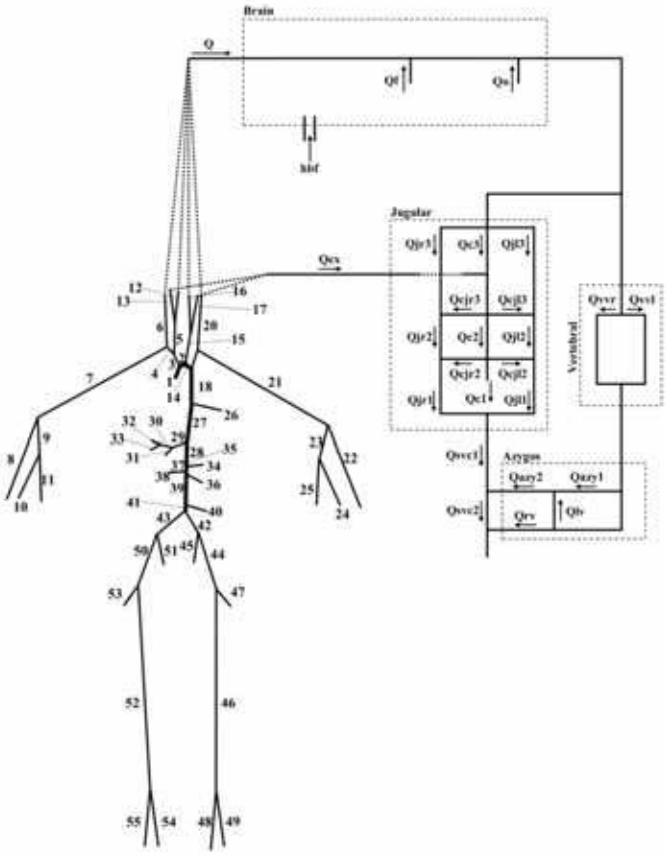
$$\frac{\Delta p}{l} = \left(\frac{8\mu}{\pi R^4}\right) Q \tag{2}$$

gdzie $\Delta p/l$ jest spadkiem ciśnienia na odcinku tętniczym o długości l, μ jest to lepkość dynamiczna płynu, R jest promieniem wewnętrznym tętnicy, a Q jest przepływem objętościowym. Wielkość w nawiasie (pierwotnie stała w prawie Poiseuille'a), jest obliczana z równań Naviera-Stokesa.

Chociaż prawo Poiseuille'a ma zastosowanie do stałego i laminarnego przepływu, to było ono szeroko stosowane do modelowania przepływów fizjologicznych. Jego popularność opierała się głównie na tym, że jest łatwe w użyciu i zrozumiałe oraz zapewnia dość dokładny wynik, który odnosi się do średniego ciśnienia i wartości przepływu, przy uwzględnieniu tarcia segmentu tętniczego. Forma równania (2) wywołała ideę analogowego modelu elektrycznego, gdzie ciśnienie i przepływ mogą być związane ze spadkiem napięcia i prądu płynącego przez opór.

Idea analogowego modelu elektrycznego znalazła wiele ciekawych zastosowań, na przykład w konstruowaniu elektrycznych modeli układu tętniczego. Mimo, że analogowe modele elektryczne tętnic często posiadają pojemność to równocześnie uwzględniana jest w nich też elastyczność ścian wewnętrznych. Modele typu Poiseuille były często wykorzystywane do tworzenia modeli małych naczyń obwodowych.

W równaniach Eulera zabrakło prawa Poiseuille'a modelującego efekt lepkiej oporności przepływu. W 1822 i 1845 r. ogólne równania ruchu lepkiego płynu



Ryc. 4. Wielowymiarowy model układu tętniczego (jednowymiarowy) i odpływu żylnego z mózgu (zero-wymiarowy) [16].

zostały opracowane niezależnie przez Naviera i Stokesa. Te nieliniowe równania różniczkowe, często są określane jako równania Naviera-Stokesa:

$$\rho\left(\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V}\cdot\vec{\nabla}\vec{V}\right) = -\vec{\nabla}p + \mu\nabla^2\vec{V} + \rho\vec{b} \tag{3}$$

wraz z równaniem ciągłości:

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{V} = 0 \tag{4}$$

Powyższe równania interpretujemy jako zasadę zachowania pędu i masy, gdzie $\vec{V}$ oznacza wektor prędkości, ρ jest gęstością płynu, a $\vec{b}$ jest wektorem siły masowej oddziałującej na ciało. Nieliniowa forma równań Naviera-Stokesa, stosowana w ogólnym przypadku przepływu w tętnicach, utrudnia otrzymanie wszelkich rozwiązań jawnych, analitycznych. Zatem naukowcy stosują pewne upraszczające założenia, które umożliwiają uzyskanie analitycznych rozwiązań dla zredukowanych postaci równań Naviera-Stokesa. W 1914 roku Witzig po raz pierwszy przedstawił analityczne rozwiązanie ruchu oscylacyjnego w cylindrycznym naczyniu, które zostało potwierdzone również przez innych naukowców [10, 12-15].

Obecna hemodynamika obliczeniowa ciągle bazuje na tych dwóch równaniach (3) i (4) dodając do tego trzecie równanie opisujące zmiany ciśnienia w poszczególnych segmentach układu krwionośnego. Dziś korzystając z mocy obliczeniowej komputerów oraz wysokiego poziomu języków programowania jesteśmy w stanie otrzymywać przybliżone rozwiązania wspomnianego wcześniej układu równań. Jedynym problemem jaki należy rozwiązać przed rozpoczęciem prac nad modelem układu krwionośnego to wymiarowość zagadnienia.

Wiele wymiarów – wiele problemów

Pierwszym i najprostszym podejściem do zagadnienia jest skonstruowanie problemu zero-wymiarowego. W tym podejściu każdy z segmentów traktowany jest punktowo, czyli jego długość nie odgrywa roli. Z racji braku złożoności obliczeniowej samego zagadnienia, modele zero-wymiarowe stanowią dobry sposób na sprawdzenie nowych metod obliczeniowych lub modeli opisujących dane zagadnienia hemodynamiczne.

Modele jednowymiarowe, jak sama nazwa wskazuje, pozwalają na opis zagadnień, które wymagają analizy przestrzennej wzdłuż naczynia krwionośnego. W tym przypadku wszystkie otrzymywane przebiegi ciśnień i przepływów krwi mogą zostać opracowane dla dowolnego umiejscowienia układu krwionośnego. Dzięki swobodnemu dostępowi do każdego z segmentów w układzie krwionośnym, możliwe jest porównanie przebiegów otrzymanych z symulacji z rzeczywistymi przebiegami zmierzonymi w warunkach klinicznych. Tu należy mieć na uwadze, że dane geometrii układu krwionośnego oraz parametry reologiczne naczyń i krwi powinny być zgodne z pacjentem, u którego wykonywano pomiar. Z tego względu większość dostępnych danych anatomicznych układu krwionośnego jest opracowanych „uniwersalnie", czyli dla zdrowych ludzi w wieku od 20 do 24 lat.

eprasa.pl 452d4c7cfd

Swoboda dostępu do dowolnego segmentu w modelach jednowymiarowych nie tylko pozwala dobrać miejsca pomiarowe zgodne z technikami pomiarowymi znanymi z doświadczeń klinicznych, ale również pozwala zobaczyć przebiegi ciśnień oraz przepływy krwi w układach naczyń niedostępnych w warunkach klinicznych. Dodatkowo, modele jednowymiarowe, podobnie jak modele zero-wymiarowe, nie są złożone obliczeniowo, co pozwala na wykonywanie obliczeń i porównywanie ich wyników z danymi pomiarowymi w czasie rzeczywistym. Niestety złożoność obliczeniowa wzrasta liniowo wraz z ilością segmentów jakie maszyna ma do przeanalizowania i przy bardzo dokładnym modelu układu krwionośnego czas potrzebny do wykonania symulacji może się okazać za duży, aby dodatkowo wykonać porównania z prowadzonym równolegle pomiarem.

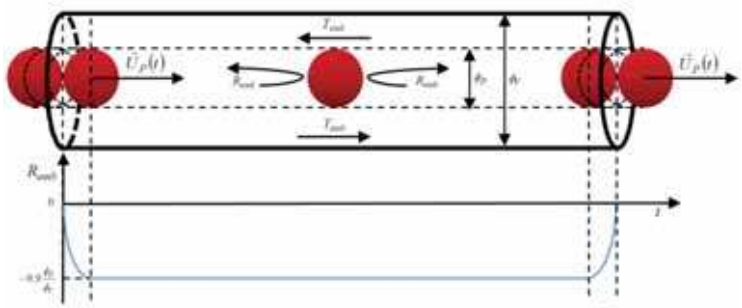
Jak wynika z przeprowadzonych badań [17, 18, 19], złożoność obliczeniową można swobodnie zredukować do minimum, ponieważ tylko od dokładności wyznaczonych danych anatomicznych zależy dokładność otrzymanych wyników symulacji.

Modele trójwymiarowe są najbardziej złożonymi modelami hemodynamicznymi. Oczywiście pozwalają na otrzymanie trójwymiarowych map ciśnieniowych naczyń układu krwionośnego, ale kosztem ogromnej ilości danych wejściowych, anatomicznych. Skomplikowanie i złożoność obliczeniowa podejścia trójwymiarowego do modelowania hemodynamicznego ogranicza tę metodę do opisu niewielkich tylko fragmentów układu krwionośnego. Często dane i wyniki otrzymywane z symulacji trójwymiarowych służą jako dodatkowe źródło informacji o zachodzących zjawiskach, które potem można implementować w modelach zero i jednowymiarowych.

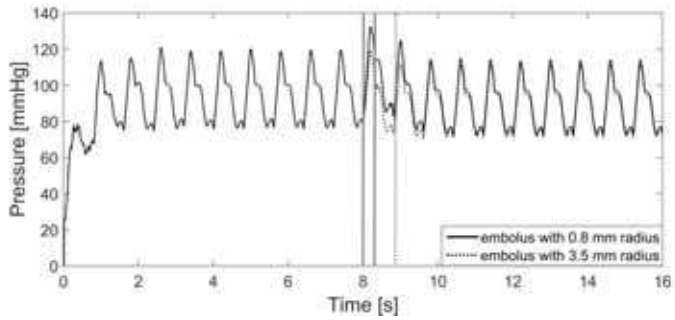
Zatem na razie modele jednowymiarowe oraz zero-wymiarowe mogą posłużyć do diagnostyki układu krwionośnego wykonywanej w czasie rzeczywistym. W niektórych przypadkach warto jest łączyć ze sobą istniejące modele budując jeden model wielowymiarowy do opisu układu krwionośnego (przykład Ryc. 4.).

Odwzorowywanie rzeczywistych stanów patologicznych układu krwionośnego

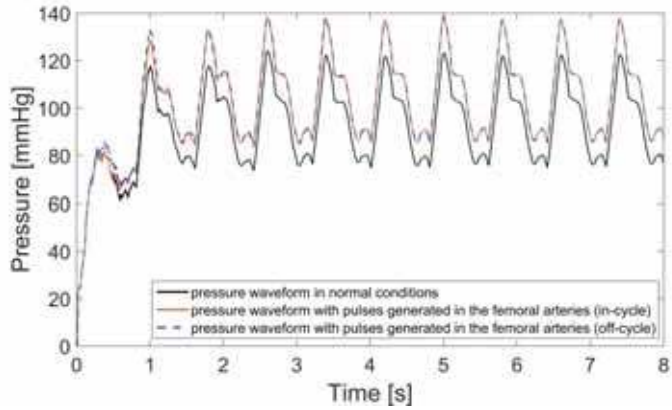
Obecny poziom badań nad diagnostyką układu krwionośnego za pomocą metod hemodynamiki obliczeniowej opiera się na budowie modeli opisujących dane stany patologiczne takie jak, choroby zastawek czy też okluzje/zatory naczyń. Przeprowadzając symulacje komputerowe, które przedstawiają zachowanie układu krwionośnego w takich nagłych incydentach sercowo-naczyniowych możemy dowiedzieć się o zmianach, jakie w konsekwencji badanej patologii zachodzą już w pierwszych sekundach od jej powstaniu. Takie informacje nie są i długo nie będą zbadane klinicznie, ponieważ gdy u pacjenta zostanie zauważony groźny incydent sercowo-naczyniowy nikt nie będzie chciał wykonywać pomiarów i zapisywać ich w celu publikacji w periodyku, ale raczej wszyscy skupią się na ratowaniu zdrowia i życia pacjenta. Dzięki hemodynamice obliczeniowej



Ryc. 5. Model przejścia cząstki zatorowej przez naczynie krwionośne. Cząstka zatorowa o średnicy ϕ_p porusza się z prędkością U_p po naczyniu o średnicy ϕ_V. Fala tętna (ciśnienia) odbija się od cząstki zatorowej ze współczynnikiem odbicia równym R_{emb}, oraz przechodzi obok cząstki ze współczynnikiem T_{emb} [20].



Ryc. 6. Przykładowy przebieg ciśnienia w aorcie wstępującej otrzymany z jednowymiarowego modelu układu krwionośnego człowieka podczas wędrówki cząstek zatorowych o promieniach 0,8 mm (linia ciągła) oraz 3,5 mm (linia przerywana). Wędrówka zaczyna się w sercu w 8 s symulacji (pierwsza z lewej pionowa linia szara). Obie cząstki wędrują do tętnicy międzyżebrowej. Pierwsza dociera cząstka o promieniu 0,8 mm (druga z lewej pionowa linia szara) a druga dociera cząstka o promieniu 3,5 mm (pionowa szara linia przerywana) [20].



Ryc. 7. Porównanie przebiegów ciśnienia w aorcie wstępującej podczas umiarkowanego spaceru (linia czerwona – ruch rozpoczyna się wraz z początkiem cyklu serca, linia przerywana niebieska – ruch jest rozsynchronizowany względem początku pracy serca) oraz w warunkach normalnych (linia czarna) [17].

możemy poznać wszystkie dotąd nieopisane mechanizmy w sposób zgodny z etyką. Dla przykładu ryc. 5. przedstawia model przejścia cząstki zatorowej przez naczynie krwionośne.

Zjawisko wędrującego zatoru tętniczego nie zostało jeszcze nigdy zarejestrowane w warunkach klinicznych. Pierwszym powodem jest bardzo krótki czas samej wędrówki skrzepliny, a drugim ważniejszym jest powód etyczny. W warunkach klinicznych obserwujemy jedynie konsekwencje zatoru jaki powstaje w wyniku przejścia takiej skrzepliny po układzie tętniczym. Hemodynami-

eprasa.pl 452d4c7cfd

ka obliczeniowa pozwala nam jednak zobaczyć reakcję układu tętniczego na taki stan patologiczny układu krążenia. Ryc. 6. przedstawia przykładowe wyniki symulacji przeprowadzonej dla cząstek zatorowych o promieniach 0,8 mm oraz 3,5 mm wędrujących z serca do tętnicy międzyżebrowej. Obserwacja przebiegu ciśnienia dokonywana jest w aorcie wstępującej. Na początku symulacji obserwuje się stan nieustalony układu wynikający z załączenia symulacji. Po 8 s symulacji rozpoczyna się wędrówka cząstki zatorowej. Cząstka o mniejszej średnicy i mniejszej masie posiada większe przyspieszenie przez co widoczny jest większy wzrost obserwowanego ciśnienia.

Takie badania teoretyczne pozwolą w niedługim czasie odwrócić podejście do tego zagadnienia. Otóż, komputer będzie w stanie na podstawie rejestrowanego przebiegu ciśnienia określić z jakim stanem patologicznym ma w danym momencie do czynienia u pacjenta. Najważniejsze, że maszyna po kilku pierwszych sekundach może rozpoznać problem informując odpowiednie służby ratownicze o stanie pacjenta.

Odwzorowywanie rzeczywistych stanów fizjologicznych układu krwionośnego

Naturalne stany fizjologiczne człowieka nie są aż tak „medialne" jak stany chorobowe układu krążenia. Niemniej jednak stanowią one ogromne kompendium wiedzy na temat przyczyn obserwowanych zmian w przebiegach rejestrowanych klinicznie na przykład podczas testów wysiłkowych. Do stanów fizjologicznych układu krążenia człowieka zaliczamy między innymi ruchy lokomocyjne, zmianę pozycji (np. z pozycji stojącej do leżącej) lub ruch kończynami górnymi. Dla przykładu Ryc. 7. przedstawia porównanie przebiegów otrzymanych w aorcie wstępującej w normalnych warunkach oraz podczas umiarkowanego spaceru (dwa kroki podczas jednego cyklu pracy serca). Niewielki wzrost ciśnienia spowodowany jest wykonywaniem ruchu nogami podczas spaceru. Widoczne są dwa przebiegi odpowiadające ruchowi lokomocyjnemu. Pierwszy odpowiada ruchowi, który rozpoczyna się wraz z początkiem cyklu pracy serca. Drugi odpowiada sytuacji rozsynchronizowanej. Jak widać oba przebiegi się na siebie nakładają co jest zgodne z badaniami klinicznymi [17].

Obserwowany wzrost ciśnienia w aorcie wstępującej jest spowodowany nałożeniem się fal generowanych przez skurcz mięśni w kończynach dolnych z falą generowaną przez serce. Należy jednak zauważyć, że fale z kończyn dolnych niejako biegną „pod prąd" względem kierunku przepływu krwi. To dzięki geometrii układu krwionośnego (struktura drzewiasta) fale wytwarzane przez skurcze mięśni docierają do serca wytwarzając tak zwaną falę zwrotną pozwalając odżywić mięsień sercowy. Naczynia wieńcowe nie posiadają zastawek, które umożliwiłyby transport krwi do tkanki mięśnia sercowego i tylko dzięki fali zwrotnej krew wraz z tlenem oraz innymi wartościami odżywczymi może dotrzeć do tkanki mięśnia sercowego.

Przyszłość czy zagrożenie dla medycyny

Przedstawiane w niniejszym artykule zagadnienia dla jednych stanowią atrakcyjną drogę rozwoju medycyny, dla innych wydają się być zagrożeniem. Na szczęście zwolenników drugiego podejścia jest coraz mniej. Nawet w Polsce coraz więcej lekarzy otwiera się na współpracę z fizykami zajmującymi się hemodynamiką obliczeniową. Należy jednak też zrozumieć lekarzy, którzy w jakimś stopniu obawiają się tak prężenie rozwijającej się dziedziny wiedzy. Lekarze z natury nastawieni są na pomoc pacjentowi. Jeżeli w danym momencie dane badania i prace naukowe nie mają zastosowania klinicznego, to zwyczajnie lekarze nie będą tym zainteresowani, zapominając, że sprzęt jaki teraz używają do pracy z pacjentem nie powstał z dnia na dzień. Oczywiście dochodzi do tego niedowierzanie wynikające z braku biegłości matematycznych, które w przypadku hemodynamiki obliczeniowej jest podstawą jak w każdej innej dziedzinie fizyki. Lekarstwem na to może być odwzorowywanie za pomocą modeli hemodynamicznych znanych i zbadanych stanów w warunkach klinicznych. Jednak i tu znajdą się głosy mówiące „po co badać coś, co już jest odkryte?".

Niestety w każdej dziedzinie nauki wraz z odkryciami pojawiają się głosy krytyki. Jest to nieodzowny element każdego aspektu naukowca. Czas pokaże czy potencjał hemodynamiki obliczeniowej zostanie wykorzystany przez medycynę.

Marcin Majka
Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk w Krakowie

LITERATURA

[1] S. Hales, „Statical Essays: Haemastaticks", Vol. 2 (1733).
[2] R. E. Schofield, „Stephen Hales, Scientist and philanthropist". Menston, Eng: Scolar Press. (1980).
[3] W. Harvey, "Exercitatio Anatomica De Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus", (1628).
[4] R. French, „William Harvey". Oxford Dictionary of National Biography (online ed.). Oxford University Press. (2004).
[5] O. Frank, „Die Grundform des Arteriellen Pulses" Zeitschrift für Biologie 37: 483-526 (1899).
[6] K. Sagawa, R.K. Lie, J. Schaefer, „Translation of Otto Frank's paper", "Die Grundform des Arteriellen Pulses" Zeitschrift für Biologie 37: 483-526 (1899)". J. Mol. Cell. Cardiol. 22 (3): 253–4. (1990).
[7] G. Borelli, „De Motu Animalium" (1680).
[8] R. Skalak, „Synthesis of a complete circulation". Pages 341-376 in D. H. Bergel ed. Cardiovascular fluid mechanics. Academic Press, London (1972).
[9] D. A. McDonald, „Blood flow in arteries". 2nd ed. Williams and Wilkins Co., Baltimore. (1974).
[10] A. Aperia, „Hemodynamical studies". Skand. Arch. Physiol. Suppl. 8.3:1-230. (1940).
[11] J. K. Raines, M. Y. Jaffrin, and A. H. Shapiro, „A computer simulation of arterial dynamics in the human leg". J. Biomechanics 7:77-91. (1974).
[12] A. S. Iberall, „Attenuation of oscillatory pressures in instrument lines". J. Res. Nat. Bur. Standards 45:8.5-108. (1950).
[13] G. W. Morgan and .J. P. Kiely, „Wave propagation in a viscous liquid contained in a flexible tube". J. Acoust. Soc. Am., 26:323-328. (1954).
[14] J. R. Womersley, „Method for the calculation of velocity, rate of flow and viscous drag in arteries when the pressure gradient is known". J. Physiol. 127:553-563. (1955).
[15] S. Uchida, „The pulsating viscous flow superposed on the steady laminar motion of incompressible fluid in a circular pipe". ZAMP 7:403-421. (1956).
[16] G. Gadda, M. Majka, P. Zieliński, M. Gambaccini, A. Taibi, „A multiscale model for the simulation of cerebral and extracerebral blood flows and pressures in humans", Eur J Appl Physiol (2018).
[17] M. Majka, G. Gadda, A. Taibi, M. Gałązka, P. Zieliński, „Earliest effects of sudden occlusions on pressure profiles in selected locations of the human systemic arterial system". Phys Rev E 95:032414. (2017).
[18] M. Majka, G. Gadda, A. Taibi, M. Gałązka, P. Zieliński. „Protective properties of the arterial system against peripherally generated waves". Math Biosci 286:16–21. (2017).
[19] M. Majka, G. Gadda, A. Taibi, P. Zieliński; „Effects of aortic valve diseases on pressure profiles in selected locations of the human arterial system", Technical Transactions 12, 243:255 (2017).
[20] M. Majka, E. Konduracka, G. Gadda, A. Taibi, K. Martinson, P. Zieliński, „Embolus particle transport simulation in a 1-D model of the arterial tree", Mathematical Biosciences – w druku (2018).

eprasa.pl 452d4c7cfd

Paradoksy szczególnej teorii względności Część 2

Jan **Kurzyk**

W poprzedniej części artykułu [1] przedstawiłem problem względności jednoczesności zdarzeń zachodzących w różnych punktach przestrzeni. Jest to zjawisko kluczowe dla zrozumienia wielu tzw. paradoksów szczególnej teorii względności. Omówiłem również zjawisko skrócenia długości nazywane też skróceniem lub kontrakcją Lorentza. W tym artykule zajmę się dwoma eksperymentami myślowymi związanymi ze zjawiskiem kontrakcji długości. Nazywane są one paradoksami, gdyż wnioski, jakie możemy wyciągnąć na podstawie tych eksperymentów prowadzą do sprzeczności. Są to jednak sprzeczności pozorne pojawiające się jedynie wtedy, gdy patrzymy na te eksperymenty stosując rozumowanie oparte o newtonowską mechanikę.

Osobom, które nie czytały poprzedniego artykułu muszę wyjaśnić, że dla wygody zarówno czas jak i odległość będziemy mierzyć tych samych jednostkach np. w sekundach (s), godzinach (h) lub latach (y). Dla rozróżnienia obu jednostek, do nazwy jednostki, w której mierzymy odległość dodajemy przymiotnik świetlny, np. sekunda świetlna (ls – ang. light second), godzina świetlna (lh – ang. light hour), rok świetlny (ly – ang. light year). Dla przykładu jedna sekunda świetlna jest odległością jaką światło w próżni pokonuje w ciągu jednej sekundy. Jedna sekunda świetlna to około $3{,}00\cdot10^{8}$ m = 300 Mm (megametrów). Jedna godzina świetlna to około $1{,}08\cdot10^{12}$ m = 1,08 Tm (terametrów). Jeden rok świetlny to około $9{,}46\cdot10^{15}$ m = 9,46 Pm (petametrów). W tych jednostkach prędkość jest bezwymiarowa, a prędkość światła ma wartość 1 (np. c = 1 lh/h). Transformacja Lorentza przyjmuje wtedy postać

$$x' = (x - vt)\gamma, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = (t - vx)\gamma,$$
$$x = (x'+vt')\gamma, \quad y = y', \quad z = z', \quad t=(t' + vx')\gamma.$$

Chciałbym ponownie zwrócić uwagę na to, że używając takich jednostek dostajemy pełną symetrię wzorów transformacyjnych na współrzędną przestrzenną i współrzędną czasową. Obie współrzędne czasoprzestrzeni stają się równoważne.

Paradoks pociągu i tunelu

Zauważmy, że skróceniu ulega tylko wymiar równoległy do kierunku ruchu. Pozostałe wymiary ciała nie zmieniają się. Wynika to wprost z transformacji Lorentza ($y' = y$, $z' = z$). Założenie, że obiekty ulegają skróceniu również w kierunku prostopadłym do ruchu łatwo byłoby obalić. Wyobraźmy sobie pociąg wyższy od wysokości tunelu. Gdyby możliwe było skrócenie obiektu w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu, to przy odpowiedniej prędkości wysokość pociągu zmalałaby na tyle, żeby pociąg mógł przejechać przez tunel. Ale zgodnie z zasadą względności odkrytą już przez Galileusza [2] wszystkie układy inercjalne są sobie równoważne. Wobec tego pasażerowie pociągu mają prawo uważać, że tunel zmniejszy swoją wysokość, gdyż dla nich tunel jest w ruchu względem nich. A zatem pociąg nie może przejechać przez niego. Dostajemy tu sprzeczność, której nie możemy wyjaśnić inaczej niż odrzucając hipotezę o możliwości istnienia efektu skrócenia w kierunkach prostopadłych do kierunku ruchu. Czy zatem na tej samej zasadzie nie możemy zakwestionować istnienia skrócenia Lorentza?

Wyobraźmy sobie pociąg o długości L_p i tunel o długości $L_T < L_p$. Jeśli skrócenie Lorentza jest efektem rzeczywistym, to nadając odpowiednią prędkość pociągowi ulegnie on takiemu skróceniu, że zmieści się w tunelu. Innymi słowy będzie przedział czasu lub przynajmniej jeden moment, w którym obserwatorzy stojący na zewnątrz tunelu nie będą widzieć pociągu. Ale przecież oba inercjalne układy odniesienia są równoważne. Według pasażerów pociągu tunel porusza się względem nich i to on ulegnie skróceniu. Skoro pociąg nie mógł zmieścić się w nieruchomym tunelu to tym bardziej nie zmieści się w tunelu skróconym w skutek ruchu. A zatem nie będzie ani jed-

eprasa.pl 452d4c7cfd

nego momentu, w którym wszyscy pasażerowie pociągu będą widzieć jedynie wewnętrzne ściany tunelu. Sprzeczność, którą dostaliśmy nazywana jest *paradoksem pociągu i tunelu*. Jednak w przeciwieństwie do poprzedniej sytuacji, w tym przypadku, sprzeczność jest tylko pozorna. Jak pisałem na wstępie wynika ona z przyjmowania, że jednoczesność ma charakter absolutny. Zastanówmy się co to znaczy, że z punktu widzenia obserwatorów związanych z tunelem pociąg mieści się w tunelu. Oznacza to, że zdarzenia polegające na tym, iż początek pociągu i koniec pociągu znajdują się wewnątrz tunelu zachodzą jednocześnie. Ale są to zdarzenia zachodzące w punktach o różnych współrzędnych na osi X (równoległej do kierunku ruchu), a takie nie będą jednoczesne dla pasażerów pociągu.

Zupełnie inaczej jest w przypadku poprzedniego doświadczenia, w którym weryfikowaliśmy hipotezę o skróceniu obiektu w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu. To czy pociąg mieści się w tunelu ze względu na swoją wysokość wymaga zaobserwowania dwóch zdarzeń jednoczesnych zachodzących w punktach o różnych współrzędnych na osi Y (prostopadłej do kierunku ruchu), ale o tej samej współrzędnej na osi X. Zgodnie z transformacją Lorentza czas nie zależy do współrzędnych na osiach prostopadłych do kierunku ruchu, a jedynie od współrzędnej na osi równoległej do niego, więc dwa zdarzenia tego typu jednoczesne w jednym układzie muszą jednoczesne również w tym drugim układzie.

Opiszmy dokładniej eksperyment ze skróceniem pociągu/tunelu, żeby przekonać się, że faktycznie nie ma tu sprzeczności i wszystko jest zgodne z przewidywaniami szczególnej teorii względności.

W naszym eksperymencie użyjemy „kosmicznego" pociągu o długości spoczynkowej $L_P = 1$ lh i „kosmicznego" tunelu o długości spoczynkowej $L_T = 0{,}9$ lh (patrz rysunek 5).

Rysunek 5. Nieruchomy pociąg o długości 1 lh na tle wewnętrznej ściany tunelu o długości 0,9 lh.

Niech szybkość pociągu wynosi 0,6 lh/h (0,6 c). Przy takiej szybkości czynnik Lorentza wynosi

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-0{,}6^2}} = 1{,}25.$$

Zgodnie ze wzorem na kontrakcję długości nasz pociąg w układzie tunelu będzie miał długość

$$L_P/\gamma = 0{,}8 \text{ lh},$$

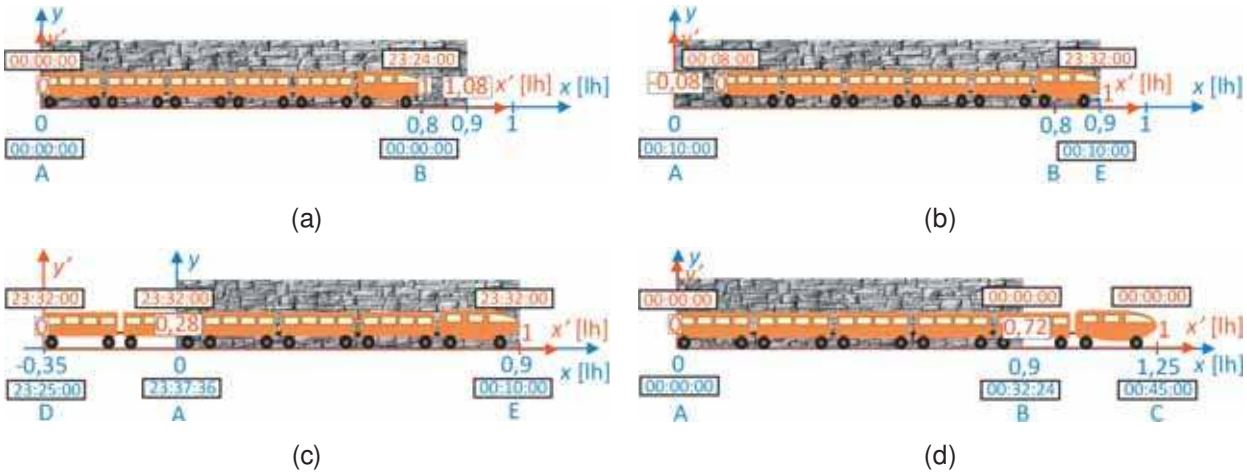
więc powinien zmieścić się w tunelu.

Zwiążmy z tunelem układ S z osią X przechodzącą wzdłuż tunelu i początkiem układu współrzędnych przy wjeździe do tunelu (patrząc w kierunku ruchu pociągu). Z pociągiem zwiążmy układ S' z osią X' przechodzącą wzdłuż pociągu i początkiem układu współrzędnych na końcu pociągu.

W chwili $t = 0$ układu S koniec pociągu wjechał w tunel. Możemy się o tym przekonać sprawdzając jaki punkt układu S' znajduje się w tym momencie w punkcie A o współrzędnej $x = 0$

$$x' = (x - vt)\,\gamma = (0 \text{ lh} - 0{,}6 \text{ lh/h} \cdot 0\text{h}) \cdot 1{,}25 = 0 \text{ lh}.$$

Jest to punkt o współrzędnej $x' = 0$ lh, czyli rzeczywiście koniec pociągu (z końcem pociągu związaliśmy początek układu współrzędnych w S'). W tej samej chwili $t = 0$ począ-



Rysunek 6. Pociąg o długości spoczynkowej 1 lh poruszający się z szybkością 0,6 lh/h na tle wewnętrznej ściany tunelu o długości spoczynkowej 0,9 lh. Rysunki w górnym wierszu pokazują dwie sytuacje widziane w przez obserwatorów z układu związanego z tunelem. (a) W chwili t = 0 h koniec pociągu wjechał w tunel (jest w punkcie A). W tym momencie początek pociągu jest w punkcie B. Od tego momentu, aż do chwili t = 10 min, gdy początek pociągu wyjeżdża z tunelu (rysunek b) cały pociąg mieści się w tunelu. Rysunki w dolnym wierszu pokazują te same sytuacje widziane przez pasażerów pociągu. (c) O godzinie 23:32:00 koniec tunelu „dojechał" do początku pociągu. Ale początek tunelu w tym momencie znajduje się w odległości 0,28 lh przed końcem pociągu, czyli pociąg nie mieści się w tunelu. Od tego momentu, aż do godziny 00:00:00 zarówno początek pociągu, jak i jego koniec będą wystawać poza oba końce tunelu (d) O godzinie 00:00:00 początek tunelu „dojechał" do końca pociągu, czyli koniec pociągu schował się, ale początek pociągu wystaje z tunelu (jest w odległości 0,35 lh od końca tunelu).

eprasa.pl 452d4c7cfd

tek pociągu znajduje się w punkcie B. Współrzędną na osi X tego punktu możemy znaleźć z równania

$$1\ \text{lh} = (x - 0{,}6\ \text{lh/h} \cdot 0\ \text{h}) \cdot 1{,}25.$$

Stąd dostajemy

$$x = \frac{1\ \text{lh}}{1{,}25} = 0{,}8\ \text{lh}$$

Otrzymany wynik jest zgodny ze wzorem na skrócenie długości. Pociąg o długości spoczynkowej wynoszącej 1 lh poruszający się względem tunelu z prędkością 0,6 lh/h ma długość 0,8 lh, a tym samym mieści się w tunelu o długości 0,9 lh. Mówiąc inaczej zaobserwowaliśmy dwa zdarzenia, które są jednoczesne dla obserwatorów związanych z tunelem. Pierwsze zdarzenie polega na tym, że koniec pociągu mija punkt A ($x = 0$ lh), a drugie, że początek pociągu mija punkt B ($x = 0{,}8$ lh). Oba zdarzenia zachodzą w chwili $t = 0$ układu S (patrz rysunek 6 (a)).

A jak to wygląda z punktu widzenia pasażerów pociągu? Dla nich te zdarzenia nie są jednoczesne. W układzie S' koniec pociągu mija punkt A też w chwili $t' = 0$, ale początek pociągu mija punkt B w chwili

$$t' = (0\ \text{h} - 0{,}6\ \text{lh/h} \cdot 0{,}8\ \text{lh}) \cdot 1{,}25 = -0{,}6\ \text{h},$$

(czyli o godzinie 23:24). Sprawdźmy, że rzeczywiście w tym momencie początek pociągu znajduje się w punkcie B układu S

$$x = (1\ \text{lh} + 0{,}6\ \text{lh/h} \cdot (-0{,}6\ \text{h})) \cdot 1{,}25 = 0{,}8\ \text{lh},$$

czyli wszystko się zgadza.

Załóżmy, że obserwatorzy układu S znajdujący się w punktach A i B w chwili $t = 0$ zrobili sobie zdjęcia na tle mijającego ich pociągu. Również pasażer z ostatniego przedziału zrobił sobie *selfie* na tle ściany tunelu, w momencie mijania obserwatora z punktu A, a maszynista (na przedzie pociągu) zrobił sobie *selfie* na tle ściany tunelu w momencie mijania obserwatora z punktu B. Oto co zobaczymy na tych zdjęciach:

- Na zdjęciu wykonanym przez obserwatora z punktu A zobaczymy: jego samego, jego zegar pokazujący godzinę 00:00, pasażera siedzącego w ostatnim przedziale i wykonującego w tym czasie zdjęcie oraz jego zegar pokazujący również godzinę 00:00.
- Na zdjęciu wykonanym przez pasażera w ostatniego przedziału zobaczymy: jego samego, jego zegar pokazujący godzinę 00:00, obserwatora z punktu A robiącego sobie w tym momencie *selfie* i jego zegar wskazujący godzinę 00:00.
- Na zdjęciu wykonanym przez obserwatora z punktu B zobaczymy: jego samego, jego zegar pokazujący godzinę 00:00, maszynistę i wykonującego w tym czasie zdjęcie oraz jego zegar pokazujący godzinę 23:24.
- Na zdjęciu maszynisty zobaczymy: jego samego, jego zegar pokazujący godzinę 23:24, obserwatora z punktu B robiącego sobie w tym momencie *selfie* i jego zegar z godziną 00:00.

Zauważmy, że zdjęcia wykonane przez obserwatorów z jednego układu potwierdzają stan zarejestrowany na zdjęciach obserwatorów z drugiego układu. Niezgoda będzie dotyczyła jedynie problemu jednoczesności. Dla obserwatorów związanych z tunelem koniec pociągu mija punkt A w tym samym momencie, w którym początek pociągu mija punkt B, a dla pasażerów pociągu oba zdarzenia zachodzą w równych momentach.

W układzie S od momentu, gdy koniec pociągu mija punkt A, czyli od chwili $t = 0$ h (od godziny 00:00) do momentu, w którym początek pociągu wyjeżdża z tunelu, czyli do chwili

$$t = \frac{0{,}9\ \text{lh} - 0{,}8\ \text{lh}}{0{,}6\ \text{lh/h}} = \frac{1}{6}\text{h}$$

(do godziny 00:10:00) pociąg będzie całkowicie schowany w tunelu (patrz rysunek 6 (a) i 6 (b)).

A jak to wygląda z punktu widzenia pasażerów? Koniec pociągu mija punkt A (wjeżdża do tunelu) w chwili $t' = 0$. W tym samym momencie układu S' początek pociągu znajduje się nie w punkcie B, lecz w punkcie C (patrz rysunek 6 (d)), którego współrzędna na osi X wynosi

$$x = (1\ \text{lh} + 0{,}6\ \text{lh/h} \cdot 0\ \text{h}) \cdot 1{,}25 = 1{,}25\ \text{lh}.$$

Punkt ten znajduje się poza tunelem w odległości 0,35 lh (w układzie S) od wylotu tunelu. A zatem w chwili $t' = 0$h, w którym koniec pociągu właśnie wjeżdża do tunelu, początek pociągu już z tunelu wyjechał (pociąg nie mieści się w tunelu!).

Odległość między punktami B i C jest równa 1,25 lh – 0,8 lh = 0,45 lh. Na pokonanie tej drogi pociąg potrzebuje

$$\Delta t = \frac{0{,}45\ \text{lh}}{0{,}6\ \text{lh/h}} = 0{,}75\ \text{lh}.$$

Początek pociągu był w punkcie B w chwili $t = 0$, więc w punkcie C będzie w chwili $t = 0{,}75$ h, o godzinie 00:45. I taką godzinę zobaczy na zegarze stojącym w punkcie C maszynista pociągu mijając ten punkt

$$t = (0\ \text{h} + 0{,}6\ \text{lh/h} \cdot 1\ \text{lh}) \cdot 1{,}25 = 0{,}75\ \text{h}.$$

Sprawdźmy jeszcze co się dzieje, gdy początek pociągu opuszcza tunel. W układzie S' stanie się to w chwili

$$t' = (1/6\ \text{h} - 0{,}6\ \text{lh} \cdot 0{,}9\ \text{lh}) \cdot 1{,}25 = -7/15\text{h},$$

czyli o godzinie 23:32. Koniec pociągu jest w tym momencie w punkcie D (patrz rysunek 6 (c)), którego współrzędna na osi X ma wartość

$$x = (0\ \text{lh} + 0{,}6\ \text{lh/h} \cdot (-7/15\text{h})) \cdot 1{,}25 = -0{,}35\ \text{lh}.$$

A zatem koniec pociągu nie wjechał jeszcze do tunelu, a w tym momencie początek pociągu już wyjeżdża z tunelu, czyli pociąg nie mieści się w tunelu. Z punktu widzenia obserwatorów związanych z tunelem koniec pociągu mija punkt D w chwili

$$t = (-7/15\ \text{h} + 0{,}6\ \text{lh/h} \cdot 0\ \text{lh}) \cdot 1{,}25 = -7/12\ \text{h}$$

(zegar tam ustawiony pokazuje godzinę 23:25).

Odległość między punktami A i C, czyli punktami, w których w chwili $t' = 0$ znajdowały oba końce pociągu wynosi 1,25 lh. Taki sam wynik dostajemy oczywiście licząc odległość między punktem D a wylotem tunelu (w tych punktach były końce pociągu w chwili $t' = -7/12$ h).

eprasa.pl 452d4c7cfd

Czy to oznacza, że pociąg się wydłużył? Nie. Taka jest długość pociągu zmierzona przez pasażerów, jeśli użyją miarki nieruchomej w układzie tunelu i równoległej do kierunku ruchu. Dla pasażerów pociągu ta miarka uległa skróceniu, gdyż jest względem nich w ruchu i ma długość

$$\frac{1\ \text{lh}}{1{,}25} = 0{,}8\ \text{lh}.$$

Skróceniu uległ również tunel. Jego długość w jednostkach układu S wynosi 0,9 lh, więc długość tunelu zmierzona miarką obowiązującą w pociągu wyniesie

$$\frac{0{,}9\ \text{lh}}{1{,}25} = 0{,}72\ \text{lh}.$$

Sprawdźmy jeszcze i to. Policzmy w jakiej odległości od końca pociągu znajduje się pasażer, który w chwili $t' = 0$ mija wylot tunelu. Z transformacji Lorentza mamy

$$0{,}9\ \text{lh} = (x' + 0{,}6\ \text{lh/h} \cdot 0\ \text{lh}) \cdot 1{,}25\ \text{lh}.$$

Stąd współrzędna naszego pasażera mierzona wzdłuż osi X' wynosi

$$x' = \frac{0{,}9\ \text{lh}}{1{,}25} = 0{,}72\ \text{lh}.$$

Jak pamiętamy w tym momencie koniec pociągu wjeżdża do tunelu, więc odległość między szukanym pasażerem, a końcem pociągu jest długością tunelu zmierzoną w układzie związanym z pociągiem. Dostaliśmy tę samą wartość co powyżej.

Jak widzimy żadnym eksperymentem nie jesteśmy w stanie wykazać sprzeczności pomiędzy tym co obserwują obserwatorzy związani z tunelem, a tym co obserwują pasażerowie. Nawet zdjęcia wykonane przez jednych i drugich będą w pełni zgodne ze sobą. I chociaż przeczy to tzw. „zdrowemu rozsądkowi", to obie grupy obserwatorów mają rację: dla obserwatorów na peronie pociąg się „skurczył", a dla pasażerów pociągu „skurczył" się peron. Nie ma paradoksu.

Paradoks pociągu i tunelu wersja II

Opisany powyżej paradoks pociągu i tunelu nazywany też bywa *paradoksem tyczki i stodoły* [3]. Tyczka pełni tu rolę naszego pociągu, a stodoła z otwartymi wrotami wejściowymi i wyjściowymi rolę tunelu. Istnieje też inna wersja tego paradoksu. W tej wersji wrota stodoły zamykają się w momencie, gdy tyczka jest już w stodole. Jest to niezwykła tyczka, która nie ulega destrukcji w momencie uderzenia we wrota stodoły (wrota też są niezwykłe, tyczka ich nie przebija) a jedynie wyhamowuje co prowadzi do powrotu do jej spoczynkowej długości. Ta zaś jest większa od długości stodoły, więc tyczka wygina się opierając się końcami o wrota stodoły, a nawet jeśli ulegnie złamaniu, to wszystkie jej fragmenty znajdą się wewnątrz stodoły. Jednak, jak pokazałem powyżej, w układzie tyczki skraca się stodoła i w momencie zderzenia drugi koniec tyczki znajduje się poza stodołą. Jak więc jest możliwe, że po wyhamowaniu tyczka znajdzie się całkowicie w stodole. Czy nie zostanie przytrzaśnięta przez zamykające się wrota?

W naszych rozważaniach pozostańmy przy pociągu i tunelu o tych samych parametrach co poprzednio. Dzięki temu będziemy mogli skorzystać z poprzednich rachunków. Jedynie, z oczywistych względów, zastąpmy obserwatorów z obu układów aparaturą pomiarową, a tunel wyposażmy we wrota i mechanizm, które zamknie te wrota w chwili, gdy koniec pociągu wjedzie do tunelu. Jak w poprzednim przykładzie w chwili $t = 0$ koniec pociągu wjechał w tunel, a początek pociągu znajduje się w punkcie o współrzędnej $x = 0{,}8$ lh. W tym momencie zamykają się wrota na obu końcach tunelu. Po 10. minutach początek pociągu dojeżdża do wrót przy wylocie tunelu i zderza się z nimi. Pociąg wyhamowuje, wraca do swojej długości spoczynkowej i dochodzi do wykolejenia wagonów, które w linii prostej nie będą mieściły się pomiędzy wrotami tunelu, ale wszystkie fragmenty pociągu znajdziemy wewnątrz tunelu.

Zastanówmy się teraz jak wygląda ten eksperyment w układzie pociągu. W tym układzie zderzenie pociągu z bramą wyjazdową miało miejsce w chwili $t' = -7/15$ h. Koniec pociągu znajduje się wówczas w odległości 0,35 lh przed wjazdem do tunelu i mija punkt D (patrz poprzedni paradoks i rysunek 6 (c)). Zegar układu S znajdujący się w tym punkcie wskazuje wtedy godzinę $t = -7/12$ h. Oznacza to, że wrota są jeszcze otwarte, ale pociąg musiałby jechać jeszcze 35 minut (7/12 h) mierzonych w układzie tunelu lub 28 minut (7/15 h) mierzonych w układzie pociągu, żeby koniec pociągu wjechał do tunelu. Jak to możliwe, skoro już doszło do zderzenia pociągu z bramą u wylotu tunelu? Czyżby więc skrócenie długości nie było rzeczywistym efektem tylko matematyczną iluzją? Przecież nie może być tak, że w jednym układzie odniesienia pociąg ulegnie destrukcji całkowicie w tunelu za zamkniętymi drzwiami, a w drugim układzie część zniszczonego pociągu znajdziemy poza tunelem. Klasyczny paradoks. Jak go wyjaśnić?

W mechanice nierelatywistycznej istnieje pojęcie bryły sztywnej, czyli ciała, którego elementy składowe (punkty materialne) nie zmieniają położenia między sobą. Nierelatywistyczna bryła sztywna reaguje na zewnętrzne siły jednocześnie w całej swojej objętości. W tej koncepcji ukryte jest założenie, że oddziaływania pomiędzy atomami tworzącymi ciało rozchodzą się natychmiastowo. Szczególna teoria względności uczy nas, że jest to niemożliwe. Bryła sztywna nie istnieje. Jeśli przyłożymy siłę do końca pręta, to nie poruszymy go od razu na całej długości. Zaczną poruszać się kolejne fragmenty pręta, w miarę jak informacja o ruchu poprzednich będzie przenosić się poprzez oddziaływania między atomami z jednego końca pręta na drugi. Podobnie jest z naszym pociągiem. Zderzenie z bramą nie oznacza, że w tym momencie cały pociąg zatrzyma się. Informacja o zderzeniu będzie rozprzestrzeniać się w postaci fali uderzeniowej z prędkością światła i dotrze do końca pociągu po czasie (mierzonym w układzie pociągu)

eprasa.pl 452d4c7cfd

$$\Delta t' = \frac{1\ \text{lh}}{2\ \text{lh/h}} = 1\ \text{h}.$$

A zatem koniec pociągu nie zdąży się „dowiedzieć", że doszło do zderzenia zanim minie go wjazd do tunelu (w układzie pociągu tunel się porusza) i brama wjazdowa zamknie się. Od momentu zderzenia będzie to trwało 28 minut. Oczywiście po ostatecznym wyhamowaniu tunel wróci do długości spoczynkowej, ale jest ona mniejsza od długości pociągu, więc dojdzie do wykolejenia wagonów. Ostatecznie eksperyment zakończy się ta samo jak w scenariuszu, który prześledziliśmy w układzie tunelu. Wszystkie elementy zniszczonego pociągu znajdą się wewnątrz tunelu.

Sprawdźmy jeszcze czy będzie tak w każdym przypadku, to znaczy czy niezależnie od długości tunelu oraz długości i prędkości pociągu sygnał o zderzeniu pociągu dotrze do jego końca już po tym jak koniec pociągu wjedzie do tunelu, a brama zamknie się. Oznaczmy długość spoczynkową pociągu symbolem L_P, a długość spoczynkową tunelu symbolem L_T. Zakładamy jedynie, że długość pociągu w ruchu jest mniejsza niż długość tunelu

$$L_P/\gamma < L_T$$

W układzie związanym z pociągiem tunel ma długość L_T/γ. Dlatego też, w momencie zderzenia przodu pociągu z bramą wyjazdową, koniec pociągu znajduje się w odległości

$$s = L_P - L_T$$

od bramy wjazdowej. Od tego momentu początek tunelu będzie zbliżać się z szybkością v do końca pociągu. Czas tego zbliżania nie może być dłuższy niż

$$\Delta t = L_P$$

(dokładnie $\Delta t = L_P/c$, ale w naszych jednostkach $c = 1$), gdyż tyle czasu będzie potrzebować fala uderzeniowa, aby przemieścić się od początku pociągu do jego końca niosąc ze sobą informację o zderzeniu i powodując zatrzymywanie się kolejnych fragmentów pociągu. Sprawdźmy, czy w tym czasie koniec pociągu zdąży minąć bramę wejściową. W tym celu policzmy różnicę

$$s - v\Delta t = L_P - L_T/\gamma - v L_P.$$

Po przekształceniach dojdziemy do równania

$$s - v\Delta t = \frac{L_P\sqrt{1-v}}{\gamma\sqrt{1+v}} - \frac{L_T}{\gamma}.$$

Ale, zgodnie z naszym założeniem $L_P/\gamma < L_T$. Wobec tego

$$s - v\Delta t < L_T\frac{\sqrt{1-v}}{\sqrt{1+v}} - \frac{L_T}{\gamma}.$$

Łatwo można pokazać, że wyrażenie po prawej stronie tej nierówności ma wartość ujemną równą

$$-L_T v\frac{\sqrt{1-v}}{\sqrt{1+v}}$$

A stąd ostatecznie dostajemy nierówność $s < v\Delta t$.

Co chcieliśmy udowodnić.

Klasyczne rozumienie bryły sztywnej prowadzi do wielu innych ciekawych paradoksów. Zainteresowanych tego typu paradoksami zachęcam do zajrzenia do wykładu pana Andrzeja Dragana [4].

Ciekawy jest proces powracania hamującego obiektu do wymiarów spoczynkowych lub skracania się ciała przyspieszającego. Tego jednak niestety nie możemy dobrze opisać w ramach szczególnej teorii względności, która dotyczy tylko układów inercjalnych. Układ związany z obiektem poruszającym się z przyspieszeniem jest układem nieinercjalnym i do opisu zjawisk z nim związanych należałoby użyć ogólnej teorii względności.

Na zakończenie chciałbym opisać jeszcze jeden paradoks związany ze skróceniem Lorentza. Jest to *paradoks pręta i otworu*. Rozważmy pręt o długości spoczynkowej większej od długości spoczynkowej otworu wykonanego w płaskiej cienkiej płycie. Przy odpowiedniej prędkości pręta, stanie się on krótszy od długości otworu. Ustawmy płaszczyznę płyty równolegle do pręta i nadajmy płycie prędkość prostopadłą do linii, wzdłuż której porusza się pręt. Jeśli skrócenie długości jest rzeczywistym efektem, to przy odpowiedniej koordynacji ruchu pręta i płyty możemy doprowadzić do sytuacji, w której dojdzie do bezkolizyjnego minięcia się obu obiektów. A teraz popatrzmy na nasz eksperyment z układu związanego z prętem. W tym układzie oczywiście otwór ulegnie skróceniu. Czy w takim razie może dojść do bezkolizyjnego przebiegu tego eksperymentu? Tym paradoksem zajmę się w następnej części artykułu.

Jan Kurzyk
Instytut Fizyki Politechniki Krakowskiej

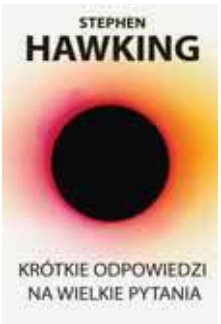
LITERATURA

[1] J. Kurzyk, *Paradoksy szczególnej teorii względności. Część I.* Fizyka w Szkole nr 1/2019.
[2] https://pl.wikipedia.org/wiki/Zasada_wzgl%C4%99dno%C5%9Bci [dostęp 28.10.2018].
[3] J. Al.-Khalili, *Paradoks. Dziewięć największych zagadek fizyki*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2014.
[4] A. Dragan, *„Niezwykle szczególna teoria względności"*, http://www.fuw.edu.pl/~dragan/Fizyka/Nstw.pdf [dostęp 28.10.2018].

Krótkie odpowiedzi na wielkie pytania

Stephen Hawking, światowej sławy kosmolog i celebryta, jak sam o sobie mówił, przykuty chorobą do wózka do ostatnich dni swojego życia zadawał najprostsze pytania – skąd się wzięliśmy, jak powstawał wszechświat, czy jesteśmy sami w Kosmosie, czy jest możliwa podróż w czasie, czy istnieje Bóg itd. Starał się też na nie odpowiedzieć wykraczając poza ścisłe badania naukowe. Po jego śmierci przyjaciele zebrali notatki, uporządkowali je i wydali drukiem.

Książka ukazała się nakładem wydawnictwa Zysk i S-ka Wydawnictwo



eprasa.pl 452d4c7cfd

Co to jest fizyka? – esej dydaktyczny

Spadła na polski system edukacji kolejna reforma, w dużej mierze na własne życzenie. Fizyka jest, niestety, jedną z pierwszych ofiar tej reformy: trzy lata gimnazjalne wciśnięte w końcówkę szkoły podstawowej, nauczyciele fizyki, których (o dziwo!) nie było w szkołach podstawowych a teraz nagle być muszą, i uczelnie (szczególnie te państwowe), nie przygotowane do przekwalifikowania nauczycieli.

Grzegorz P. Karwasz, Tomasz Wróblewski

Ale o systemie edukacji będzie na końcu. Najpierw postawmy pytanie, jak poloniści i matematycy: po co ta fizyka (no, i religia)? Odpowiemy na końcu, ale wcześniej zadamy pytanie: co to jest fizyka?

Co to jest fizyka?

1 Trochę żartem, trochę serio, w „Fizyce zabawek" [1] odpowiadamy, że fizyka, według takiego brodatego myśliciela, Arystotelesa (wszyscy ówcześni Grecy byli brodaci) dwa i pół tysiąca lat temu, to jest to wszystko, co nas otacza. Słowo „fizis" odnajdujemy i w wychowaniu fizycznym i w „fizjonomii". Fizyka jest więc nauką o otaczającym nas świecie, czyli o naturze.

Dobrze! Ale i biologia, i astronomia, i chemia uczą o otaczającym nas świecie. I rzeczywiście, astronomia i nauka o zwierzętach (zoologia) były już u Arystotelesa. Ale jego dzieło „Fizyka" zawiera rozważania o ciałach materialnych w ogólności, o ich ruchu, o przestrzeni i o czasie (zagadnienia podjęte przez Einsteina w Teorii Względności).

Ryc 1. Strona „Fizyka i zabawki" założona w 1997 roku na Akademii Pomorskiej pozostaje nadal jednym z najczęściej uczęszczanych zasobów dydaktycznych na UMK. Ten sukces zawdzięcza prostocie narracji, choć ceną tej prostoty jest pewna lakoniczność opisów. Lay-out: E. Rajch.

Pisze Arystoteles w *Fizyce* [2]:

„Dalej,: nikt nie potrafi wyjaśnić, wskutek czego ciało wprawione w ruch gdzieś się musi zatrzymać [tak, bo istnieją siły „oporu" ruchu, jak siła tarcia]; dlaczego zatrzyma się raczej w tym niż w innym miejscu? [to rzeczywiście jest trudne do policzenia] A zatem ciało albo się będzie znajdować w spoczynku, albo się będzie poru-

Nie jest tak w przypadku tzw. zjawisk *chemicznych*, zmieniających własności reagujących substancji. I tak, wymieszanie metalicznych kropelek rtęci z żółtym proszkiem siarki prowadzące do powstania czerwonego siarczku rtęci to zjawisko *chemiczne*. Stopienie siarki lub rosnący słupek rtęci w termometrze lekarskim (kiedyś tylko takie istniały) – to natomiast zjawiska fizyczne. Dzisiaj, rozgraniczenia na zjawiska *fizyczne, astronomiczne, chemiczne*, czy nawet *biologiczne* musimy uznać za nieco sztuczne.

Fot. 1.1. Zderzające się kulki, stygnąca woda w szklance, chmury na niebie, zaćmienie Słońca to zjawiska *fizyczne*.

Ryc. 2. „Co to są zjawiska fizyczne" – odpowiedź z „Toruńskiego po-ręcznika do fizyki" [3].

[1] Ucząc się chemii, jesteśmy przekonani o „zachodzeniu" reakcji kwasu z zasadą: $NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$. W rzeczywistości, należy mówić o równowadze, bo opisana reakcja w fazie ciekłej zachodzi między jonami, a aby otrzymać NaCl, trzeba odparować wodę (dziękujemy za uwagę p. prof.. M. Nodzyńskiej z UP w Krakowie).

[2] Można ponownie rozdzielić zasadę od kwasu, ale poprzez elektrolizę przy pomocy specjalnej przegrody z nafionu.

eprasa.pl 452d4c7cfd

szać w nieskończoność [= I zasada dynamiki Newtona], jeżeli tylko nie stanie mu na drodze jakieś inne silniejsze ciało [=III zasada dynamiki Kartezjusza].

Wydaje się też, iż ciała poruszają się w próżni dzięki temu, że ona ustępuje [prawda, nawet „próżnia" kosmiczna jest pełna neutrin, fotonów, ciemnej masy i ciemnej energii, ale one praktycznie nie przekazują pędu]; a ponieważ ta właściwość próżni występuje wszędzie w jednakowym stopniu [= zasada kosmologiczna izotropowości przestrzeni], przeto ciało może poruszać się we wszystkich kierunkach." (215a).

Czyli, fizyka rozważa ogólne zależności o świecie zewnętrznym, i to jest jej pierwsza funkcja.

2 Nauczycielka fizyki w VII klasie zadała pytanie: co to są zjawiska fizyczne? Odpowiedziałem (GK), że płynące chmury, zamarzająca woda i spalający się węgiel. Nauczycielka zaprotestowała, że to ostatnie to zjawisko chemiczne, bo następuje zamiana jednej substancji na inną, czyli stan wyjściowy jest inny niż początkowy. Nie zgodziłem się z nią, i nie zgadzam do dziś. Zresztą, piszemy (GK) o tym w I rozdziale „Toruńskiego po-ręcznika do fizyki" [3], rozważając zjawiska odwracalne i nieodwracalne.

Spalanie węgla rzeczywiście jest zjawiskiem chemicznym, ale jest ono odwracalne (np. w procesie fotosyntezy), jak w zasadzie każda reakcja chemiczna[1]. A wśród zjawisk fizycznych też są takie, które są nieodwracalne, jak na przykład wymieszanie ciepłej i zimnej wody – już się ich nie da ponownie rozdzielić[2].

Cytując „Po-ręcznik", rozgraniczanie na zjawiska fizyczne, chemiczne, biologiczne, astronomiczne jest nieco sztuczne. Biologia jest nauką przyrodniczą, podobnie jak fizyka, ale praw matematycznych, na razie (a może nigdy) nie potrafimy w niej sformułować. W języku angielskim (włoskim, francuskim) wszystkie te przedmioty zaliczamy do *Science*, czyli nauk ścisłych, w odróżnieniu od *Humanities*, czyli nauk humanistycznych. Ale, od razu dodajmy, niczym się te dwa bloki nie różnią: i jedne i drugie powstają w umyśle człowieka.

Królowa nauk a nauka o chodzeniu

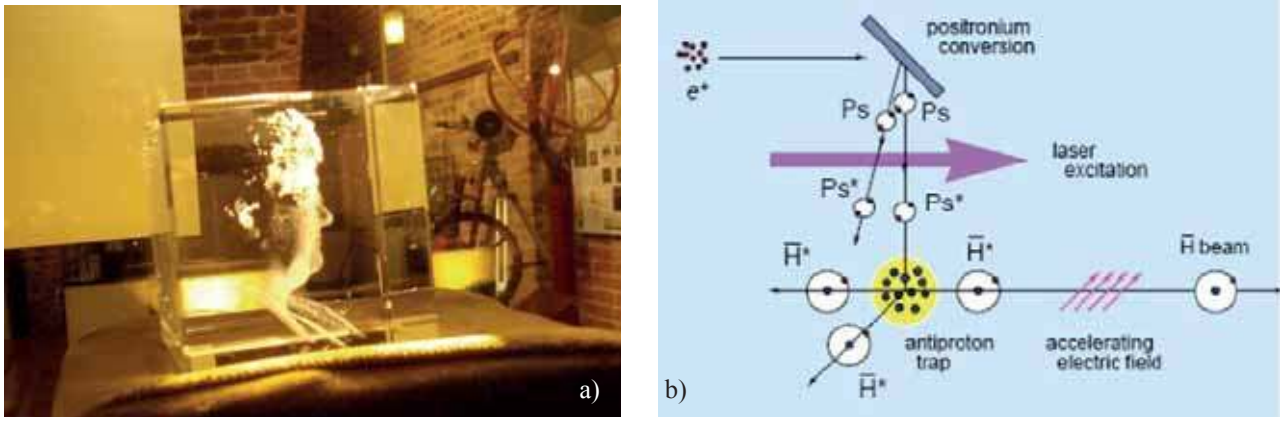
Za królową nauk podaje się matematykę. Rzeczywiście, Egipcjanie, jak to wynika z papirusu „Rhind." trzy tysiące lat temu umieli dodawać ułamki zwykłe, obliczać objętość ściętego ostrosłupa, przybliżać liczbę π. Jedna z glinianych tabliczek z Mezopotamii, YBC 7289, sprzed prawie 4 tysięcy lat, zawiera rozwinięcie √2 w ułamki o mianowniku 60, a rysunek przedstawia, przypuszczalnie, dowód twierdzenia Pitagorasa. Inna tabliczka, Mul. Apin, zawiera rodzaj encyklopedii astronomicznej. W IV wieku p.n.e. Grecy sformułowali pojęcia czterech stanów skupienia, atomów, próżni itd.

Matematyka, bez wątpienia, musiała się pojawić jako umiejętność dokonywania praktycznych obliczeń – np. dla wyliczenia podatków w zależności od posiadanego poletka. A fizyka?

Fizyka, pojawia się w mózgu człowieka jak tylko niemowlę otwiera oczy. Mózg niemowlaka musi szybko zrozumieć, że soczewka oka wytwarza na siatkówce obraz odwrócony. Musi zrozumieć, że obraz ten odpowiada, na przykład, twarzy matki i że twarz ta jest wypukła. Przekonanie jest tak silne, że oglądając na wystawie „Fiat Lux" [5] wypalony w szkle profil twarzy, widzowie są absolutnie przekonani, że osoba przedstawiona „patrzy" na nich, mimo że widzą profil wklęsły, a nie wypukły.

Stając w kojcu dziecko wcale nie wyrzuca złośliwie przedmiotów, tylko sprawdza jak działa prawo grawitacji: czy czasem nie zadziała antygrawitacja i misiek nie podskoczy sam do kojca. Dziś wielkie laboratorium w CERN-nie sprawdza, zob. fig. 3b, czy na antymaterię działa antygrawitacja: jak na razie wyniku nie ma [5].

Pierwsze kroki dziecko stawia z szeroko rozstawionymi stopami, bo rozumie, że w ten sposób środek ciężkości nie wychodzi poza płaszczyznę podparcia. Rzucając piłką, lub tocząc koło, wiadomo, że nie zawrócą one nagle, jak to dzieje się na filmach animowanych z kotem i myszą. Prawa zachowania pędu (lecąca „przed siebie" piłka) i momentu pędu (toczące się koło) mamy wbudowane w naszą najgłębszą podświadomość.



Ryc. 3. (a) Fizyka dla niemowlaków: noworodek, macając twarz matki sprawdza, że jest ona wypukła. Pozwala mu to skorelować obraz z obojgu oczu z rzeczywistym obiektem. Twarz kobieca „patrzy" na prawo, na ścianę, ale zwiedzający, oglądający eksponat z lewej strony są przekonani, że kobieta patrzy na nich. Eksponat i pomysł wykorzystany na wystawie „Fiat Lux", GK, Toruń 2007. (b) Fizyka dla naukowców: poszukiwania antygrawitacji w CERN. Anty-elektrony (pozytony, e+) w materiale porowatym wychwytują elektron i są emitowane jako atom pozytonium (Ps). Atom ten w stanie podstawowym żyje bardzo krótko (10-7s), dlatego musi zostać wzbudzony za pomocą lasera. W komorze reakcji Ps dryfuje razem z antyprotonami z akceleratora. Pozyton z Ps* łączy się z antyprotonem i tworzy antywodór H. Teraz już tylko trzeba sprawdzić, czy antywodór spada czy się wznosi w polu grawitacyjnym Ziemi. Ale jest to trudny eksperyment [6].*

eprasa.pl 452d4c7cfd

W interaktywnej dydaktyce, którą wprowadzamy w Polsce już ponad 20 lat, korzystamy z całej serii doświadczeń, uświadamiających uczniom, że w codziennym poruszaniu się korzystają z praw fizyki.

1) Po pokazaniu, że metalowa kula po pochyłym stole przyspiesza („Wszyscy zamykamy oczy i słuchamy! Co ta kula robi?”) pokazujemy kaczki na równi [1]. „I znów słuchamy! Dlaczego kaczki nie przyspieszają?” Wybieramy uczennicę, a ta z zamkniętymi oczyma sprawdza, jakie podeszwy mają kaczki. „Chropowate, prawda? A teraz wszyscy nogę na stół i sprawdzamy, jakie mamy podeszwy.”
2) Po pokazaniu „wańki- wstańki” [1], ale zanim wyjaśnimy jak działa, wybieramy ucznia i stajemy przed nim. „Przechyl się w moim kierunku, spokojnie! Ja cię złapię!” Oczywiście, uczeń wyciąga ręce przed siebie, jak tylko zaczyna tracić równowagę. Czuje to instynktownie. Resztę klasy prosimy o obserwację. Bezbłędnie identyfikują, że kolega traci równowagę, „gdy środek ciężkości wychodzi poza płaszczyznę podparcia (wyznaczoną przez podeszwy butów).
3) A samo chodzenie, to unikanie upadku: wyciągamy nogę przed siebie, kiedy grozi nam upadek. „Uwaga! na lekcji wychowania fizycznego to przećwiczycie”.
4) Na Księżycu, gdzie grawitacja jest słabsza (ile razy?) taki sposób chodzenia nie jest efektywny – przechylanie się do przodu jest zbyt powolne. Astronauci, po spróbowaniu różnych sposobów, nauczyli się przemieszczać za pomocą skoków kangura. Uczniowie w Strzelnie też takiego sposobu się nauczyli – film, przezabawny jest dostępny w Internecie.
5) Doświadczenie, na które sobie pozwalamy od czasu do czasu (jest trochę niebezpieczne dla ucznia a od prowadzącego wymaga dużej siły) to „wiszący ptak”. Na rękach zgiętych w łokciach podnosimy (lekkiego) ucznia, pokazując, że wystarczy trzymać go w pobliżu środka ciężkości (uwaga, trzeba ucznia podtrzymywać za kości biodrowe – dlatego to doświadczenie nie jest polecane).

Fizyka jest matematyczna, ale też doświadczalna. Fizyka wymaga równań, ale przede wszystkim zrozumienia zagadnień. Prawo Newtona mówi, że ciała raz puszczone w ruch poruszają się wiecznie? A w naturze tak nie jest? Lekko pochylamy stół, popychamy kulkę, i już tak jest! A jak pochylimy stół bardziej, to kulki nie trzeba „rozpędzać” – bo to jest przykład ruchu *jednostajnie przyspieszonego*.

Znaczenie fizyki wykracza jednak daleko poza nią samą.

Fizyka i inne nauki

Fizyka, jako nauka „bardzo” podstawowa, nie zajmuje się sekwencjonowaniem DNA, ale stwarza metody do tego rodzaju badań. Sama struktura DNA została odkrywa nie za pomocą mikroskopu, ale *dyfraktogramu rentgenowskiego,* jak na zdjęciu w naszej wystawie wirtualnej „Na ścieżkach fizyki współczesnej”. Genotypy, w postaci pasków

Ryc. 4. (a) Fizyka to zabawa: kominiarz, co wchodzi po linie (eksponat z Berlina), wymaga szczególnego dobór siła tarcia statycznego i posuwistego, ale dzieci o tym nie muszą wiedzieć. (b) Fizyka jako pomiar: „A teraz, nie patrzcie na piłkę ping-pongową, ale na tę dolną, cięższą – czy odbije się na tę samą wysokość?”; eksponaty z „Fizyki zabawek”; scenariusze „Z górki na pazurki” GK, foto Maria Karwasz (Katowice, 2010).

(a raczej sekwencji TACG) to obraz dyfuzji fragmentów DNA w polu elektrycznym, czyli *elektroforezy*. A do obrazowania tej dyfuzji używa się *fluorescencji*. Tylko że dziś, robią to automaty, tak że fizycy nie są już potrzebni – mogą realizować inne wyzwania.

Pytanie pasjonujące Arystotelesa (z *O niebie*), jakie jest życie gwiazd, uzyskało odpowiedź dopiero 100 lat temu. Systematyczne badania kolorów gwiazd (czyli ich widm) rozpoczął 150 lat temu włoski jezuita, Angelo Secchi. Dziś wiemy, jakie pierwiastki chemiczne znajdują się w najodleglejszych gwiazdach – bez podróżowania do nich.

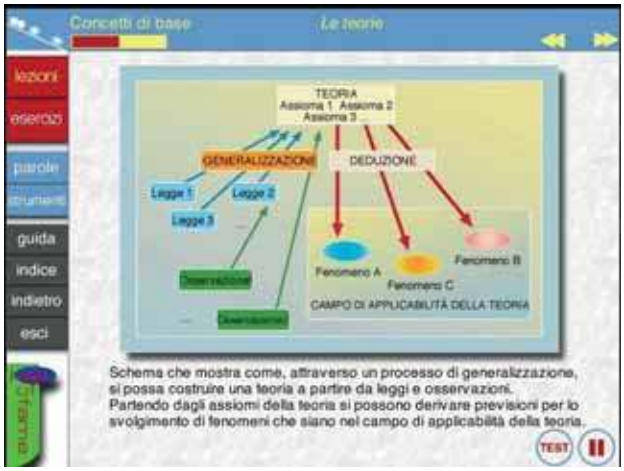
Strukturę wewnętrzną kuli ziemskiej znamy bez wiercenia – na podstawie propagacji fal sejsmicznych – podłużnych i poprzecznych [7]. Pytanie pasjonujące zimowych wędkarzy, dlaczego woda zamarza tylko na powierzchni do dziś nie ma dobrego wyjaśnienia. Stwierdzenie „dlatego, że lód jest lżejszy od wody” niczego nie wyjaśnia. Zazwyczaj ciała stałe są cięższe niż ich ciecze. Dlaczego woda ma największa gęstość w temperaturze 4ºC? Obliczenia metodami *chemii kwantowej* [8] dają częściowo odpowiedź. Woda może w fazie ciekłej tworzyć aglomeraty (tzw. klastery). Na pewno istnieją one w fazie gazowej, bo zostały zaobserwowane doświadczalnie. W fazie ciekłej mogą być one mało stabilne i rozpadać się ze wzrostem temperatury. Być może (nie wiemy), w temperaturze 4ºC są one najbardziej liczne – drobiny wody, upakowane w klasterach, zajmują wówczas mniejszą objętość. Poniżej 4ºC drobiny zaczynają układać się w sieć krystaliczną lodu. Być może. Na razie jeszcze tego nie wiemy (niepewność obliczeń jest zbyt duża).

Dlaczego nauczanie fizyki jest trudne?

Fizyka jest nie lubiana nie dlatego, aby nie była ciekawa. Fizyka jest bardzo trudna dla *nauczyciela*: niełatwo ją przekazać. Każdy z nas miał jakiegoś wykładowcę, zazwyczaj wybitnego naukowca, który coś tam mamrotał pod tablicą. Z nauczaniem fizyki jest jak z grą na pianinie lub skrzypcach: dziecko ćwiczy gamy i pasaże tak długo, aż skutecznie znienawidzi muzykę. Kiedy ją wreszcie zrozumie, za późno jest na samodzielne granie.

Zadaniem nauczyciela byłoby więc głównie przekazanie piękna fizyki. Dużo ważniejsze jest to niż dokładne cytowanie prawa Newtona (w oryginalnej pracy Newtona jest on znacznie prostsze niż w podręcznikach). Latem więc warto opowiadać o tęczy a zimą o płatkach śniegu. Zresztą, większość dobrych podręczników fizyki, na różnym poziomie i w różnych krajach od tego się zaczyna.

eprasa.pl 452d4c7cfd



Ryc. 5. Struktura fizyki, jako nauki: teoria opiera się o aksjomaty, ale te wynikają z obserwacji, które poprzez prawa (Legge) prowadzą do uogólnień. Z kolei, drogą dedukcji, w zakresie stosowalności teorii, przewidywane są nowe zjawiska. U. Amaldi, F. Tibone,, Fisica interattiva, CD-Rom, Zanichelli, Bologna, 1997.

Trudność w nauczaniu fizyki wynikają z jej wielorakiego charakteru:

1 Fizyka to nauka doświadczalna, ale koniecznie potrzebuje teorii dla przewidywania nowych zjawisk. Matematyka nie musi mieć odniesienia do rzeczywistości (pole trójkąta to nie poletko nad Nilem) a biologia nie musi przewidywać nowych gatunków zwierząt (choć dziś prawie, że prawie, może je tworzyć). Fizyka *przewiduje* i sprawdza, np. istnienie fal grawitacyjnych.

2 Fizyka to nauka dedukcyjna (wnioskuje z ogólnych zasad ruchu, jak poleci pocisk) ale głównie indukcyjna (bada różne cząstki elementarne i z nich wnioskuje o istnieniu kwarków). Filozofia jest nauką dedukcyjną – Kantowi wystarczał pokoik w Królewcu i spacer na uniwersytet dla tworzenia genialnych traktatów. Historia (i politologia) z kolei to nauki indukcyjne – wiemy, jaka jest, dopiero kiedy się wydarzy. Fizyk musi więc operować i rozumowaniem i wyobraźnią.

3 Fizyka operuje liczbami, ale też słowami. W matematyce „zadania z treścią" są przez część uczniów nie lubiane. W fizyce każde zadanie jest z treścią słowną. Trzeba ją zrozumieć (czyli sprawnie operować językiem), przepisać na język matematyki, przeliczyć i ponownie przetłumaczyć na polski [9].

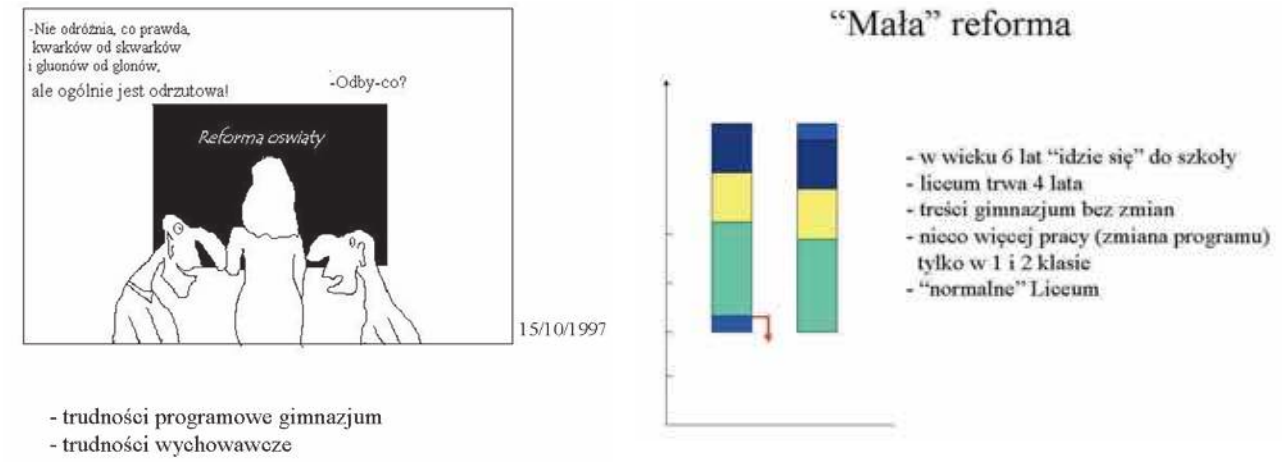
4 Fizyka przede wszystkim ma odniesienie do rzeczywistości – masa nie może być ujemna, prędkość większa od prędkości światła a temperatura niższa niż -273,15ºC.

5 Fizyka wymaga też bezustannego *kojarzenia* i *dysponowania* informacją. Wzory na równanie kwadratowe dość szybko znajdziemy, ale długość fali światła widzialnego (380-760 nm, czyli jedna oktawa) musimy kojarzyć z energią fotonów (3,6-1.8 eV) dla szybkiego wyjaśnienia i obrazu w okularach dyfrakcyjnych i napięcia z ogniwa fotowoltaicznego.

Ale też trudności w nauczaniu fizyki mogą łatwo stać się jej atutami: mówiąc o rzucie ukośnym możemy sprawdzić w Wikipedii, jaki był zasięg strzał angielskich łuczników w historycznej bitwie pod Azincourt (1415) a jaki działa niemieckiego w oblężeniu Paryża w 1870 roku. Zwiedzając Akwarium w Gdyni można podziwiać węgorza elektrycznego a także super czułe detektory pola elektrycznego rekina młota (ma je na końcach tego „młota"), itd. Każdy uczeń ma inne zainteresowania i wystarczy na nie właściwie trafić. Z tego powodu w Belgii nauczyciele fizyki uczą też historii i religii (nazwisko podamy na życzenie).

Ryc. 6. Fizyka jako umiejętność obserwacji: zjawisko załamania światła (refrakcji) odpowiedzialne jest za „powstawanie" kolorów w: falach Morza Czerwonego (2003), śniegu w Alpach (2004), kandelabrze w Wersalu (2005). Kolory w okładce CD (polimer ukierunkowany), w dwóch witrażykach z Holandii i w wazie na berlińskim straganie powstają w inny sposób: w skutek selektywnej interferencji światła spolaryzowanego, selektywnej absorpcji w barwnikach, kolektywnych wzbudzeń plazmonów w nano-skupiskach złota (foto GK).

eprasa.pl 452d4c7cfd



Ryc. 7. Don Kichota i Sancha Pansy walka z wiatrakami: krytyka (GK) i winieta (TW) z 1997; wykład na Zjeździe PTF w Warszawie 2005 (GK): uratować system niskim kosztem, czyli translacja o jeden rok w dół (też bez odzewu). Dziś już nawet winiet nie rysujemy…

Fizyka, jako źródło kompetencji społecznych

Fizyka, jako nauka o realnym, teraźniejszym i lokalnym świecie (w odróżnieniu od filozofii, historii czy geografii, odpowiednio) uczy przede wszystkim umiejętności *obserwacji*. Siatkówka oka bez przerwy rejestruje obrazy; otrzymuje je również mózg. Ale mózg fizyka, a szczególnie dydaktyka, bez przerwy pyta: czy ten obraz przyda się na lekcji? A później, nocą, porządkuje obrazy i przypisuje je do *ścieżek poznawczych*. Ale równie ważna jest lektura, w tym podręczników innych przedmiotów – dla relaksu umysłowego.

Jeżeli więc wykorzystamy *pretekst* nauczania fizyki do przekazu umiejętności:

1) obserwacji
2) kojarzenia faktów
3) abstrakcji od zjawisk marginalnych
4) werbalizacji i narracji
5) stawiania pytań o strukturę świata
6) stosowania matematyki (i Internetu)

→ to uzyskamy nie tylko „wspólny język" z koleżankami/ kolegami z pokoju nauczycielskiego, ale przede wszystkim „wytworzymy" absolwentów, którzy znajdą wszędzie pracę – od szpitala powiatowego do giełdy w Nowym Yorku (nazwisko absolwenta podamy na życzenie).

Zakończenie

W 1997 roku, mając ponad 10 lat doświadczeń dydaktycznych we Włoszech (GK) niezwykle intensywnie protestowaliśmy przeciwko wprowadzeniu w Polsce gimnazjów, na wzór włoskich, ryc. 7a. Po 20 latach, system polski doszedł do jako takiej równowagi: programy gimnazjów mniej więcej się ujednoliciły i zniknęła z rynku podręczników cała seria firm bez żadnej tradycji wydawniczej. Wystarczyłoby obniżyć wiek szkolny do lat 6-ciu (Polska otrzymała na reformę systemu edukacji 14 mld euro, wystarczająco dużo, aby przygotować i szkoły, i przedszkola, i nauczycieli i rodziców) a zaoszczędzony rok dodać do liceum, zob. rys. 7. Ale jak w „Panu Tadeuszu", „hajże na Soplicę!" jest łatwiejsze niż przemyślana i społecznie uzgodniona reforma. Niestety, fizycy (ani inni dydaktycy) nie protestowali…

P.S. Czy coś można zrobić? Tak, wiele. Przede wszystkim powiedzieć nauczycielom, że problemy z nauczaniem fizyki wynikają z *systemu* a nie indywidualnych możliwości. Po drugie – uczynić zasoby dydaktyczne powszechne (a to rola głównie uczelni). Po trzecie, podzielić szkołę podstawową na dwie: 1-5 i 6-8. Podział – na przykład przez wydanie świadectw umożliwiających zmianę szkoły po 5º klasie i/lub wyraźne rozgraniczanie programowe (program zintegrowany „przyroda" 1-5, fizyka od klasy 6, chemia od 7-ej) i/lub rozgraniczenie personalne (1-2 nauczycieli w klasach 1-5, wielu od 6-tej) i/lub rozgraniczenie fizyczne (klasy 6-7 na drugim piętrze) i/lub rozgraniczenie graficzne (podręczniki 6-7 czerwone).

Kłopoty z edukacją mają wszystkie kraje – wystarczy zapytać (ale nigdy ich własnych ekspertów, bo trudności się skrzętnie ukrywa), jak sobie z tymi problemami radzą. Od błędów, jak od świnki, lepiej się zaszczepić…

Prof. Grzegorz P. Karwasz[1]
dr Tomasz Wróblewski[2]

[1]Instytut Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, ul. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń
[2]Instytut Fizyki, Akademia Pomorska w Słupsku, ul. Arciszewskiego 22B, 76-200 Słupsk

LITERATURA

[1] G. Karwasz, T. Wróblewski i in., *Fizyka zabawek*, CD-Rom, PAP, Słupsk, 2004, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/
[2] Arystoteles, *Fizyka*, przek. K. Leśniak, PWN 2010
[3] G. Karwasz, M. Sadowska, K. Rochowicz, *Toruński po-ręcznik do fizyki*, UMK, 2010
[4] E. Lutz, S. Ciliberto, *Information: From Maxwell's demon to Landauer's eraser*, Physics Today, Sept. 2015, s. 30.
[5] G. Karwasz, *Fiat Lux!" – czyli zabawy ze światłem*, Postępy Fizyki, 4/2010, s. 154 http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Publikacje_2010/Fiat_Lux_PF_2010.pdf
[6] L. Penasa i in. J. Phys: Conf. Series 505 (2014) 012031
[7] G. Karwasz, J. Chojnacka, *Wewnętrzny ogień, czyli o tektonice płyt Ziemi*, Geografia w Szkole, 3/2012, s. 28. http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Publikacje_2012/Geografia_1strona.pdf
[8] T. Wróblewski, G.P. Karwasz, *Protonated water clusters Hartree-Fock study of dissociation energies,* Eur. Phys. J. Special Topics 222, (2013) 2217 http://www.fizyka.umk.pl/~ks/2013/5_2013.pdf
[9] G. Karwasz, *Nauczanie fizyki – trudności matematyczne czy nieumiejętność komunikacji?*,Kognitywistyka i Media w Edukacji, 1/2013, 107 http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Publikacje_2013/14_2013.pdf
[10] G. Karwasz, *Co to jest fizyka*, wykład z Dydaktyki Fizyki, UMK, 2018, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/filmy2/1a_dydaktyka%20fizyki_s.ppt

eprasa.pl 452d4c7cfd

Kinematyka w praktyce

Andrzej **Sokołowski**

Chciałbym zaproponować doświadczenie z kinematyki dla klas szkół podstawowych i średnich, które przybliża uczniem proces zastosowanie pojęć fizyki w praktyce. Karta pracy ucznia, którą uczeń będzie wypełniał podczas opracowywania danych jest skonstruowana w ten sposób, aby uczeń sam mógł formułować wnioski i konstruować nową wiedzę, której podstawy teoretyczne pozna na lekcjach. Tak zorganizowany edukacyjny przewód wspomaga rozumienia istoty zjawisk fizycznych i ich zapamiętanie. Uczeń wykazuje się znajomością fizyki, jeśli potrafi aplikować wiedzę w nowych sytuacjach, dlatego w części podsumowującej tego doświadczenia zawarte są problemy do samodzielnego rozwiązania przez ucznia, które integrują treści doświadczenia z treściami zadań z podręcznika. Ma to również na celu ułatwienie uczniowi powiązania teorii z praktyką i referowanie do tego doświadczenia jako bazy wiedzy podczas rozwiązywania podobnych zadań tekstowych.

Zarys podstawy merytorycznej

Fizyka zgodnie z zaleceniami podstawy programowej rozporządzenia ministra edukacji narodowej[2] to przedmiot, który ma zapewnić uczniowi konstruktywistyczne weryfikowanie jego poglądów i stanowić podstawę to dociekania odpowiedzi na postawione pytania. W myśl tego założenia uczeń będzie poznawał otaczającą przyrodę i wykorzystywał poznane na lekcjach fizyki pojęcia i wielkości fizyczne do formułowania własnego naukowego poglądu. Bardziej szczegółowo, uczeń będzie obserwował przebieg doświadczenia, pobierał dane, klasyfikował dane jako zależne i niezależne oraz konstruował matematyczny obraz zależności przedstawionej w eksperymencie.

Ponieważ nauczanie fizyki winno być postrzegane jako sposobność do zaspokajania ciekawości poznawczej uczniów[2] przebieg analizy danych jest tak skonstruowany, aby uczeń nie tylko pogłębiał rozumienie zjawisk fizycznych, ale również wykształcił zainteresowanie do kontynuowania nauki fizyki w dalszej swojej edukacji.

Podstawa dydaktyczna

Uczniowie zaczynają poznawać fizykę posiadając pewien zasób potocznej wiedzy. Jest ona jednak nieusystematyzowana i często jest przeplatana błędnym rozumieniem. Badania z dydaktyki fizyki potwierdzają tezę, że słowny przekaz wiedzy ma znikomy wpływ na konceptualistyczne rozumienie zjawisk przyrodniczych, jednocześnie wskazując na duże dydaktyczne znaczenie kreowania sytuacji, w których uczeń będzie sam tą wiedzę formułował.

Trudno oczekiwać, by uczniowie sami wiedzieli jak ukierunkować doświadczenie i wyciągnąć z niego właściwe wnioski, dlatego też w trakcie doświadczenia zadajemy pytania, które będą zachęcały ucznia do myślenia wskazując mu drogę do wyciągnięcia właściwych wniosków. Nauki przyrodnicze, których przykładem jest fizyka, bazują na obserwacjach, eksperymentalnych dowodach, wyobraźni i krytycznym myśleniu. Matematyka jest nierozerwalną częścią fizyki. Matematyka nadaje zjawiskom fizycznym ich ścisły, usystematyzowany i nieograniczony czasowo charakter. Włączenie matematycznego aparatu pozwoli na ćwiczenia modelowania matematycznego, którego efekty edukacyjne trudno przecenić. Narzędzia matematyczne, które uczeń będzie wykorzystywał podczas doświadczeń będą skorelowane z aktualnym programem matematyki.

Organizacja eksperymentu. Rola nauczyciela

Przed rozpoczęciem doświadczenia, nauczycie krótko omawia jego cel i demonstruje jak ten eksperyment przeprowadzić. Krótkie i proste omówienie doświadczenia i powiazanie jego treści z poznawaną wiedzą będzie mieć pozytywny efekt na zainteresowania ucznia tym doświadczeniem i zaangażowanie w jego przebieg. Objaśniając doświadczenie, nauczyciel kieruje uczniów na postawiony problem i zachęca ich do postawienie własnych hipotez. Zalecane jest by uczniowie postawili hipotezy samodzielnie. Podczas pobrania i analizowania danych uczniowie mogą pracować w grupach. Ma to na celu pobudzenie dyskusji i niejako zmuszenie uczniów, by podczas komunikowania się operowali językiem fizyki.

Nauczyciel przyjmuje postawę czynnego obserwatora, kiedy uczniowie pobierają i analizują dane; nie podpowiada rozwiązań, ale podsuwa sugestie, by uczeń sam osiągnął pożądany cel. Stopień pomocy zależy od posiadanej przez ucznia wiedzy i będzie on większy w przypadku, kiedy uczeń ma więcej pytań. Celem jest by wszyscy uczniowie poprawnie odpowiedzieli na pytania i ukończyli analizę doświadczenia. Wydaje się, że uczeń może dysponować kalkulatorem podczas analizowania danych i odpowiadania na dodatkowe pytania. Jednakże jest to w gestii nauczyciela.

Wskazówki dla nauczyciela

Uczniowie będą pracować w grupach 6 osobowych. Każda grupa powinna mieć zabawkę - samochód poruszający się ze stałą prędkością w zakresach 0.1 do 0.7 m/s, (lub piłkę do siatkówki, którą można również obrazować ruch stały) 5 stoperów lub IPhone, taśmę mierniczą. Zamiast taśmy można użyć innego przyrządu mierniczego, na przykład przymiar metrowy. Uczniowie będą pobierać dane trzy razy i będą znajdować średnią danych, jeśli używają samochodzik lub pobiorą dane jeden raz jeśli analizują ruch piłki. Ponieważ droga ruchu samochodu będzie około 6 *m*, uczniowie mogą pobrać dane obierając drogę ruchu samochodu na szkolnym korytarzu zamiast w klasie. Nauczyciel może wyjaśnić uczniom istotę po-

eprasa.pl 452d4c7cfd

Tabela 1 Rama dydaktyczna doświadczenia

Pojęcia praktykowane podczas eksperymentu	Przyrządy	Orientacyjny czas na realizację
Położenie. Droga Prędkość chwilowa Prędkość średnia Obliczanie prędkości średniej Obliczanie drogi Różne jednostki prędkości Wykresy położenia i prędkości Czytamy wykresy. Tabele i wykresy	Stopery, zabawka--samochód lub inny pojazd poruszający się ze stalą prędkością.	10-15 minut na pobranie danych. 30-35 minut na analizę danych. Uczeń może rozwiązać dodatkowe zadania w domu.

brania danych. Analiza danych zawiera dwie części; cześć I wspomagająca formalną (książkową) definicję prędkości i cześć II wspomagająca rozwiązywanie zadań. Bardziej wyczerpujący dydaktyczny opis podobnego doświadczenia czytelnik może znaleźć odwołując się do litaratury[3]. Poniższa tabela (Tabela) 1 zawiera streszczenie ramy dydaktycznej i generalny opis doświadczenia.

Lab. 1. Ruch jednostajnie prostoliniowy. Karta pracy ucznia

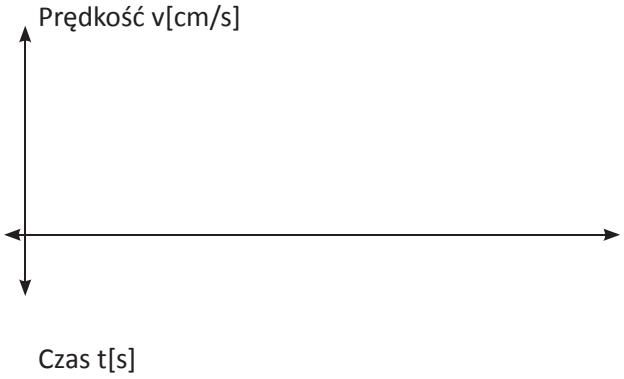
Cel doświadczenia: Podczas tego doświadczenie opisujemy i analizujemy ruch poruszającego się samochodu.

Problem 1. *Czy ruch samochodu może być określony jako jednostajny? Umotywuj swoją odpowiedź?* _____
_____
_____

Problem 2*. Oszacuj średnią wartość prędkości samochodu. Wyraź tę wielkość w cm/s*_____.

Problem 3. *Jeśli położenie samochodu jest oznaczone na osi rzędnych (pionowej) a czas na osi odciętych (poziomej) jaki przewidujesz wykres położenia samochodu w funkcji czasu? Narysuj przykładowy wykres na osiach poniżej. Załóż ze początkowe położenie samochodu jest 0 m.*

Problem 4. *Jeśli średnia prędkość samochodu jest oznaczone na osi rzędnych (pionowej) a czas na osi odciętych (poziomej) jaki przewidujesz wykres prędkości średniej samochodu w funkcji czasu? Narysuj przykładowy wykres na osiach poniżej.*



Pobranie danych

- Podczas pobrania i analizy danych będziesz pracował w grupie 6 osób.
- Wybierz punkt odniesienia na podłodze i zaznacz go (na przykład połóż jakiś przedmiot w tym miejscu).
- Odmierz wzdłuż linii prostej równe odcinki, każdy o długości 1.5 m (zobacz rysunek poniżej.
- Czterech z was będzie stać w oznaczonych położeniach; A, B, C i D.
- Jeden z was będzie puszczał samochód w ruch i jedna osoba zatrzyma go.
- Wszystkie stopery muszą być wyzerowane przed rozpoczęciem doświadczenia.
- Wszystkie osoby włączą stopery, kiedy osoba uruchomi samochodzik.
- Osoby stojące w oznaczonych punktach wyłączą stopery, kiedy samochód będzie mijał punkt, w którym oni stoją.
- Po wykonaniu jednej rundy, wszystkie osoby z grupy zapisują czas w tabeli 1.
- Powtórz to doświadczeni 2 razy i policz średnią z czasów.

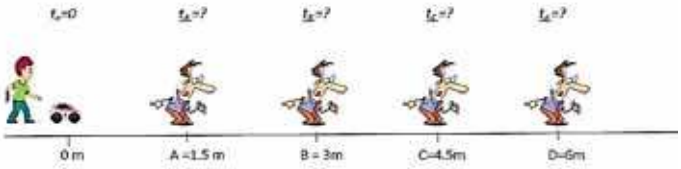


Tabela 1.

Położenia samochodu s[m]	0	1.5	3	4.5	6
Czas: runda 1 *Czas: runda 2* *Czas: runda 3*					
Średni czas [s]					

Cześć I: Policzenie średniej prędkości korzystając z odcinków drogi.

1. Droga przebyta przez samochód może być podzielona na odcinki; OA, AB, BC i CD.

   Czy wstawiając dane do tabeli zauważasz, że samochód przebywa te odcinki drogi w tych samych odcinkach czasu? _____
   _____

2. Oszacuj czy prędkość średnia samochodu w każdym odcinku ma podobna wartość korzystając ze wzoru:

eprasa.pl 452d4c7cfd

$$\text{Średnia prędkość} = \frac{\text{Droga przebyta}}{\text{Czas trwania ruchu}}$$

3. Abyś mógł przekonać się czy twoje przypuszczenie jest poprawne wykonaj następujące obliczenia.

Odcinek drogi	*OA*	*AB*	*BC*	*CD*
Długość odcinka [m]				
Średni czas potrzebny na jego przebycie [s]				
Średnia prędkość samochodu w każdym odcinku drogi [v]				

4. Czy twoje przypuszczenie było poprawne? _____
_____

5. Czy twoja odpowiedź na problem 1 była poprawna?_____

Cześć II: Policzenie średniej prędkości korzystając z funkcji wykresu drogi

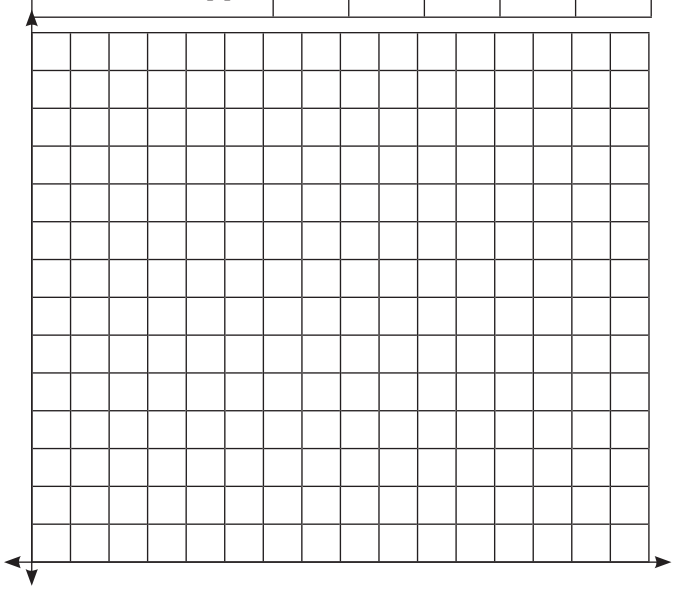
Średnia prędkość samochodu można również policzyć z wykresu, który podaje położenia samochodu w funkcji czasu. Zbudujmy taki wykres. W tym celu musimy zdecydować jakie wielkości oznaczyć na osiach wykresu. Jaka jest twoja sugestia? Wpisz te sugestie poniżej.

Oś pionowa_____

Oś pozioma_____

Jeśli wybrałeś położenie samochodu na osi pionowej i czas, kiedy samochód przejeżdżał przez to położenie, twój wybór jest poprawny! Zrekonstruujmy Tabelę 1, zbudujmy ten wykres.

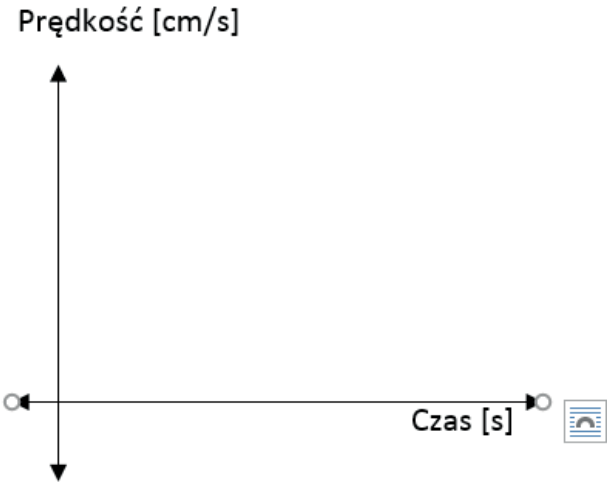
Położenia samochodu s[m]	**0**	1.5	3	4.5	6
Średni czas t[s]					



Rys 1. Wykres położenia samochodu w funkcji czasu

By ten wykres był czytelny, musi on być odpowiednio duży, tak więc musisz przyjąć pewną skalę. Przedyskutuj to zadanie w grupie, zaproponuj skalę, nanieś punkty z tabeli i zbuduj ten wykres. (Rys. 1)

- Postaraj się połączyć wszystkie punkty jedną prosta linią. Czy wykres ten pokrywa się z twoja odpowiedzią na problem 3?_____
_____
- Opisz ten wykres swoimi słowami _____
_____
- Czy możesz nazwać otrzymaną graficzną zależność rosnącą? Umotywuj swoją odpowiedź. _____
_____
_____
- Czy możesz tę zależność nazwać proporcjonalną? Umotywuj swoją odpowiedź.
- Policz współczynnik kierunkowy tej prostej. Jaka jest jego fizyczna interpretacja?
- Narysuj wykres prędkości tego samochodu w funkcji czasu.



- Czy twoja hipoteza do problemu 4 była poprawna?
_____
- Jak wiesz średnia prędkość jest policzona ze wzoru

$$\text{Średnia prędkość} = \frac{\text{Droga przebyta}}{\text{Czas trwania ruchu}}$$

- Policz średnią prędkość biorąc pod uwagę całkowity czas trwania ruchu i całkowitą drogę, którą przebył samochód według podanego wzoru:

$$\text{Średnia prędkość} = \frac{\text{Położenie w punkcie D-początkowe położenie}}{\text{Czas pomiędzy położeniem początkowym i końcowym}}$$

eprasa.pl 452d4c7cfd

$$v_{śr} = \frac{d_D - d_o}{t_d - t_o} = \_\_\_\_\_$$

Czy tak policzona średnia prędkość samochodu pokrywa się ze średnimi prędkościami w poszczególnych odcinkach ruchu? _____
Dlaczego tak się dzieje? _____

Nachylenie tej linii określa tzw. jej współczynnik kierunkowy a ten z kolei określa prędkość tego samochodu, ponieważ współczynnik kierunkowy jest liczony jako

$$\frac{\text{Zmiana wielkości na osi rzędnych}}{\text{Zmianie wielkości na osi odcięych}}$$

Tak więc, im większe jest nachylenie tym większa jest prędkość, którą ten wykres przedstawia. I odwrotnie, im linia jest mniej nachylona tym przedstawiona prędkość jest mniejsza. Korzystając z tego stwierdzenia, narysuj (na Rys. 1) wykres położenia samochodu, który:

1. Porusza się z prędkością dwukrotnie większą niż w tym doświadczeniu. Oznacz ten wykres (1).
2. Porusza się z prędkością dwukrotnie mniejszą niż w tym doświadczeniu. Oznacz ten wykres (2).
3. Posiada początkowe położenie 1 m i się nie porusza przez pierwsze 10 minut. Oznacz ten wykres (3).

Dodatkowe zadania

Uczeń może rozwiązać te zadania w domu.

1. Powiedzmy, że nadal używasz ten sam samochód, którym dysponowałeś w doświadczeniu.
   a) Policz, jaka drogę pokona ten samochód, jeśli będzie w ruchu przez 10 minut?
   b) Policz, kiedy ten samochód przebędzie drogę 20 m?
2. Powiedzmy, że analizujesz następujący ruch: Samochód podobny jak w twoim doświadczeniu porusza się przez 5 minut, zatrzymuje się na 5 minut i dalej porusza się przez następne 10 minut w tym samym kierunku, w jakim się poruszał na początku.
   a) Narysuj przykładowy wykres położenia tego samochodu.
   b) Czy średnia prędkość tego ruchu się zmieni w porównaniu z tym w doświadczeniu? Jeśli tak, czy ta prędkość będzie większą czy mniejsza? Umotywuj swoją odpowiedź.
   c) Policz średnią prędkość samochodu korzystając z danych w punkcie c.

LITERATURA

[1] https://apcentral.collegeboard.org/courses/resources/ap-physics-1-and-2-inquiry-based-lab-investigations. Plik pobrano w Styczniu, 2019

[2] https://www.gov.pl/web/edukacja/realizacja-przedmiotow-ogolnoksztalcacych-ujetych-w-podstawie-programowej-w-zakresie-podstawowym-ilub-w-zakresie-rozszerzonym-w-liceum-ogolnoksztalcacym. Plik pobrano w Styczniu, 2019

[3] Sokolowski, A., and Capraro, M.M. (2013). Constructivist approach to embodying motion problems in mathematics. *Mediterranean Journal for Research in Mathematics Education,* 12,1–2, 121-133.

Sterowanie światłem ekscytonów

Naukowcy z EPFL's Laboratory of Nanoscale Electronics and Structures (LANES) stali się obecnie niekwestionowanymi liderami w dziedzinie wykorzystania ekscytonów w technice komputerowej. Przypomnijmy ekscytony to są związane pary elektron-dziura, mogące istnieć w półprzewodnikach i izolatorach. Pierwszym osiągnięciem wspomnianych naukowców było opracowanie technologii umożliwiającej sterowanie przepływem ekscytonów w temperaturze pokojowej. Teraz wykorzystując struktury dwuwymiarowe oparte o dość egzotyczne materiały (WSe_2 i $MoSe_2$) wykazali, że istnieje możliwość sterowania polaryzacją światła generowanego podczas przejść pomiędzy poziomami energetycznymi w ekscytonach. Tym samym otwarta została droga do konstrukcji nowego typu komputerów optycznych. Komputery takie byłyby nie tylko szybsze, ale też bardziej energooszczędne niż tradycyjne.

Źródło: Alberto Ciarrocchi, at al. „Polarization switching and electrical control of interlayer excitons in two-dimensional van der Waals heterostructures". Nature Photonics, 2018; DOI: 10.1038/s41566-018-0325-y

Następny krok do organicznej optoelektroniki

Materiały organiczne od dawna przyciągają uwagę zarówno naukowców jak i przedsiębiorców szukających nowych zastosowań. O ich atrakcyjności decyduje bowiem ich elastyczność. W tym przypadku słowo elastyczność możemy rozumieć podwójnie. Jedno znaczenie to znaczenie inżynieryjne, polegające na stosunkowo łatwym sterowaniu właściwościami elektrycznymi. Drugie znaczenie jest dosłowne polegające na łatwości wyginania warstw materiałów organicznych. Wszystko to stwarza możliwość szerokiego zastosowania wspomnianych materiałów między innymi w optoelektronice. Na przeszkodzie jednak staje niska wydajność konwersji światła na prąd elektryczny. To jednak powoli zaczyna się zmieniać. Naukowcy z uniwersytetu w Munster opracowali nowy materiał na bazie 2, 6-diphenylanthracene (DPA). Materiał ten wykazuje na tyle wysoki współczynnik pozwalający zamieniać światło na prąd elektryczny, że istnieje możliwość budowy opartych o niego fototranzystorów, które to urządzenia stanowić mogą podstawowy element czujników światła czy ogniw słonecznych.

Źródło: Deyang Ji, at. al. „Band-like transport in small-molecule thin films toward high mobility and ultrahigh detectivity phototransistor arrays". Nature Communications, 2019; 10 (1) DOI: 10.1038/s41467-018-07943-y

eprasa.pl 452d4c7cfd

Lekcje poświęcone rozwiązywaniu zadań z fizyki w szkole podstawowej

Czesław **Surowiec**

Celem artykułu jest podzielenie się wiedzą dotyczącą uczenia umiejętności rozwiązywania zadań fizycznych w szkole podstawowej w oparciu o dostępne opracowania metodyczne i własne doświadczenia. Ucząc fizyki w LO w Dębicy prowadziłem zajęcia kółka fizycznego dla uczniów startujących w Olimpiadzie Fizycznej, na które również uczęszczali uczniowie Szkoły Podstawowej Nr 2 w Dębicy, co było wynikiem współpracy z nauczycielem fizyki w tej szkole. W roku 1979 jeden z uczniów tej szkoły podstawowej zakwalifikował się do Olimpiady Fizycznej co było sensacją w skali krajowej.

Pracując jako konsultant ds. innowacji pedagogicznych w ODN w Tarnowie, oprócz opracowań teoretycznych opracowałem autorski program z fizyki dla kl. VII i VIII w SP nr 9 w Dębicy, który również realizowałem od roku 1993. Już w klasie VII trzej uczniowie tej klasy byli laureatami konkursów przedmiotowych z fizyki, matematyki i geografii. W klasie VIII na 18 uczniów tej klasy 15-tu zakwalifikowało się do finału konkursów a 10-ciu zostało laureatami (3 z fizyki, 3 z chemii, 1 z geografii). Dwaj uczniowie z tej klasy zajęli pierwsze (3) j drugie miejsce(2) w ilości wygranych konkursów przedmiotowych w województwie tarnowskim.

Opracowałem również program autorski z fizyki dla tej klasy w liceum, którego realizacja pozwoliła 5-cio osobowej drużynie w klasie I LO zająć w finale Turnieju Młodych Fizyków IV miejsce mimo, że rywalizowali z drużynami złożonymi z uczniów klas maturalnych, a w klasie III zajęli 3 miejsce w finale. Uczestnicy turnieju odnieśli również sukcesy w innych przedmiotach. Kapitan drużyny został laureatem krajowej Olimpiady geograficznej zajmując w finale I miejsce, oraz zdobył złoty medal II Międzynarodowej Olimpiadzie Geograficznej w Lizbonie oraz został laureatem zajmując III miejsce w Olimpiadzie Nautologicznej. Drugi z uczestników turnieju zajął III miejsce w finale krajowej Olimpiady Informatycznej oraz reprezentował Polskę na V Bałtyckiej Olimpiadzie Informatycznej. Chciałbym, aby te przykłady osiągnięć uczniów zachęciły nauczycieli fizyki do zwiększenia wysiłku w pracy z uczniami zdolnymi począwszy od szkoły podstawowej i kontynuowanie jej w liceum, oraz opracowywania i realizowania programów autorskich z fizyki.

1. Zadania fizyczne, ich podział i korzyści płynące z rozwiązywania zadań fizycznych. Zadania fizyczne w szkole podstawowej stanowią zazwyczaj niezbyt trudny problem, możliwy do rozwiązania za pomocą:

a) logicznego myślenia,
b) działań matematycznych,
c) sporządzenia rysunku lub wykresu,
d) doświadczalnie.

Ze względu na wymienione sposoby rozwiązywania można je podzielić na następujące rodzaje: a) jakościowe, b) obliczeniowe, c) graficzne, d) doświadczalne W każdym z wymienionych rodzajów zadań mogą się pojawić pozostałe sposoby rozwiązywania odgrywając rolę pomocniczą. Niemożliwe jest opracowanie zasad rozwiązywania zadań fizycznych, które obowiązywałyby do wszystkich ich rodzajów. Próbą opracowania schematu rozwiązywania zadań obliczeniowych jest mój artykuł w „Fizyce w Szkole" nr 6 z roku 1972, który nie stracił zbytnio na aktualności i jego stosowanie pozwoliło mi osiągnąć opisane wyniki. Wśród najważniejszych korzyści wynikających z rozwiązywania zadań fizycznych należy wymienić:

a) sprawdzają stopień zrozumienia wiedzy fizycznej i umiejętność praktycznego jej zastosowania,
b) sprawdzają umiejętność dokładnego analizowania treści fizycznej zadania,
c) sprawdzają prawidłowość zastosowania praw fizycznych.

Opanowanie wymienionych umiejętności niezbędnych do prawidłowego rozwiązywania zadań wymaga od uczniów i uczącego systematycznych i dobrze zaplanowanych działań, które chciałbym omówić.

2. Przygotowanie do pierwszej lekcji poświęconej rozwiązywaniu zadań

Planując pierwszą lekcję poświęconą rozwiązywaniu zadań należy:

a) Omówić wcześniej lub na tej lekcji zagadnienia wymienione w punkcie 1 w sposób przystępny i zrozumiały dla uczniów.
b) Określić cel lekcji np. utrwalenie i pogłębienie przerobionego materiału, sprawdzenie wiadomości itp. Wpływa to na przygotowanie nauczyciela do lekcji i realizację jej celów. Na przebieg lekcji ma również duży wpływ przygotowanie uczniów do lekcji, polegające na powtórzeniu materiału z zakresu którego będą rozwiązywane zadania na lekcji. Możemy również polecić uczniom opracowanie: jakiegoś zagadnienia teoretycznego, zapoznanie się ze zjawiskiem, urządzeniem itp. w zależności od doboru rodzaju zadań jakie będziemy rozwiązywać na lekcji. Pozwoli to nam właściwie wykorzystać czas lekcji.

3. Pierwsza lekcja poświęcona rozwiązywaniu zadań.

Uczniom posiadającym podstawową wiedzę o zadaniach i korzyściach wynikających z ich rozwiązywania powinniśmy przekazać sposób postępowania, który ułatwi im rozwiązywanie zadań na który składa się:

a) Upewnienie się czy uczniowie właściwie rozumieją treść zadania, a jeśli sytuacja wymaga tego wyjaśniamy sens słów budzących wątpliwości zwracając uwagę na różnicę między znaczeniem w fizyce i w życiu co-

eprasa.pl 452d4c7cfd

dziennym. Jeśli zadajemy zadanie domowe, polecamy uczniom w razie wątpliwości w rozumieniu treści zadania skorzystanie z dostępnych źródeł informacji (encyklopedii, słowników, internetu itp.)

b) Przypomnienie w sposób bardzo zwięzły wiadomości związanych z rozwiązywaniem zadania (wielkości, prawa, zjawiska, przyrządy itp.), co ułatwi nam rozwiązanie zadania i skróci czas jego rozwiązywania.

c) Po sprawdzeniu czy treść zadania jest zrozumiała i jednoznaczna i przypomnieniu wiadomości związanych z jego treścią, ustalamy do jakiego rodzaju należy rozwiązywane zadanie i możemy się wówczas posłużyć zasadami (schematami) jakie należy przestrzegać przy jego rozwiązywaniu. Propozycję takich zasad w następnym opracowaniu.

d) Dobór zadań do możliwości uczniów, polegający na tym, że stopień trudności zadań dobieramy do poziomu klasy. Pierwsze zadanie rozwiązuje nauczyciel, omawiając dokładnie jego przebieg i wyjaśniając wątpliwości jakie mogą się pojawić przy jego rozwiązywaniu, apelując do uczniów o zgłaszanie pytań i wszelkiego rodzaju wątpliwości. Pozwoli to nauczycielowi stwierdzić jakie trudności napotykają uczniowie rozwiązując zadania. Sprawdzenie wyniku otrzymanego rozwiązania, jednym lub kilkoma sposobami zalecanymi dla poszczególnych rodzajów zadań.

4. Następne lekcje poświęcone rozwiązywaniu zadań.

Na lekcjach poświęconych rozwiązywaniu zadań stosujemy dwie formy organizacyjne pracy klasy:

a) Rozwiązywanie zadań przez samego nauczyciela, lub przez uczniów pod kierunkiem nauczyciela (praca zbiorowa).

b) Samodzielne rozwiązywanie zadań przez ucznia (praca indywidualna).

Pierwszą formę stosujemy, jeśli zaczynamy uczyć rozwiązywania zadań lub uczymy rozwiązywania nowego rodzaju zadań. Drugą formę stosujemy w celu wyrobienia praktycznych umiejętności i nawyków oraz kontrolowania postępów czynionych przez uczniów. Podczas pracy zespołowej jeśli do rozwiązania zadania wybieramy ucznia, powinniśmy wybrać ucznia średniego, gdyż rozwiązanie zadania przez ucznia dobrego może być niezrozumiałe dla ucznia słabego, a rozwiązanie przez ucznia słabego może być zbyt czasochłonne. Podczas rozwiązywania zadania przez ucznia , średniego mogą się pojawić problemy, które zainteresują ucznia dobrego i zmobilizują go do pracy z całą klasą. Powinniśmy pracować również z uczniami słabymi dobrymi dobierając zadania stosownie do ich możliwości.

5. Sposoby aktywizowania zdolności poznawczych wszystkich uczniów podczas rozwiązywania zadań.

Aby uniknąć pasywnego wysłuchiwania wyjaśnień nauczyciela i odpowiedzi uczniów podczas rozwiązywania zadań należy aktywizować zdolności poznawcze wszystkich uczniów przez:

a) Właściwy dobór zadań, dla których łatwo jest wyjaśnić cel rozwiązywania zadań i konieczność uczenia się materiału związanego z nim.

b) Stosowanie pomocy naukowych i doświadczeń w celu ułatwienia zrozumienia treści zadania lub aby uzyskać dodatkowe informacje do jego rozwiązania.

c) Prawidłowe połączenie pracy zespołowej w klasie i samodzielnej pracy ucznia. Podczas pracy zespołowej mimo pytań zadawanych klasie aktywność uczniów może być niska, jeśli nie rozumieją dobrze treści zadania lub liczą na przepisanie rozwiązanie zadania. Możemy temu zapobiec, dając im po zapoznaniu się z treścią zadania kilka minut na zastanowienie się i pytania dotyczące rozumienia treści zadania, a potem dopiero prowadzić rozwiązywanie z całą klasą. Jeśli uczniowie rozwiązali zadanie samodzielnie należy im wystawić oceny, co zachęci do pracy całą klasę.

d) Uczniowie szkoły podstawowej są dziećmi i uwzględniając ten fakt powinniśmy wykorzystywać zadania w postaci łamigłówek i paradoksów, które będą budzić duże ich zainteresowanie i stanowić urozmaicenie lekcji.

e) Wymaganie od uczniów poprawiania i uzupełniania odpowiedzi dotyczących rozwiązania zadania, oraz umożliwienie zadawania pytań rozwiązującemu zadanie. Wymaga to od uczniów uważnego śledzenia przebiegu rozwiązania zadania i w razie wątpliwości co do jego przebiegu zgłaszanie uwag. Uczeń słabszy ma okazję do uzyskania wyjaśnień, które pozwolą mu pokonać trudności napotykane przy rozwiązywaniu zadań.

f) Wysuwanie hipotez i przypuszczeń, które mogą przeczyć sobie ma na celu zainteresowanie uczniów zdolnych rozwiązywaniem tego rodzaju zadań i nauczyć ich dostrzegana różnych przejawów zjawiska.

Ciemna materia w kryształach?

Międzynarodowy zespół naukowców – pod kierunkiem Andrzeja Drukiera z Uniwersytetu Sztokholmskiego – proponuje nowy, nieszablonowy sposób szukania ciemnej materii. Zamiast wypatrywać zachodzących „tu i teraz" zderzeń ciemnej materii z materią – wskazują oni, że ślady po takich wydarzeniach mogą być zapisane w materiale geologicznym. Okazuje się bowiem, że w strukturze kryształów – nawet sprzed setek milionów lat – przetrwać mogą ślady po gwałtownych zderzeniach cząstek. A może tam uda się znaleźć dowody na przejście ciemnej materii. Dwie publikacje na ten temat opublikowano ostatnio w Physical Review D https://doi.org/10.1103/PhysRevD.99.043541 https://doi.org/10.1103/PhysRevD.99.043014

Współautorem tych publikacji jest dr Maciej Górski z Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku. W rozmowie z PAP fizyk tłumaczy: „jeżeli dojdzie do oddziaływania elastycznego, cząstki ciemnej materii z jądrem atomu w minerale, takie jądro może zacząć się w minerale poruszać i uszkodzi strukturę krystaliczną". W ten sposób w strukturze kryształu – wewnątrz jego objętości – pozostanie defekt, który nie zniknie nawet i po miliardach lat. Takie tuneliki w kryształach byłyby wprawdzie maleńkie – rzędu ułamków mikrometrów – ale badacze zakładają, że da się je zaobserwować. Należy w tym celu pociąć minerał na cieniutkie warstewki i trawić je odpowiednimi czynnikami chemicznymi, które wyraźniej wskażą miejsce defektu.

Źródło – PAP, Nauka w Polsce

eprasa.pl 452d4c7cfd

Niezwykle prosta kolejka elektryczna

Dziś już rzadko można zobaczyć fascynujące zabawki, którymi przed laty były miniaturowe kolejki elektryczne, jeżdżące po torze w kształcie okręgu. Celem tego artykułu jest przedstawienie opisu interesującego doświadczenia, przypominającego właśnie taką kolejkę. Będzie to niezwykle prosta kolejka, składająca się zaledwie z kilku łatwo dostępnych i tanich elementów.

Stanisław **Bednarek**

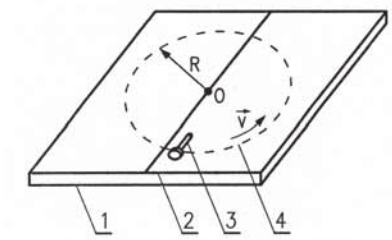
Nauczyciele systematycznie czytający „Fizykę w Szkole” pamiętają być może artykuł sprzed kilku lat, również dotyczący kolejki elektrycznej [1]. Obie kolejki istotnie różnią się od siebie. Wcześniej opisana kolejka poruszała się wewnątrz spirali ruchem posuwistym i czasem zatrzymywała między jej zwojami. Kolejka opisana w tym artykule nie ma wspomnianej wady i porusza się ruchem tocznym po płycie częściowo oklejonej folią aluminiową. Ponadto jest łatwiejsza do wykonania, gdyż nie wymaga pracochłonnego nawijania równo wielu zwojów spirali z miedzianego drutu i usuwania z niego izolacji. Folia aluminiowa jest też łatwiej dostępna niż drut miedziany.

1. Budowa kolejki

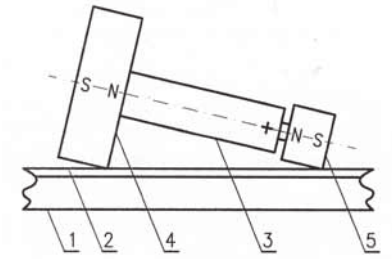
Schemat układu doświadczalnego przedstawia rys. 1. Kolejka porusza się po kwadratowej płycie 1. Długość boku płyty wykosi ok. 60-70 cm. Element ten został wykonany z materiału elektroizolacyjnego, np. z płyty spilśnionej albo z twardej tektury. Połowa powierzchni tej płyty oklejona jest folią aluminiową 2, przewodzącą prąd elektryczny. Do oklejenia płyty bardzo dobrze nadaje się folia aluminiowa, używana do pakowania produktów spożywczych i sprzedawana w rolkach o szerokości ok. 20 cm w cenie kilku zł. Folię przyklejamy do płyty wodoodpornym klejem, np. butaprenem. Przyklejając folię należy zwrócić uwagę na to, żeby jej powierzchnia była gładka i bez zmarszczek. Brzegi sąsiednich pasów foli powinny być ułożone równo jeden obok drugiego i stykać się ze sobą, ale nie zachodzić na siebie. Do oklejenia płyty można też wykorzystać aluminiową taśmę samoprzylepną, przeznaczoną do uszczelnień i dostępną w sklepach z materiałami budowlanymi. Po płycie porusza się element, który dla uproszczenia dalszych rozważań będziemy nazywali umownie „wagonikiem”.

Szczegóły budowy wagonika zostały pokazane na rys. 2. Składa się on z walcowej baterii typu „paluszek” 3 oraz przyłożonych do niej dwóch, również walcowych, magnesów neodymowych 4,5 o różnych średnicach, namagnesowanych w kierunku osiowym. Magnesy utrzymują się na przeciwległych końcach baterii dzięki siłom ich przyciągania do stalowej obudowy baterii. Bardzo ważne jest, żeby magnesy zwrócone były do baterii biegunami jednoimiennymi – w przeciwnym przypadku kolejka nie będzie działać. Ponadto, magnesy i bateria muszą tworzyć z baterią układ współosiowy.

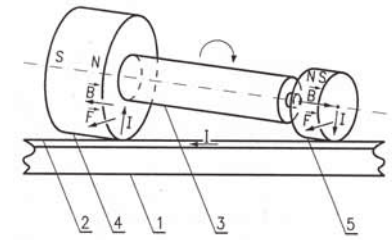
Średnica mniejszego magnesu 5 musi być większa od średnicy baterii, natomiast średnice obu magnesów powinny być tak dobrane, żeby ich krawędzie dotykały do powierzchni folii. Ma to na celu zapewnienie dobrego kontaktu, niezbędnego do przepływu prądu elektrycznego. Odpowiednie do tego celu magnesy neodymowe można kupić w sklepach z artykułami elektronicznymi – są one często używane do przytrzymywania kartek na tablicach magnetycznych. Ponieważ działanie kolejki wymaga przepływu prądu elektrycznego o natężeniu kilku amperów, to bateria powinna być alkaliczna, najlepiej wcześniej nieużywana. Do zestawienia wagonika nadają się baterie nazywane potocznie zarówno jako mały lub duży paluszek. W przypadku użycia baterii typu duży paluszek, należy



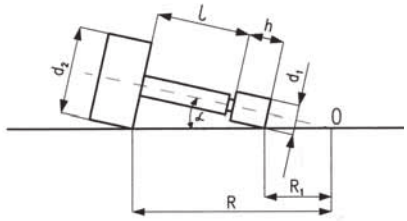
Rys. 1. Ogólny widok układu doświadczalnego; 1 – płyta z materiału elektroizolacyjnego, 2 – folia aluminiowa, 3 – wagonik, 4 – tor ruchu wagonika. R – promień toru ruchu wagonika (promień toru większego magnesu), v – prędkość wagonika, O – środek toru.



Rys. 2. Budowa wagonika; 1 – płyta z materiału elektroizolacyjnego, 2 – folia aluminiowa, 3 – bateria alkaliczna, tzw. „paluszek”, 4, 5 – walcowe magnesy neodymowe, N, S – bieguny magnesów, + – dodatni biegun baterii.



Rys. 3. Siły działające na wagonik; B – indukcja pola magnetycznego I – natężenie prądu F – siła elektrodynamiczna, pozostałe symbole mają takie samo znaczenie, jak na rys. 2.



Rys. 4. Schemat do obliczania promienia toru ruchu wagonika; l – długość baterii, d1, d2 – średnice magnesów, odpowiednio mniejszego i większego, h – wysokość mniejszego magnesu, R – promień toru ruchu większego magnesu, R1 – promień toru ruchu mniejszego magnesu, α – kąt nachylenia osi wagonika do poziomu, O – środek toru.

eprasa.pl 452d4c7cfd

dobrać magnesy neodymowe o odpowiednio większych średnicach. Baterie można też zastąpić walcowym akumulatorem listowo-jonowym o małej długości.

W celu uruchomienia kolejki wagonik układamy na folii aluminiowej, równolegle do jej krawędzi w miejscu znajdującym się w pobliżu krawędzi folii i brzegu płyty, podobnie jak na rys. 1. Wagonik powinien zacząć toczyć się w kierunku od krawędzi folii po łuku. Gdyby ruch wagonika odbywał się w kierunku odwrotnym, to należy położyć go symetrycznie, ale po przeciwnej stronie płyty. Po zatoczeniu półokręgu wagonik powinien trafić na część płyty nie oklejoną folią i dalej poruszać się po półokręgu. Następnie wagonik winien trafić na to samo miejsce, w którym został położony i kontynuować ruch w poprzednio opisany sposób.

Gdyby wagonik zatrzymywał się należy sprawdzić współosiowość baterii i magnesów, poziome ułożenie płyty, albo wyrównać ewentualne nierówności na folii. Jeżeli tor wagonika nie mieści się na płycie, wówczas należy dobrać magnesy o większej różnicy średnic. Może się też zdarzyć, że wagonik zatrzyma się na nie oklejonej części płyty. Wtedy niezbędne jest użycie baterii alkalicznej, przeznaczonej do zasilania urządzeń elektrycznych o większym poborze mocy, czyli zapewniającej większe natężenie prądu. Istotne znaczenie dla prawidłowego ruchu wagonika ma też czysta powierzchnia folii i gładkość powierzchni nieoklejonej części płyty. Ponieważ folia aluminiowa w powietrzu szybko pokrywa się izolacyjną warstewką tlenku, więc po dłuższym nieużywaniu kolejki wskazane jest ostrożne przetarcie folii bardzo drobnym papierem ściernym.

2. Jak to działa?

Przejdźmy teraz do wyjaśnienia zasady działania kolejki. Zasada ta jest podobna, jak w przypadku znanego z literatury i często pokazywanego silnika unipolarnego, w którym prąd elektryczny przepływa radialnie przez walcowy magnes [2-4]. Zgodnie z rys. 3, w wagoniku kolejki przepływa prąd elektryczny. Jego źródło stanowi walcowa bateria. Umowy kierunek przepływu prądu jest od dodatniego bieguna baterii 3, przez przylegający do niego mniejszy magnes 5, do fragmentu folii aluminiowej 2, znajdującej się pod wagonikiem i dalej przez większy magnes 4, do ujemnego bieguna baterii. Przepływ prądu w obu magnesach 4, 5 odbywa się w kierunku radialnym.

Fot. 1. Przykład zbudowanego modelu kolejki.

Fot. 2. Wagonik zawierający baterię alkaliczną typu „paluszek".

Fot. 3. Wagonik z walcowym akumulatorem litowo-jonowym.

Wspomniany przepływ zachodzi w polu magnetycznym, wytwarzanym przez te magnesy. Wektor indukcji magnetycznej **B**, tego pola jest skierowany prostopadle do kierunku przepływu prądu. Skutkiem tego na każdy z magnesów 4, 5 działa siła elektrodynamiczna **F**, skierowana stycznie do ich powierzchni. Momenty tych sił względem punktów styku magnesów z folią 2, powodują toczenie się wagonika.

W ogólnym przypadku wartości wektorów indukcji magnetycznej B w obu magnesach mogą być różne i zależą one m.in. od materiału, z którego wykonane są magnesy oraz stosunku ich średnic do wysokości. Dla uproszczenia rozważań założono, że są one równe. Magnesy neodymowe produkowane są ze sprasowanych i spieczonych proszków żelaza, neodymu i boru, tzw. spieku żelazo-neodym-bor, który ma wysoką oporność właściwą. Z tego powodu przepływ prądu odbywa się praktycznie po powierzchni magnesów pokrytych dobrze przewodzącą, ochronną warstwą niklu. Nie zmienia to jednak w zasadniczy sposób sytuacji, ponieważ warstwa ta też znajduje się w polu magnetycznym, wytwarzanym przez magnesy, podobnie jak ich wnętrze. Warto zauważyć, że występuje tu interesujący przypadek, oddziaływania prądu elektrycznego, płynącego przez magnes z jego własnym polem magnetycznym i skutkiem tego oddziaływania jest ruchu magnesu. Ten efekt został wykryty już przez Faradaya i wciąż jest przedmiotem dyskusji [5, 6].

3. Promień toru

Przeprowadźmy jeszcze krótkie rozważania geometryczne, które pozwolą obliczyć promień toru większego magnesu R w zależności od rozmiarów elementów użytych do budowy wagonika. Korzystając z rys. 4 możemy napisać następujące równania:

eprasa.pl 452d4c7cfd

$$\sin\alpha = \frac{r_1}{R} \quad (1),$$

$$\sin\alpha = \frac{r_2}{R_1} \quad (2),$$

w których r_1, r_2 oznaczają promienie, odpowiednio większego i mniejszego magnesu.

Stosując twierdzenie Pitagorasa otrzymujemy

$$r_2^2 + (l+h)^2 = (R - R_1)^2 \quad (3).$$

Ze wzorów (1) i (2) wyprowadza się zależność

$$R_1 = R\frac{r_1}{r_2} \quad (4).$$

Po podstawieniu wzoru (4) do równania (2), uwzględnieniu związków $d_1 = 2r_1$ oraz $d_2 = 2r_2$i przekształceniu, otrzymuje się, następujący wzór na promień R

$$R = \frac{d_2\sqrt{4(l+h)^2 + d_2^2}}{2(d_2 - d_1)} \quad (5).$$

Ze wzoru (5) wynikają praktyczne wnioski. Jeżeli chcemy, żeby nasza kolejka poruszała się po możliwie małej podstawie, czyli promień toru R był niewielki, to powinniśmy użyć magnesów 4, 5 o dużej różnicy średnic d_2, d_1 oraz baterii 3 i mniejszego magnesu 5 o małych długościach l i h. Jeden z tych warunków można spełnić stosując krótki akumulator litowo-jonowy zamiast baterii typu paluszek. Ponieważ prąd płynący przez wagonik kolejki wynosi kilka amperów i baterie dość szybko się rozładowują, to dodatkową korzyścią z zastosowania akumulatora będzie możliwość jego wielokrotnego użycia i obniżenie kosztów eksploatacji kolejki.

Na zakończenie oczywista, choć ważna uwaga. Wagonik naszej kolejki jest napędzany tylko podczas ruchu po połowie podstawy 1, oklejonej folią aluminiową 2. Podczas ruchu po drugiej połowie podstawy wagonik jest hamowany przez siły oporu – tarcie o postawę, opór powietrza i siły elektrodynamiczne, indukowane w folii. Jest to istotna różnica między opisanym tutaj doświadczeniem, a podobnymi doświadczeniami, znanymi z filmów, zamieszczonych w Internecie. Żeby wagonik mógł zatoczyć efektowny okrąg musi mieć dostatecznie dużą energię kinetyczną w chwili opuszczania połowy podstawy oklejonej folią.

Jak to często bywa, do zbudowania tej odmiany kolejki przyczynił się przypadek. Podczas warsztatów z uczniami miała być zbudowana kolejka, poruszająca się po płycie całkowicie oklejonej folią aluminiową. Z powodu chwilowego braku folii używanej do pakowania produktów spożywczych i chęci ułatwienia sobie pracy, zastosowano samoprzylepną taśmę z folii aluminiowej o większej grubości, używaną do uszczelnień. Z wcześniejszych doświadczeń było wiadomo, że na grubej folii lub blasze kolejka porusza się znacznie wolniej, albo w ogóle nie działa. Po oklejeniu połowy powierzchni płyty postanowiono więc sprawdzić, jak zachowa się wagonik. I wtedy okazało się, że zatoczył on pełny okrąg.

Stanisław Bednarek

LITERATURA

[1] S. Bednarek, Magnetyczna kolejka tunelowa, Fizyka w Szkole z Astronomią, Czasopismo dla Nauczycieli, Nr 6 (340), Rocz. LX, s. 29-31 (2015).

[2] H. J. Schlichting, C. Ucke 2004 Der einfachste Electromotor der Welt: Spielweise Physik in unserer Zeitschrift, vol. 35, p. 272-273 (2004).

[3] S. Bednarek, Niezwykłe silniki homopolarne, „Fizyka w Szkole z Astronomią, Czasopismo dla Nauczycieli", nr 3 (338), rocz. LX, s. 12-15 (2015).

[4] K. Gibbs, The Resourceful Physics Teacher, 600 Ideas for Creative Teaching, Institute of Physics Publishing, Bristol, p. 190 (1999).

[5] M. J. Crooks, D. B. Litvin, P. W. Matthews, R. Macaulay, J. Shaw, One-piece Faraday generator: A paradoxical experiment from 1851, American Journal of Physics, vol. 47, no 7, 729-731 (1978).

[6] F. J. Müller, Unipolar Induction Revisited: New Experiments and the „Edge Effect" Theory, IEEE Transactions on Magnetic, vol. 50, no 1 (2014), DOI: 10.1109/TMAG.2013.2282133.

Grafen i superkondensatory

Dziś większość urządzeń elektrycznych zasilanych jest z baterii. A właściwie dlaczego do tego celu nie używać kondensatorów? Odpowiedź jest następująca. Aby kondensator mógł dostarczyć przez odpowiednio długi czas odpowiednio duży prąd należałoby naładować go do odpowiednio wysokich napięć, co przy zastosowaniu klasycznych materiałów skutkuje przebiciem i zniszczeniem kondensatora. Jednak, jak ostatnio w wielu przypadkach, z pomocą może tu przyjść grafen. Otóż międzynarodowa grupa naukowców pod przewodnictwem Japończyków opracowała specjalny materiał będący tak naprawdę gąbką grafenową, który jest niezwykle odporny na przebicie. Dzięki temu podstawowy problem konstrukcji superkondensatorów został rozwiązany.

Superkondensatory są coraz częściej stosowane równolegle z innymi źródłami energii (np. ogniwami paliwowymi) w celu krótkotrwałego dostarczania mocy szczytowej, co pozwala na znaczne zmniejszenie rozmiarów całego układu. Próby z takimi rozwiązaniami przeprowadzane są m.in. w prototypach samochodów hybrydowych, pojazdów elektrycznych, do wspomagania zasilania robotów, magazynowania elektrycznej energii odnawialnej, również jako źródła zasilania ciągłego w urządzeniach o niewielkiej mocy: pamięciach komputerowych, elektrycznych szczoteczkach do zębów, systemach zasilania gwarantowanego tzw. UPS-ach i w transporcie w tzw. układzie KERS, czyli procesie hamowania rekuperacyjnego – odbierają do przechowania energię pozyskaną podczas hamowania.

Źródło: Keita Nomura, at al. 4.4 V supercapacitors based on super-stable mesoporous carbon sheet made of edge-free graphene walls. Energy & Environmental Science, 2019; DOI: 10.1039/C8EE03184C

eprasa.pl 452d4c7cfd

ENERGYLANDIA

WYCIECZKA SZKOLNA

Energylandia to najnowocześniejszy Park Rozrywki w Polsce znajdujący się w miejscowości Zator, w województwie małopolskim. Jego powierzchnia to 26 hektarów. Znajdziemy tu aż 70 atrakcji zlokalizowanych w 4 strefach. Jeden bilet do tego wspaniałego miejsca daje możliwość nielimitowanej zabawy przez cały dzień.

PROSTA ORGANIZACJA

Jeden bilet upoważnia do skorzystania ze wszystkich atrakcji bez ograniczeń przez cały dzień. Uczniowie w ramach biletu otrzymają także wejście do strefy Water Park i Tropical Fun oraz bezpłatny poczęstunek, zaś opiekunowie za bilet wstępu zapłacą symboliczne 1 zł. Parking dla autokarów jest bezpłatny, a rezerwacje wycieczki- można dokonać telefonicznie.

BEZPIECZEŃSTWO

Mimo wielu hektarów ENERGYALANDIA to najbezpieczniejsze miejsce na wycieczkę szkolną. Cały obiekt jest zamknięty, a dzieci mogą opuścić go tylko w towarzystwie opiekuna. Dzieci, które nie osiągnęły wzrostu i wieku wymaganego regulaminem atrakcji, nie zostaną na nią wpuszczone. Dlatego nauczyciele i opiekunowie mogą być spokojni o ich bezpieczeństwo nawet w czasie wolnym. Park stosuje najwyższe normy bezpieczeństwa. Wyspecjalizowana i przeszkolona kadra dba o najwyższą jakość świadczonych usług. Warto dodać że wszystkie atrakcje są zupełnie nowe i posiadają stosowne atesty, dzięki czemu wyróżniają się najwyższymi standardami i normami bezpieczeństwa.

ZABAWA DLA WSZYSTKICH

Atrakcje dostosowane są do wszystkich grup wiekowych, począwszy od najmłodszych przedszkolaków, do których dyspozycji jest piękna strefa Bajkolandia. Uczniów szkół podstawowych zachwyci strefa Familijna z ogromną ilością atrakcji wodnych i interaktywnych, a dla nieco starszej młodzieży gimnazjalnej i licealnej mocne wrażenia i doskonałą zabawę zapewnią najnowocześniejsze Roller Coastery w strefie Ekstremalnej.

Dla wszystkich dostępna jest również strefa wodna Water Park i Tropical Fun oraz niezwykle ciekawe widowiska, musicale i pokazy edukacyjne.

POKAZY

Poza atrakcjami w Parku Rozrywki zobaczyć można spektakularne pokazy kaskaderskie przy użyciu sportowych samochodów, motocykli jak i rowerów BMX w wydzielonej strefie Extreme. Na najmłodszych czekają teatrzyki, znów dla młodzieży i całych rodzin Park przygotował musicale, gdzie na deskach aż 4 scen widowiskowych w teatrach i amfiteatrach występują wspaniali tancerze, akrobaci oraz cyrkowcy prezentujący także piorunujące show z użyciem ognia i pirotechniki. Głodni wrażeń mogą odwiedzić Planetarium, w którym obejrzą audiowizualne pokazy w technologii 3D o różnej tematyce.

WATER PARK

Ogromny odkryty park wodny z kilkunastoma zjeżdżalniami i atrakcjami dla każdej grupy wiekowej da ochłodę w upalne dni.

Nad bezpieczeństwem uczniów czuwają tam wyspecjalizowani ratownicy.
Dla lubiących odpoczynek Park oferuje bezpłatne parasole i leżaki.

INFORMACJE PRAKTYCZNE

Park Rozrywki Energylandia, Aleja 3 Maja 2, 32 - 640 Zator
Więcej informacji: 33/486-15-00, grupy@energylandia.pl

WWW.ENERGYLANDIA.PL

eprasa.pl 452d4c7cfd

Słońce
– nasza dzienna gwiazda
cz. 1

Układ Słoneczny tworzą Słońce, planety i inne mniejsze ciała niebieskie, które poruszają się pod wpływem siły grawitacji wokół wspólnego środka masy układu. W skład Układu Słonecznego wchodzi także materia międzyplanetarna, na którą składają się gazy (wodór i hel) oraz pył międzyplanetarny.

Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski

W centralnej części Układu Słonecznego znajduje się Słońce – jest ono niezbyt masywną, spokojną, typową gwiazdą krążącą w odległości około 8,5 kpc (kiloparseków, 1 kpc = $3{,}09 \cdot 10^{16}$km) od środka galaktyki Drogi Mlecznej – typowej galaktyki spiralnej, zawierającej oprócz Słońca ponad $2 \cdot 10^{11}$ innych gwiazd oraz międzygwiazdowy ośrodek gazowo-pyłowy.

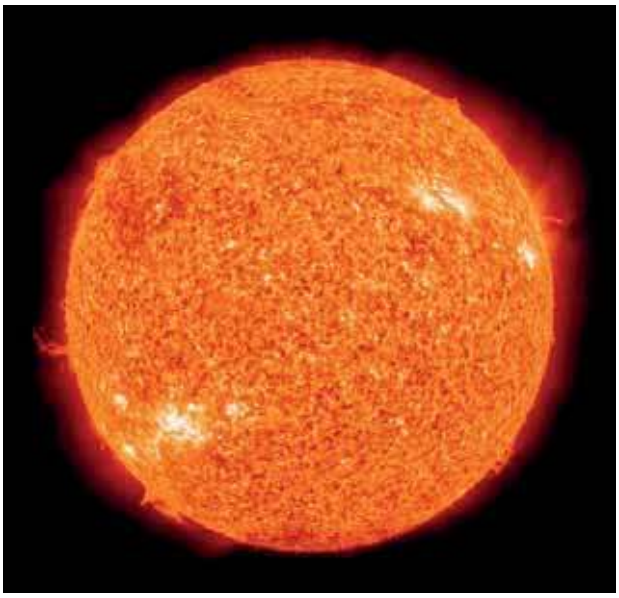


Foto. 1. Fotografia tarczy Słońca (Foto. NASA).

Słońce jest gwiazdą ciągu głównego o jasności absolutnej $4^m{,}84$ (jasność obserwowana $-26^m{,}7$), typu widmowego G2V. Nasza dzienna gwiazda jest ciałem gazowym o kształcie prawie kulistym. Składa się w większości z wodoru (72,7% masy), helu (26,2%), zawiera także śladowe ilości następujących pierwiastków: tlenu (0,7%), węgla (0,3%), azotu (0,1%). Na Słońcu wykryto większość pierwiastków występujących na Ziemi, wśród nich: magnez, krzem, siarkę, żelazo, wapń, nikiel, sód i glin.

Słońce to najbliższa Ziemi gwiazda i jedyna, na której możemy bezpośrednio obserwować szczegóły powierzchniowe (plamy słoneczne, protuberancje oraz pochodnie). Słońce jest olbrzymią kulą gazową o promieniu $R_O = 696 \cdot 10^6$ m i masie $M_O = 1.989 \cdot 10^{30}$ kg $\approx 2 \cdot 10^{30}$ kg co sprawia, że jego średnia gęstość wynosi $\rho_o = 1{,}41 \cdot 10^3$ kgm^{-3}.

Odległość Słońca od Ziemi zmienia się w granicach od $1{,}471 \cdot 10^{11}$ m w styczniu do $1{,}521 \cdot 10^{11}$ m w lipcu. Średnia odległość układu Ziemia – Słońce określana jest mianem jednostki astronomicznej (1 au), która wynosi $1{,}496 \cdot 10^{11}$ m.

Temperatura efektywna widocznej powierzchni Słońca – fotosfery – wynosi około 5785 K, a całkowita moc promieniowania Słońca jest równa $L_o = 3{,}86 \cdot 10^{26}$ W. Słońce wiruje wokół swej osi przechodzącej przez środek jego masy, która jest nachylona do płaszczyzny ekliptyki pod kątem 82°45'.

Jest rzeczą charakterystyczną, że Słońce nie wiruje jak bryła sztywna – materia słoneczna w pobliżu równika słonecznego (strefa równikowa) wiruje z okresem około 25 dni, a czas rotacji strefy biegunowej wynosi 31 dni. Dodat-

eprasa.pl 452d4c7cfd

kowo warto zaznaczyć, że mimo olbrzymiej swojej masy Słońce przez astronomów określane jest mianem żółtego karła – żółty ze względy na kolor tarczy Słońca, a karzeł – bo jest ono obiektem relatywnie małym jak na gwiazdę. Warto w tym miejscu sprostować pewien wspomniany już fakt, który związany jest z barwą Słońca. Otóż kolor żółty jaki obserwujemy na naszym niebie związany jest z rozpraszaniem w naszej atmosferze padającego światła słonecznego. Rzeczywisty kolor Słońca bezpośrednio związany jest z temperaturą jego powierzchni (fotosfery T=5785 K). Na podstawie temperatury powierzchni Słońca określamy jego rzeczywistą barwę (w kosmosie) jako „białą" (zimno-białą).

W widmie słonecznym obserwowane są również pasma absorpcyjne niektórych prostych molekuł (OH, NH, O_2, CN, CH, CO). Energia nieustannie wypromieniowywana z powierzchni Słońca jest wytwarzana w reakcjach syntezy jądrowej zachodzących w jądrze Słońca, gdyż tylko tam materia słoneczna znajduje się w dostatecznie wysokiej temperaturze koniecznej, aby takie reakcje mogły mieć miejsce.

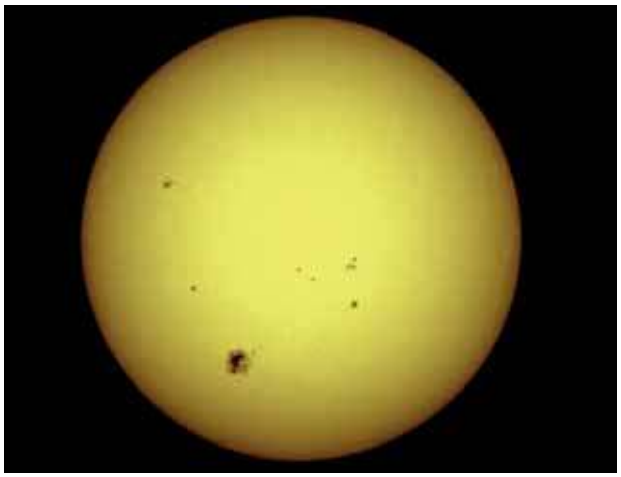
Istota reakcji termojądrowych zachodzących w centralnych obszarach Słońca polega na przemianie czterech jąder wodoru – protonów w jedno jądro helu – cząstkę α. Cztery protony mają jednak nieco większą masę spoczynkową niż cząstka α, dlatego różnica tych mas Δm jest zamieniana na energię E, zgodnie ze słynnym wzorem Einsteina $E = \Delta mc^2$, gdzie c oznacza prędkość światła. Różnicy Δm między masą spoczynkową czterech protonów i masą spoczynkową cząstki α odpowiada energia około 27 MeV. Proces jądrowy o takiej wydajności może podtrzymywać promieniowanie Słońca przez bardzo długi okres, rzędu 10 mld lat. W warunkach panujących w centrum Słońca przy temperaturze rzędu $15 \cdot 10^6$ K przemiana wodoru w hel zachodzi w wyniku cyklu protonowego (pp) przebiegającego następująco:

$$ {}^1_1\mathrm{H} + {}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^2_1\mathrm{H} + \mathrm{e}^+ + \nu, \quad {}^2_1\mathrm{H} + {}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^3_2\mathrm{He} + \gamma, $$
$$ {}^3_2\mathrm{He} + {}^3_2\mathrm{He} \rightarrow {}^4_2\mathrm{He} + 2\,{}^1_1\mathrm{H}. $$

Cykl ten jest efektywny w temperaturach rzędu kilku, kilkunastu milionów Kelwinów. Nie jest to jedyny sposób spalania się wodoru w hel. W temperaturach powyżej 18 mln Kelwinów bardziej efektywny staje się cykl węglowo-azotowy (CNO). Zatem w gwiazdach, w których temperatury centralne są znacznie wyższe niż w jądrze Słońca może dominować cykl węglowo-azotowy przebiegający według schematu:

$$ {}^{12}_6\mathrm{C} + {}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^{13}_7\mathrm{N} + \gamma, \quad {}^{13}_7\mathrm{N} \rightarrow {}^{13}_6\mathrm{C} + \mathrm{e}^+ + \nu, $$
$$ {}^{13}_6\mathrm{C} + {}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^{14}_7\mathrm{N} + \gamma, \quad {}^{14}_7\mathrm{N} + {}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^{15}_8\mathrm{O} + \gamma, $$
$$ {}^{15}_8\mathrm{O} \rightarrow {}^{15}_7\mathrm{N} + \mathrm{e}^+ + \nu, \quad {}^{15}_7\mathrm{N} + {}^1_1\mathrm{H} \rightarrow {}^{12}_6\mathrm{C} + {}^4_2\mathrm{He}. $$

Zauważmy, że końcowy wynik obu cykli jest taki sam; cztery protony ulegają przemianie w jedno jądro helu. Dodatkowo powstają dwie cząstki e^+, dwa neutrina i kwanty γ, które łącznie z powstającą cząstką α unoszą wydzielaną energię. Transport produkowanej energii odbywa się ku powierzchni Słońca głównie przez promieniowanie (warstwa promienista) w strefie głębszej otaczającej Słońce albo w wyższych warstwach przez konwekcję (strefa konwektywna).



Fot. 2. Tarcza Słońca pokryta plamami (Foto. NASA).

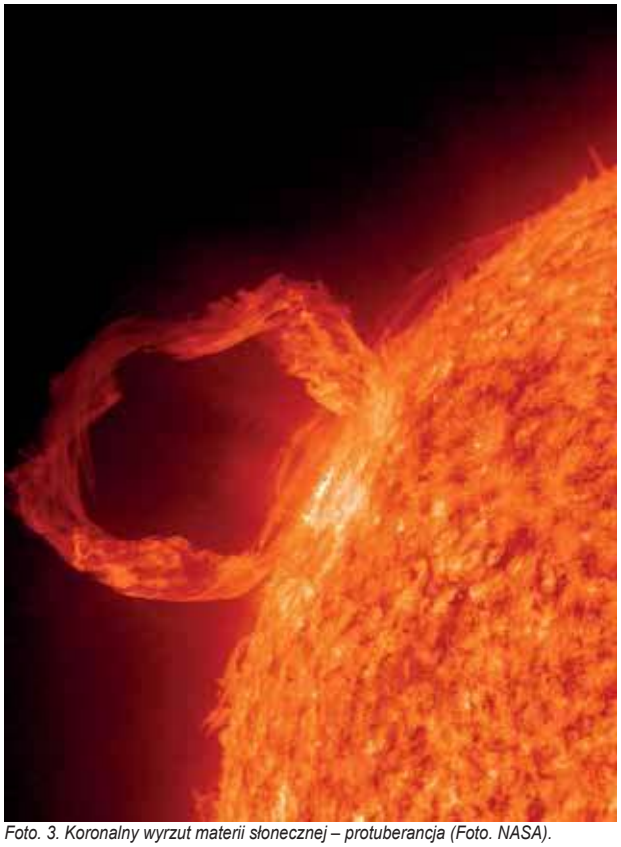


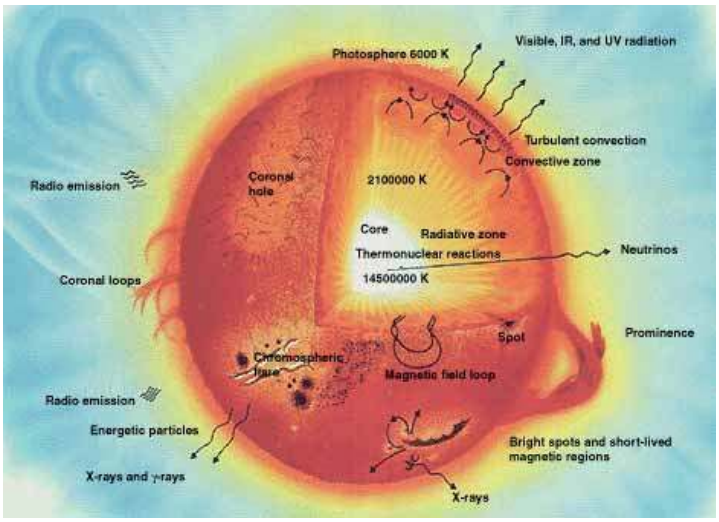
Foto. 3. Koronalny wyrzut materii słonecznej – protuberancja (Foto. NASA).

W pierwszym przypadku energia w formie kwantów promieniowania elektromagnetycznego przepływa w kierunku ku powierzchni Słońca ulegając rozproszeniu, absorpcji i powtórnej emisji już w innych – dłuższych długościach fali przez jony i elektrony w kolejnych coraz to wyższych warstwach Słońca.

W przypadku konwekcji występują w gwieździe ruchy cieplne gazu – cieplejszy unoszony jest ku powierzchni, gdzie przekazuje ciepło warstwom chłodniejszym a oziębiony spływa z powrotem w dół ku obszarom cieplejszym, gdzie ponownie ulega ogrzaniu.

Tak więc energia z głębszych warstw Słońca wraz z materią unoszona jest ku jego warstwom wyższym.

eprasa.pl 452d4c7cfd



Rys.1. Struktura wewnętrzna Słońca – na powyższym rysunku przyjęto następujące oznaczenia: core – jądro słoneczne, radiative zone – strefa promienista, convective zone – strefa konwektywna, photosphere – fotosfera słoneczna (Rys. NASA).

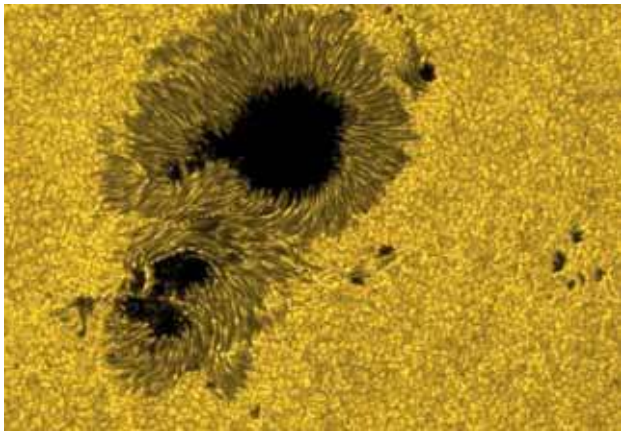


Foto. 4. Granulacja powierzchni Słońca oraz potężna plama słoneczna (Foto. NASA).

W ten sposób promieniowanie elektromagnetyczne dociera z jądra słonecznego, gdzie jest produkowane do warstw powierzchniowych – fotosfery Słońca skąd jest emitowane w przestrzeń kosmiczną. Najgłębsza widoczna warstwa atmosfery słonecznej to fotosfera. Widoczna jest ona w postaci żółtej tarczy. Z niej pochodzi prawie całe promieniowanie widzialne docierające do Ziemi.

Fotosfera i przylegające do niej sąsiednie warstwy są w ciągłym ruchu turbulentnym. Granulacja – ziarnistość powierzchni Słońca stanowiąca układ komórek konwekcyjnych jest spowodowana wypływającym z wnętrza Słońca strumieniem ciepła. Poszczególne komórki noszą nazwę granul i mają wymiary rzędu 100 km, ich przeciętny czas życia wynosi od 5 do 10 minut.

Natężenie innych zjawisk obserwowanych w fotosferze takich jak plamy słoneczne czy pochodnie, którym towarzyszy występowanie lokalnie silnych pól magnetycznych rzędu 10^5 A/m jest zmienne i zależy od fazy cyklu aktywności słonecznej. Obserwowane na powierzchni Słońca ciemne obszary to plamy słoneczne, których rozmiary dochodzić mogą do 10 000 km. Średnia temperatura plamy wynosi około 4500 K, a więc różnica z otoczeniem o temperaturze 6000 K – powoduje to, że plamy wydają się mieć kolor czarny dla obserwatora. Duże plamy słoneczne składają się z części centralnej – cienia i otaczającej ją części jasnej – półcienia. Pochodnie są to z kolei jasne obszary na powierzchni Słońca w pobliżu plam słonecznych.

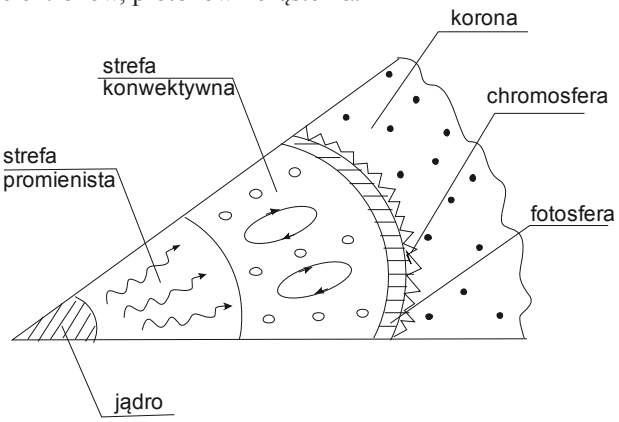
Fotosfera jest relatywnie bardzo cienką warstwą, jej grubość jest szacowana na około 300 km. Ponad nią wznosi się warstwa atmosfery słonecznej zwana chromosferą. Jest to warstwa przejściowa o grubości rzędu 15 000 km (jej grubość nie jest stała) pomiędzy chłodną fotosferą a gorącą zjonizowaną koroną.

Chromosfera jest widoczna podczas całkowitych zaćmień Słońca jako czerwona postrzępiona otoczka zakrytej przez Księżyc tarczy słonecznej. Z dolnej warstwy chromosfery wyrzucane są ku górze bryzgi materii osiągające niekiedy wysokość rzędu 10 000 km – licząc od podstawy chromosfery; nadające jej charakterystyczny wygląd płonącego rżyska. Inaczej mówiąc na brzegu tarczy słonecznej chromosfera widoczna jest jako nierówny pasek, z którego wybiegają pojedyncze ząbki, bryzgi – spikule chromosferyczne.

Ponad chromosferą obserwuje się często wyrzuty postrzępionych czerwonawych obłoków materii słonecznej zwanych protuberancjami. Temperatura ośrodka w chromosferze wzrasta w stosunku do fotosfery do kilkuset tysięcy K na wysokości około 10 000 km. Najbardziej zewnętrzną warstwą atmosfery słonecznej obserwowaną w czasie całkowitych zaćmień Słońca jest korona rozciągająca się daleko w przestrzeń międzyplanetarną do odległości co najmniej kilku promieni Słońca. Kształt korony jest silnie zależny od cyklu aktywności słonecznej. W czasie maksimum długie pasma korony wybiegają od Słońca prawie izotropowo, podczas minimum aktywności smugi koronalne dominują tylko w okolicach równika słonecznego.

Korona jest bardzo rozrzedzona, ale znacznie gorętsza niż chromosfera – jej temperatura może osiągać nawet $2 \cdot 10^6$ K. Fakt, że temperatura w chromosferze a później w koronie wzrasta w stosunku do temperatury fotosfery pozornie wydaje się paradoksalny; im warstwa jest bardziej zewnętrzna tym jest cieplejsza. Jednak chromosfera i korona czerpią swoją energię wewnętrzną z ruchów konwektywnych wewnątrz Słońca. Ruchy te rozprzestrzeniają się ku górze atmosfery w postaci fal akustycznych. W coraz rzadszym ośrodku amplituda fali rośnie i przekształca się ona w falę uderzeniową, która ogrzewa wyższe warstwy atmosfery słonecznej.

Korona słoneczna nie ma określonej granicy, lecz przechodzi w wiatr słoneczny – strumień materii w postaci elektronów, protonów i cząstek α.



Rys. 2. Budowa wewnętrzna Słońca – na rysunku zaznaczono najważniejsze strefy.

eprasa.pl 452d4c7cfd

Widmo słoneczne jest widmem ciągłym, na tle którego można zaobserwować absorpcyjne linie Fraunhofera. Zasadniczą rolę w powstawaniu widma ciągłego odgrywa tworzenie się w fotosferze ujemnych jonów H^-. W temperaturze warstw fotosferycznych (4500 – 6000 K) wodór stanowiący główny składnik materii słonecznej nie jest zjonizowany; natomiast jonizacji ulegają pierwiastki ciężkie o niższych potencjałach jonizacyjnych. Swobodne elektrony łącząc się z neutralnymi atomami wodoru tworzą jony H^-. Pod wpływem promieniowania jon H^- absorbując foton rozpada się na atom wodoru H i elektron. Energia pochłoniętego fotonu zużyta jest na przezwyciężenie sił wiążących elektron z atomem wodoru oraz na energię kinetyczną neutralnego teraz atomu H i elektronu. Uwalniane tą drogą elektrony podczas zderzeń ze sobą, atomami i jonami ośrodka ustalają pewien rozkład prędkości zależny od temperatury ośrodka. Jeśli teraz elektron zostanie przyłączony ponownie przez atom H, następuje emisja fotonu. Jednak jego energia jest na ogół inna od energii pochłoniętego uprzednio fotonu. Spowodowane jest to tym, że rozkład energii fotonów emitowanych przy tworzeniu się jonów H^- jest określony przez ciągły rozkład energii swobodnych elektronów, zdeterminowany przez temperaturę ośrodka. W ten sposób tworzy się widmo ciągłe w fotosferze Słońca (gwiazdy).

Neutralne atomy wodoru, atomy i jony innych pierwiastków znajdujące się w fotosferze pochłaniają fotony o określonych energiach ulegając przy tym wzbudzeniu; następuje wówczas przeskok elektronu z niższego na wyższy poziom energetyczny. Energia pochłoniętego fotonu jest równa różnicy energii wyższego i niższego poziomu energetycznego elektronu, odpowiadających obu poziomom energetycznym. Absorpcji towarzyszy co prawda proces odwrotny, wzbudzone atomy przy przeskokach elektronów z wyższych poziomów energetycznych na niższe emitują fotony o energiach charakterystycznych dla danego pierwiastka i stanu wzbudzenia. Jednak fotony te są promieniowane w dowolnych kierunkach na ogół różnych od pierwotnego – wyznaczonego przez fotony absorbowane. Ostatecznie z widma ciągłego usuwana jest pewna część fotonów o energiach równych energii wzbudzenia atomów i jonów. W ten sposób powstają w widmie słonecznym linie absorpcyjne.

Istnieje powszechne przekonanie, że Słońce powstało około 4,6 mld lat temu z pierwotnej mgławicy gazowo-pyłowej. Czas życia takich gwiazd jak Słońce ocenia się na około 10 mld lat. Tak więc Słońce jest gwiazdą o średnim wieku. Za około 5 miliardów lat wyczerpią się zapasy wodoru w jądrze słonecznym i reakcje przemiany wodoru w hel będą zachodziły w otoczce wokół-jądrowej. Spowoduje to niestabilność, w wyniku której Słońce stanie się czerwonym olbrzymem. Zwiększy ono na tyle swoje wymiary, że pochłonie najbliższe planety: Merkurego i Wenus a być może nawet Ziemię. To ostatnie zdarzenie wydaje się jednak znacznie mniej prawdopodobne. W toku dalszej ewolucji odrzuci zewnętrzną otoczkę i zacznie przemieniać się w białego karła zapadając się pod wpływem samograwitacji. W momencie, kiedy ustaną reakcje termojądrowe słoneczny biały karzeł pozbawiony źródła energii będzie przez miliardy lat ochładzał się do temperatury otoczenia, aby osiągnąć w końcu stadium czarnego karła - zimnego ciemnego obiektu - kosmicznego żużlu.

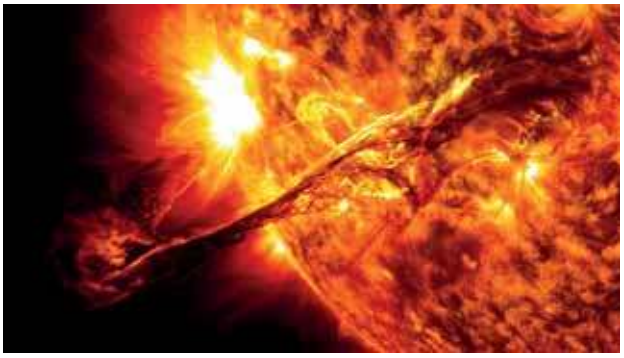


Foto. 5. Potężny wyrzut materii słonecznej (eksplozja na słońcu) w dniu 31.08.2012 roku (Foto NASA).

Aktywność Słońca

Mianem aktywności słonecznej określa się zmiany, które zachodzą w atmosferze Słońca. Przejawiają się one w zmianie poziomu promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez naszą gwiazdę. Fluktuacje te dotyczą przede wszystkim światła, które dociera do naszej planety, a także strumienia cząstek wysłanych w postaci wiatru słonecznego w przestrzeń kosmiczną.

Powyższe anomalie związane są ze zmianą liczby, a także rozmieszczeniem plam oraz pochodni na powierzchni Słońca. Dodatkowo na poziomie fotosfery zmianie ulegają rozbłyski i protuberancje, a także koronalne wyrzuty materii słonecznej. Tak więc mianem aktywności słonecznej będziemy rozumieć ogół zmian zachodzących w atmosferze Słońca powodujących fluktuacje w poziomie promieniowania elektromagnetycznego docierającego do Ziemi oraz zmiany w natężeniu strumienia cząstek elektrycznie naładowanych (głównie protonów i elektronów) emitowanych z powierzchni naszej gwiazdy.

Podstawowy okres aktywności słonecznej wynosi około 11 lat. W takim cyklu nasza dzienna gwiazda zmienia swój poziom aktywności od minimum do następnego maksimum. Miarę aktywności słonecznej możemy wyznaczyć na podstawie tzw. liczby Wolfa R, którą możemy zapisać, jako:

$$R = (10 \cdot g + p) \cdot k \qquad (1)$$

gdzie przyjęto następujące oznaczenia:

R – jest liczbą Wolfa, g – obserwowaną grupą plam na tarczy Słońca, p – łączną liczbą plam widocznych na Słońcu, k – oznacza współczynnik korygujący zależny od użytego sprzętu obserwacyjnego (np. teleskopu słonecznego), wartość tego współczynnika to zwykle mniej niż 1. Tak więc dla ułatwienia naszych obliczeń możemy przyjąć, że współczynnik k jest rzędu 1.

Warto w tym miejscu zauważyć, że najniższej aktywności odpowiada liczba 0 – jest to najniższa możliwie

eprasa.pl 452d4c7cfd

liczba Wolfa – wtedy powierzchnia Słońca jest zupełnie czysta, następna liczba to 11, ponieważ jedna grupa z jednym ogniskiem na tarczy słonecznej odpowiada: G = 1, p = 1, a tym samym R = 11. Począwszy od 11 liczba Wolfa może wzrastać zgodnie z szeregiem liczb naturalnych (12, 13, 14, itd.). Liczbę indywidualnych plam na powierzchni Słońca można z grubsza oszacować dzieląc liczbę Wolfa przez 15.

Najłatwiejszym do zauważenia i jednocześnie najciekawszym przejawem aktywności słonecznej są powstające na tarczy Słońca plamy słoneczne (Foto. 2, 4.). Zazwyczaj plamy słoneczne pojawiają się parami, z przeciwstawną biegunowością magnetyczną składników. Warto zauważyć, że jeżeli w danym miejscu zaobserwujemy pojedynczą plamę to i tak będzie towarzyszył jej obszar pola magnetycznego o przeciwnej biegunowości.

Dokonując obserwacji kilkudniowych plam słonecznych możemy stwierdzić, że dokonują one zmiany położenia. Nie oznacza to, że plamy „wędrują" po tarczy Słońca. Przemieszczanie się plam związane jest bezpośrednio z obrotem Słońca wokół własnej osi. Dysponując stosunkowo dobrym teleskopem słonecznym zaopatrzonym w odpowiednie filtry, dającym duże powiększenie możemy zaobserwować interesujące szczegóły plam (cień, półcień, strukturę wirową, włókna i prądy). Przyjmuje się, że plama słoneczna na powierzchni Słońca może utrzymywać się średnio około dwóch tygodni.

Tak jak było wspomniane już wcześniej, dokonując obserwacji Słońca możemy zaobserwować kolejne dwa ciekawe zjawiska: protuberancje i pochodnie słoneczne. Przez protuberancję należy rozumieć kłęby gorącego i rzadkiego gazu w postaci „języków" lub „łuków" wyrzucanych z powierzchni Słońca (Foto. 3, 6.).

Zazwyczaj temperatura protuberancji wacha się od 8000 K do 15000 K. Gaz ten to najczęściej wodór, który wznosi się na tysiące kilometrów nad powierzchnię Słońca. Na kształt protuberancji wpływ ma słoneczne pole magnetyczne. Protuberancje są najlepiej widoczne na brzegach tarczy przy zaćmieniu Słońca.

Pochodnią słoneczną nazywamy obszar atmosfery, który został pobudzony do silniejszej emisji promieniowania (Foto.7.). Pojawiają się one wcześniej niż plamy słoneczne i są widoczne wokół plamy, oraz znikają one znacznie później niż ostatnia plama słoneczna w danym miejscu na powierzchni fotosfery.

Możemy dokonać podziału pochodni słonecznych na dwa podstawowe typy:

- pochodnie fotosferyczne, które jak sama nazwa wskazuje, występują na powierzchni fotosfery, mogą one przyjmować kształt jasnych zawiłych pól lub bardzo prostych włókien
- pochodnie chromosferyczne, które obserwujemy na poziomie chromosfery w zakresie ultrafioletowym. Pochodnie te mają znacznie większe rozmiary niż pochodnie fotosferyczne. Są jedną z pierwszych oznak pojawiania się kolejnego aktywnego obszaru.

Na przełomie 2017/2018 roku Słońce znajdowało się w minimum aktywności i jednocześnie kończył się wtedy 24 cykl jego aktywności. Dopiero w dniu 16 kwietnia 2018 zaobserwowano pierwszą plamę o zmienionej biegunowości pola magnetycznego, która wskazywała na rozpoczęcie 25 cyklu

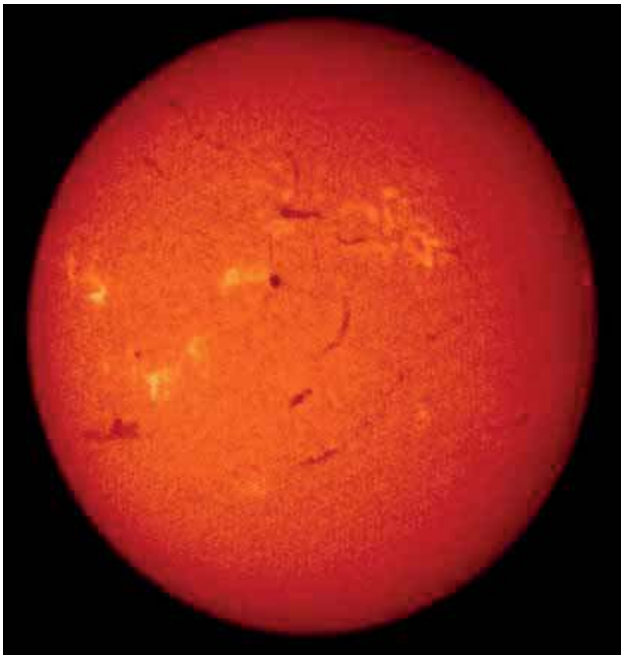


Foto. 7. Widoczne pochodnie słoneczne (Foto. NASA).

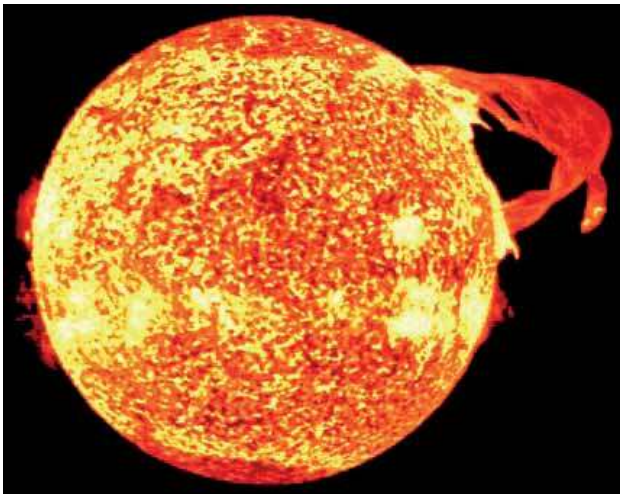
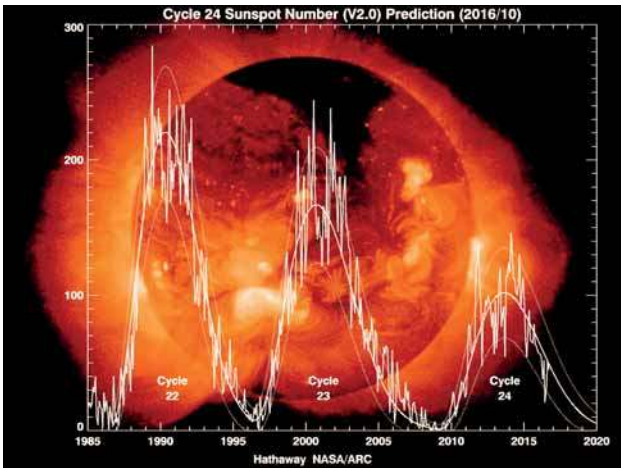


Foto. 6. Widoczna protuberancja słoneczna (Foto. NASA).



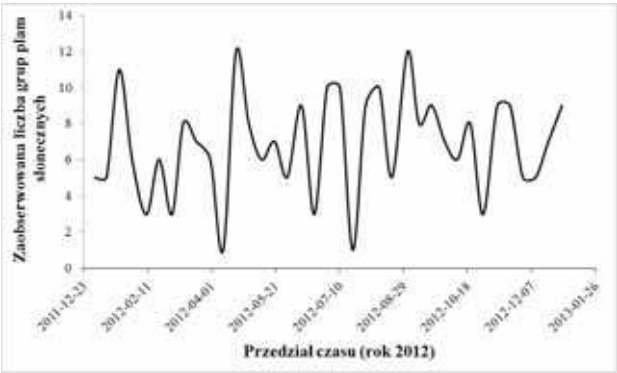
Rys.3. Prognoza aktywności słonecznej dotycząca 22, 23, i 24 cyklu (Foto. NASA).

eprasa.pl 452d4c7cfd

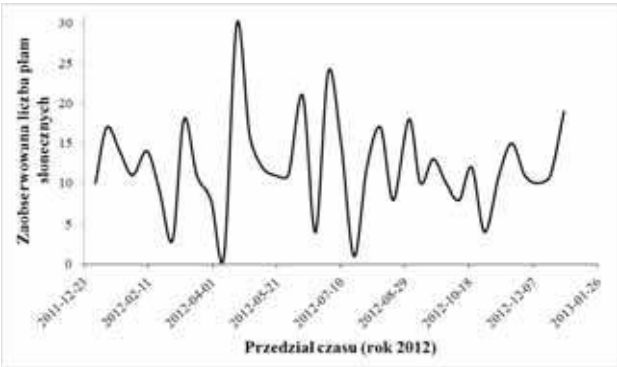
słonecznego. Okres, w którym Słońce znajduje się w minimum swojej aktywności z punktu widzenia obserwatora jest mało ciekawy, dlatego dalsze nasze rozważania związane będą z minionym cyklem aktywności naszej gwiazdy.

W dalszej części artykułu przedstawimy szczegółową analizę liczby grup plam słonecznych oraz plam. Dodatkowo na podstawie tych parametrów wyznaczona została liczba Wolfa. Obliczenia te dotyczą ostatniego okresu wzmożonej aktywności Słońca. Fotografie, które zostały wykorzystane podczas obliczeń zostały zaczerpnięte ze strony internetowej: http://sohowww.nascom.nasa.gov/.

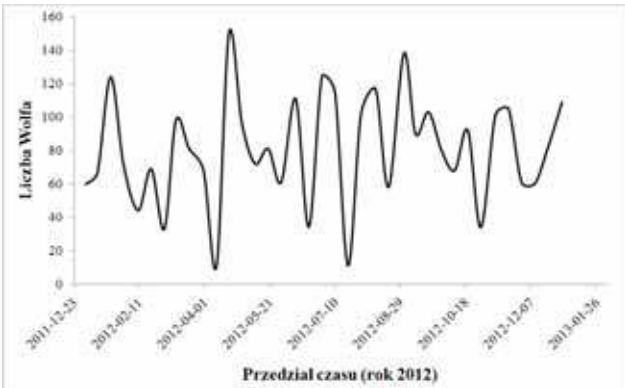
W pierwszym kroku przedstawimy obliczenia dla 2012 roku.



Rys. 4. Rozkład liczby grup plam słonecznych widocznych na tarczy Słońca w 2012 roku.

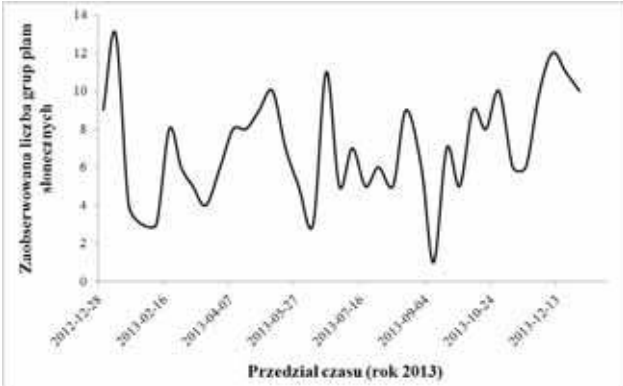


Rys. 5. Rozkład liczby plam słonecznych widocznych na tarczy Słońca w 2012 roku.

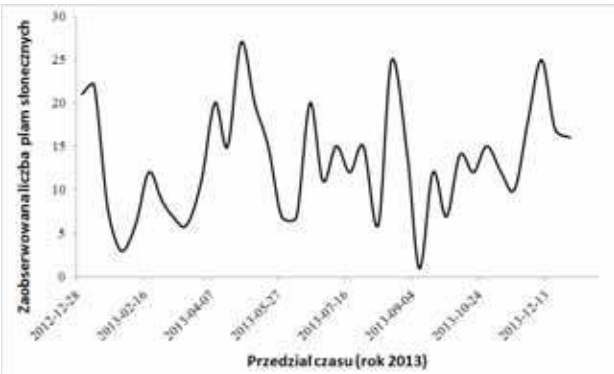


Rys. 6. Rozkład liczby Wolfa dla Słońca w 2012 roku.

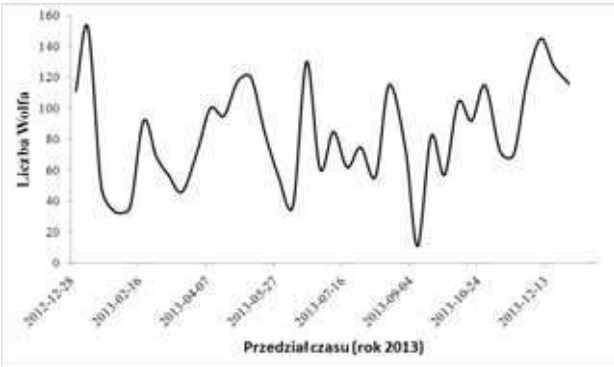
Kolejne wyniki dotyczą roku 2013:



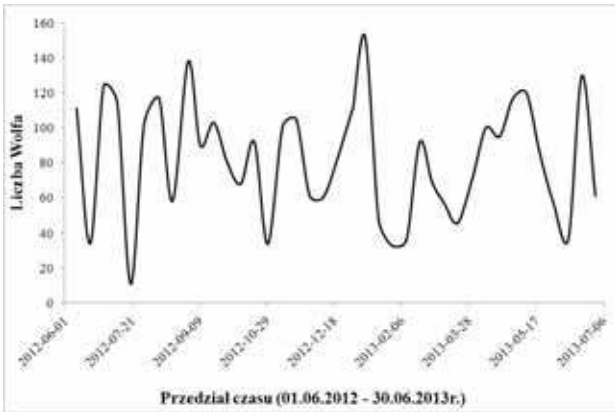
Rys. 7. Rozkład liczby grup plam słonecznych widocznych na tarczy Słońca w 2013 roku.



Rys. 8. Rozkład liczby plam słonecznych widocznych na tarczy Słońca w 2013 roku.



Rys. 9. Rozkład liczby Wolfa dla Słońca w 2013 roku.

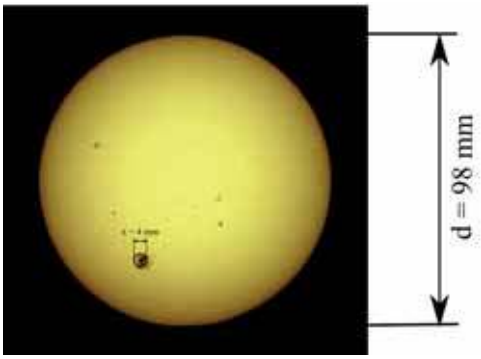


Rys. 10. Rozkład liczby Wolfa dla Słońca za okres od 1.06.2016 do 30.06.2013.

eprasa.pl 452d4c7cfd

Opracowanie fotografii tarczy słonecznej – metoda szkolna (elementarna)

W rozważaniach związanych z opracowaniem fotografii tarczy Słońca uwzględniliśmy dwa przypadki.



Rys.11. Wyznaczenie średnicy tarczy słonecznej (Foto. NASA).

W pierwszym dysponujemy fotografią, na której widoczna jest cała tarcza Słońca. Wobec tego wyznaczenie promienia Słońca jest zadaniem elementarnym. W tym celu wykorzystamy do pomocy linijkę i ekierkę, za pomocą których zmierzymy średnicę tarczy słonecznej.

Wówczas spełniona jest następująca zależność:

$d = 2 \cdot r = 98$ mm. (2)

Wykonując elementarne przekształcenie możemy wyznaczyć promień *r* tarczy Słońca na podstawie rys. 11:

$r = 49$ mm. (3)

Na rysunku 11 znajdują się również liczne plamy słoneczne. Wyznaczymy teraz rzeczywistą średnicę największej plamy słonecznej. Przy pomocy linijki mierzymy średnicę plamy słonecznej x – średnica największej plamy w oparciu o rys.11 wynosi x = 4 mm. Ponieważ chcemy wyznaczyć rzeczywistą wielkość tej plamy, korzystamy więc z następującej zależności:

$$\frac{r}{R_o} = \frac{x}{X}. \qquad (4)$$

W równaniu (4) pozostałe symbole oznaczają: R_o – rzeczywisty promień tarczy Słońca (w obliczeniach przyjęto, że R_o = 696 000 km), X – jest poszukiwaną rzeczywistą wielkością (średnicą) plamy słonecznej. Na podstawie powyższych danych możemy zapisać, że:

$$X = R_o \cdot \frac{x}{r} = 696000\,\text{km} \cdot \frac{4\,\text{mm}}{49\,\text{mm}} = 56\,816{,}33\,\text{km}. \qquad (5)$$

Uwaga:

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że wyznaczona w bardzo prosty sposób rzeczywista średnica plamy słonecznej jest znacznie większa niż średnica Ziemi!

Aby stwierdzenie to wykazać, poniżej przedstawiamy odpowiednie obliczenia.

Na podstawie wcześniejszych obliczeń wykazaliśmy, że średnica największej plamy słonecznej przedstawionej na rys. 11 wynosi X = 56 816,33 km. Natomiast średnica Ziemi jest równa: ($d_Z = 2 \cdot R_Z$), gdzie R_Z – oznacza promień równikowy (R_Z = 6378,1366 km).

Wówczas otrzymujemy, że: $d_Z = 2 \cdot 6378{,}1366$ km = 12 756, 28 km.

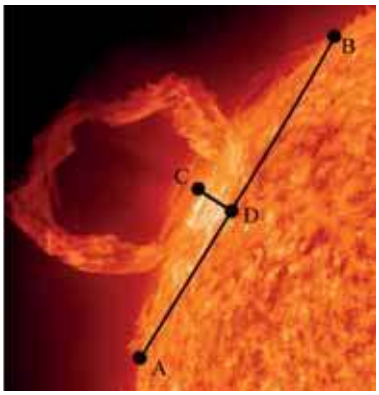
Porównanie:

$$\underbrace{56\,816{,}33\,\text{km}}_{X} > \underbrace{12\,756{,}28\,\text{km}}_{d_Z}. \qquad (6)$$

Tak więc rzeczywista średnica największej plamy słonecznej widocznej na zdjęciu (Rys.11) wynosi 56 816,33 km. Co więcej rozpatrywana plama słoneczna jest prawie 4.5 razy większa niż średnica Ziemi.

W drugim przypadku uwzględnimy fakt, że dysponujemy tylko zdjęciem pewnej części tarczy słonecznej – tak jak na rys. 12.

Aby wyznaczyć promień Słońca R w przypadku, gdy na zdjęciu widoczna jest tylko pewna część jego powierzchni (S oznacza środek tarczy słonecznej niewidoczny na zdjęciu, AB = 2d, CD = h, AS=BS=CS= R) pomocny będzie nam rysunek 13.



Rys.12. Protuberancja Słoneczna widoczna w ultrafiolecie (Fot. NASA).

Chcąc wyznaczyć promień tarczy słonecznej w tym przypadku musimy dokonać dwóch pomiarów

1) mierzymy dowolną cięciwę AB = *2d* tarczy słonecznej, AB = 94 mm, d = 47 mm,
2) wyznaczamy jej symetralną i mierzymy odcinek CD = *h,* h = 11 mm.

W kolejnym kroku wykorzystamy twierdzenia Pitagorasa, z którego wynika, że:

$d^2 + (R - h)^2 = R^2$. (7)

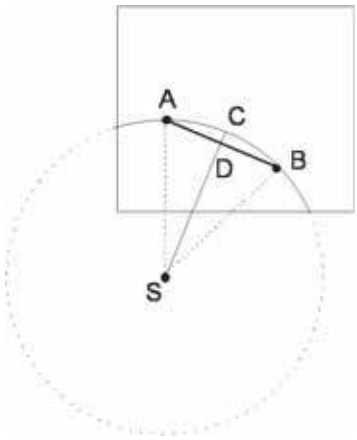
Po prostych przekształceniach możemy zapisać, że:

$R = (d^2 + h^2) / 2h$. (8)

Podstawiając otrzymane wartości liczbowe do powyższego równania otrzymujemy, że promień Słońca na zdjęciu jest równy R = 105,9 mm.

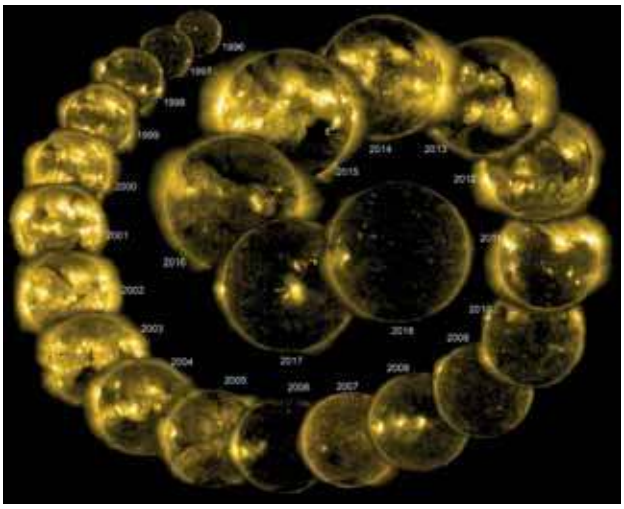
Następnie należy wyznaczyć w milimetrach wymiary interesującego nas obiektu na zdjęciu np. wysokość protuberancji *p* w oparciu o rys. 12 (p = 47 mm). Rzeczywiste wymiary wysokości protuberancji p_0 (w kilometrach) wyznaczymy z proporcji:

$$\frac{R}{R_o} = \frac{p}{p_o}. \qquad (9)$$



Rys. 13. Schemat do wyznaczenia promienia Słońca w przypadku, kiedy dysponujemy fragmentem jego powierzchni. Przyjęto tu następujące oznaczenia: S oznacza środek tarczy słonecznej niewidoczny na zdjęciu, AB = 2d, CD = h, AS = BS = CS = R.

eprasa.pl 452d4c7cfd



Rys. 14. Na dzień 2 grudnia 2018 roku przypadła 23 rocznica uruchomienia „słonecznego obserwatorium" (Solar and Heliospheric Observatory (rys. SOHO)).

Korzystając z równania (9) możemy zapisać, że:

$$p_O = \frac{p\,i\,R_O}{R}, \qquad (10)$$

gdzie: R_o = 696 000 km jest rzeczywistym promieniem Słońca.

Wobec tego możemy wyznaczyć rzeczywistą wysokość rozważanej protuberancji:

$$p_o = \frac{47\,\cancel{mm}\cdot 696\,000\,\text{km}}{105{,}9\,\cancel{mm}} = 0{,}4438\cdot 696\,000\,\text{km} = 308\ 895{,}18\,\text{km}. \qquad (11)$$

Odp. Rzeczywista wysokość protuberancji jest równa 308 895,18 km.

W tym miejscu należy przypomnieć, że jak do tej pory używaliśmy bardzo prostych metod dotyczących opracowania fotografii tarczy Słońca. Podyktowane było to tym, że tak naprawdę chcieliśmy przygotować materiał do pracy dla kolegów nauczycieli wraz z młodzieżą szkolną na lekcjach fizyki z astronomią. Jednakże należy zaznaczyć, że tak naprawdę każdy pomiar obarczony jest tzw. błędem pomiarowym. Dlatego w dalszej części artykułu przedstawimy rachunek błędów pomiarowych dla tarczy Słońca.

Przyjmujemy, że błędy pomiaru na zdjęciu średnicy Słońca **d** oraz wysokości protuberancji **p** i średnicy plamy słonecznej **x** są równe: $\Delta d = \Delta p = \Delta x = \Delta h = 1$ mm. Takie założenie podyktowane jest tym, że wykorzystaliśmy elementarne (szkolne) przyrządy pomiarowe.

Błąd dla pomiaru promienia tarczy na podstawie rysunku 12 wyniósł: $\Delta d = 2\,\Delta r$; $\Delta r = 0{,}5$ mm. Tak więc błąd dla pomiaru dla średnicy plamy słonecznej dany jest zależnością:

$$\Delta x/X = (\Delta x/x + \Delta r/r). \qquad (12)$$

Podstawiając wartości liczbowe otrzymujemy:

$$\Delta x = X\cdot(1/4 + 0{,}5/49) = 56\ 816{,}33\ \text{km}\cdot 0{,}2602 = 14\ 783{,}84\ \text{km}.$$

Natomiast w przypadku błędu dla pomiaru wysokości protuberancji (na podst. rys.12) mamy:

$$\Delta p/p_o = (\Delta p/p + \mathbf{\Delta R/R}), \qquad (13)$$

Ponieważ parametr R dany jest zależnością (8) to błąd pomiaru obliczamy następująco wykorzystując metodę pochodnej logarytmicznej:

$$\ln R = \ln(d^2 + h^2) - \ln 2h, \qquad (14)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{2d\,\Delta d}{d^2+h^2} + \frac{2h\,\Delta h}{d^2+h^2} + \frac{2\,\Delta h}{2h} = \frac{2d}{d^2+h^2}\Delta d + \Delta h\left(\frac{2h}{d^2+h^2} + \frac{1}{h}\right) \qquad (15)$$

Po podstawieniu mamy, że:

$$\frac{\Delta R}{R} = 0{,}13944 \approx 0{,}14. \qquad (16)$$

Wówczas możemy zapisać, że: $(\Delta p/p + \Delta R/R) = 0{,}021 + 0{,}14 \approx 0{,}161$. Tak więc ostatecznie mamy:

$$\Delta p = 0{,}161\cdot p_o = 0{,}161\cdot 308\ 895{,}18\ \text{km} = 49\ 732{,}12\ \text{km}. \qquad (17)$$

Na samym końcu musimy jeszcze przedstawić zestawienie wyników naszych pomiarów:

a) porównanie dla rzeczywistej średnicy plamy słonecznej:

$$\mathbf{X = X \pm \Delta x = 56\ 816{,}33\ km \pm 14\ 783{,}84\ km,}$$

b) porównanie wyników dla rzeczywistej wysokości protuberancji:

$$\mathbf{p_o = p_o \pm \Delta p = 308895{,}18\ km \pm 49\ 732{,}12\ km.}$$

UWAGA!!!!

Podczas przygotowywania się do obserwacji Słońca należy pamiętać o zachowaniu szczególnych środków ostrożności. Obserwacje tarczy słonecznej bez odpowiednich filtrów lub teleskopów zaopatrzonych w te filtry grożą poważnym uszkodzeniem lub nawet utratą wzroku. Nie należy nigdy obserwować Słońca przez przyrządy optyczne pozbawione odpowiednich filtrów np. lornetka czy teleskop do obserwacji nieba nocnego. Jeszcze raz należy podkreślić, że obserwowanie Słońca przez przyrządy pozbawione filtrów jest nie dopuszczalne. Nawet sekunda nieuwagi może doprowadzić do utraty wzroku na całe życie! Warto jeszcze raz podkreślić, że najbezpieczniejszym sposobem obserwacji zjawisk zachodzących na tarczy Słońca jest wykorzystanie współczesnych teleskopów słonecznych takich jak Coronado.

dr Marcin Wesołowski[1,2]
dr hab. Piotr Gronkowski, prof. UR[1,2]

[1] Wydział Matematyczno – Przyrodniczy Uniwersytetu Rzeszowskiego,
[2] Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy Techniczno–Przyrodniczej Uniwersytetu Rzeszowskiego,

LITERATURA

[1] P. Artymowicz, 1995, Astrofizyka układów planetarnych, PWN, Warszawa
[2] Encyklopedia multimedialna, 2000, Encyklopedia wszechświata
[3] H. Chrupała, J. Kreiner, M. Szczepański, 1999, Zadania z astronomii, wyd. Zamiast Korepetycji Kraków
[4] L. Mc-Fadden, P. Weissman, T. Johnson (ed.); 2007, Encyclopedia of the Solar System, second edition, ELSEVIER, Amsterdam
[5] https://en.wikipedia.org/wiki/Sun

eprasa.pl 452d4c7cfd

Centaury

Janusz **Rokita**

Podobnie, jak między poddaszem domu, a piętrami poniżej spacerują sobie myszy, a za nimi koty, tak i w Układzie Słonecznym istnieją asteroidy, część życia spędzające poza orbitą Neptuna (i to daleko!), ale od czasu do czasu zaglądające do jej wnętrza, a nawet... poniżej orbity Urana. Ta grupa planetoid – to **centaury**.

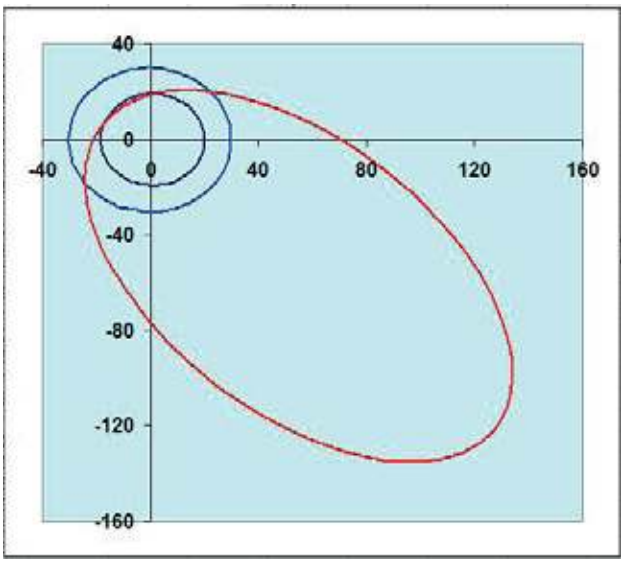
Jak w paru przypadkach wcześniej – i tu nie ma pełnej zgodności co do definicji między różnymi grupami badaczy. Najogólniej jednak przyjmuje się, że są to obiekty, których półosie wielkie wokółsłonecznych orbit mieszczą się między półosiami orbit Jowisza i Neptuna, choć nie jest to reguła: niektórzy wliczają tu i takie, które potrafią się oddalać od Słońca na tysiące AU. Orbity te nie są przy tym zbyt stabilne: szacowane numerycznie czasy życia na nich wahają się od 540 tysięcy (**1996 AR_{20}**) do 32 milionów (**2000 FZ_{53}**) lat, a średni czas połowicznego zaniku populacji – to 2,7 miliona lat (za J.Horner, E.W.Evans, M.E. Bailey: „Simulation of the Population of the Centaurs I: The Bulk Statistics" – do znalezienia w internecie). W wielu wypadkach mają duże mimośrody i duże nachylenia do płaszczyzny ekliptyki, z ruchem wstecznym włącznie. To ostatnie warto podkreślić, bo obiektów, samodzielnie obiegających Słonce ruchem wstecznym nie ma aż tak wiele: **spośród około pół miliona planetoid – ruch wsteczny jest właściwością tylko około 60**.

Taką bardzo rozciągniętą orbitę ma **65489 Ceto**: jej wielka półoś – to 99,86 AU, a mimośród 0,8216, jego odległość od Słońca zmienia się więc od 17,8 (to mniej, niż wielka półoś orbity Urana!) do 181,9 AU. Tamtejszy rok – to 998 naszych, bez dwóch lat – milenium!.

Jeszcze bardziej wydłużoną orbitę ma **2012 DR_{30}**, także zaliczana do centaurów (ale przez część badaczy – do dysku rozproszonego): jej wielka półoś ma wartość 1263,5 AU, mimośród – aż 0,98849. Peryhelium znajduje się więc 14,5 AU od Słońca, a aphelium – 2512 AU. Okres orbitalny – to 33100 lat. To raczej nie ludzka skala czasowa...

Dla odmiany **2007 TB_{434}** ma orbitę niemal kołową (mimośród mniejszy od 0,026), a pierwszy odkryty centaur (już w 1920 r., choć klasę obiektów wydzielono jako taką dopiero w roku 1977), **944 Hidalgo**, ma wielką półoś o wartości tylko 5,745 AU. Rozrzut parametrów jest więc spory.

Najmniejszy kąt nachylenia orbity do płaszczyzny ekliptyki ma **2001 XZ_{255}** (mniej, niż 3º), za to **(144908) 2000YH_{32}** – 79º. Dzięki temu nie zderzy się np. z Saturnem, choć ma peryhelium orbity wewnątrz orbity gazowego olbrzyma (co nie znaczy, że w dłuższej skali czasowej jego grawitacja nie wpłynie na ruch centaura).



Orbita Ceto porównana w płaszczyźnie ekliptyki z orbitami Urana i Neptuna.

Na dzień 15.02.2015 r. sklasyfikowano 88 obiektów (plus trochę kolejnych, prawdopodobnie do nich należących), które mają orbity podobne do orbity **komety Halley'a**: duże mimośrody i nachylenia do ekliptyki (również i wśród nich spotykamy ruch wsteczny), a szara barwa i niewielkie wymiary (średnio 8, a maksymalnie około 16 km) wyraźnie sugerują, że są to komety z (zapewne) Obłoku Oorta, które zostały dawno temu skierowane ku Słońcu, stały się kometami krótkookresowymi i z biegiem czasu utraciły większość (lub wręcz prawie wszystkie) substancje lotne (choć niektóre nadal potrafią wytwarzać w pobliżu peryhelium słabą komę). Ta grupa asteroid – to **damokloidy** (od pierwowzoru: **5335 Damokles**). Planetoida z tej grupy, **2005 VX_3**, ma największą półoś wielką orbity ze wszystkich znanych dziś ciał Układu Słonecznego (1542 AU) i aphelium (3080 AU), nie licząc długookresowych komet (obie wartości podano heliocentrycznie i czytając np. Wikipedię warto zwracać uwagę na to, czy parametry orbit podane są względem Słońca, czy względem barycentrum Układu Słonecznego). Ma również największy mimośród (0,99732), dzięki któremu peryhelium jest tylko 4,13 AU od Słońca, wewnątrz orbity Jowisza. Okres orbitalny – to dostojne 32900 lat.

I wreszcie ostatnia, też ciekawa grupa orbit o bardzo dużych mimośrodach, potrafi przeprowadzać asteroidy spoza orbity Neptuna – aż do wnętrza orbity Ziemi. Największy mimośród spośród nich ma **1999 XS_{35}**: 0,947, co pozwala jej zmieniać odległość od Słońca od 0,935 do 34,7 AU (patrz rysunek). Ostatni raz minęła peryhelium 21 października 1999 roku, a jej okres obiegu – to 75,2 roku. Zaliczana jest do licznej (na sierpień 2015: 6923 obiekty, z których 991 już jest ponumerowanych,

eprasa.pl 452d4c7cfd

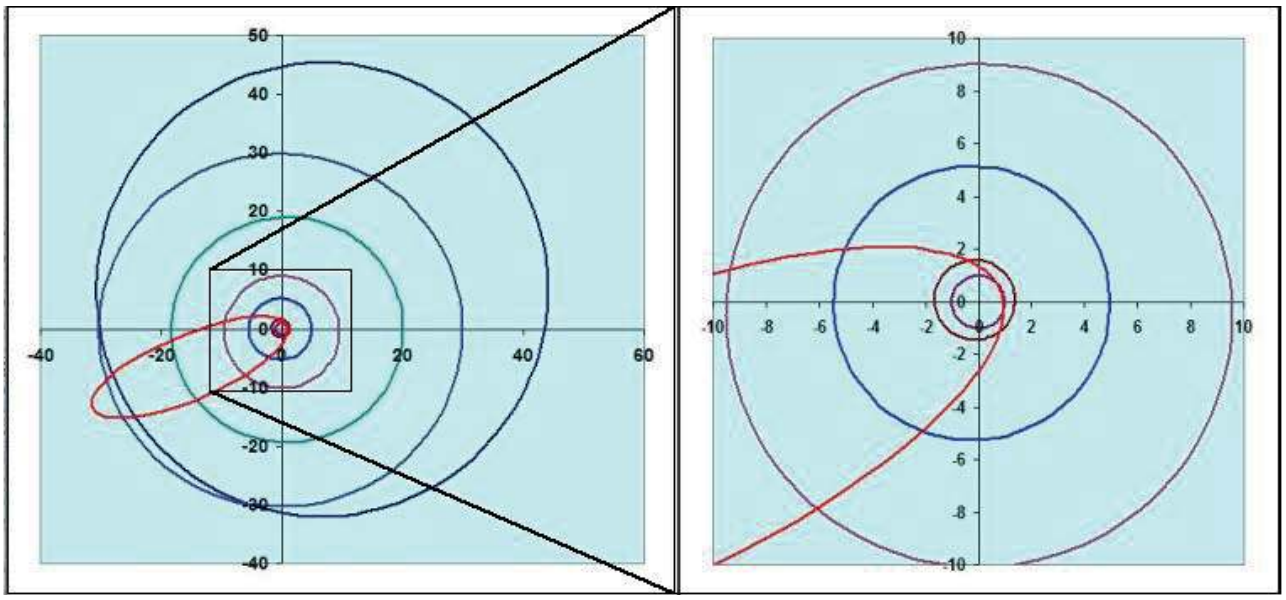
z dobrze określonymi orbitami) **grupy Apolla**, czyli planetoid o półosiach orbit większych, niż wielka półoś orbity Ziemi, ale peryheliach bliższych Słońca, niż ziemskie. Przecinają więc one orbitę naszej planety (oczywiście dużo zależy tu od nachylenia orbit do płaszczyzny ekliptyki!), co czyni je potencjalnie dla nas niebezpiecznymi. Prawdopodobnie to spośród nich pochodził bolid, który 15 lutego 2013 roku podstępnie wleciał w atmosferę i eksplodował nad Czelabińskiem.

Dwoista końsko-ludzka natura centaurów daje o sobie znać i w przypadku asteroid: na ogół zachowują się jak planetoidy, ale też potrafią jak komety – z wytworzeniem komy i warkocza włącznie. W efekcie niektóre są klasyfikowane jako członkowie obydwu grup. **(2060) Chiron** (odkryty w 1977 r. przez Charlesa Kowala, co wywołało wtedy spore poruszenie w światku astronomów) notowany jest też jako kometa **65P/Chiron**, a **60558 Echeclus** jako kometa **174P/Echeclus** – i to jedyne dwie komety, nie nazwane imieniem odkrywcy – właśnie dlatego, że z początku uważano je za asteroidy. Wydaje się, że ma to związek z ich pochodzeniem: sądzi się, że to obiekty z Pasa Kuipera, skierowane przez Neptuna do wnętrza Układu Słonecznego, a tam ich ruch był nadal zaburzany przez inne gazowe olbrzymy. Podejrzewa się o to przynajmniej ⅔ centaurów (o pozostałych na razie brak wystarczających informacji). Niektóre mogą jednak być byłymi plutonkami, wyrzuconymi z pierwotnych orbit przez grawitację... Plutona! Może to sugerować ich barwa: większość z centaurów jest szara, jak obiekty dysku rozproszonego lub „gorące" cubewano (lub... jądra komet!), ale są i takie, które zaliczają się do najbardziej czerwonych obiektów w Układzie Słonecznym (jak „zimne" cubewano lub właśnie plutonki).

Choć liczbę centaurów o rozmiarach powyżej 1 kilometra szacuje się na 44300, nie ma wśród nich obiektów bardzo dużych. Na dzień dzisiejszy największa wydaje się około 250-kilometrowa (w mitologii greckiej to była nimfa, córka Apolla) **10199 Chariklo**. Jej orbita wydaje się stosunkowo stabilna (przynajmniej w ciągu najbliższych 10 milionów lat), miedzy innymi zapewne dlatego, że półoś wielka jej orbity (15,77 AU) jest tylko o 0,09 AU bliżej Słońca, niż odległość rezonansowa 4:3 z Uranem (a 3 obiegi wokół Słońca Urana przypadałyby 4 Chariklo). Fenomenem globu są dwa pierścienie: jeden o szerokości 7, a drugi 3 kilometrów, oddzielone przerwą o szerokości 9 km (od 396 do 406 km od centaura, co ustalono dzięki zakryciom przez nie gwiazd), składające się, co sugeruje analiza widma, najprawdopodobniej z wodnego lodu. Był to piąty – po gazowych planetarnych olbrzymach – obiekt, u którego stwierdzono obecność pierścieni, za to bardzo zaskakujący. Asteroidy są przecież mało masywne i jeśli pierścień jeszcze się nie rozpadł, to albo jest bardzo młody, albo utrzymują go jakieś „pasterskie" satelity, podobnie jak to ma miejsce w pierścieniach Saturna.

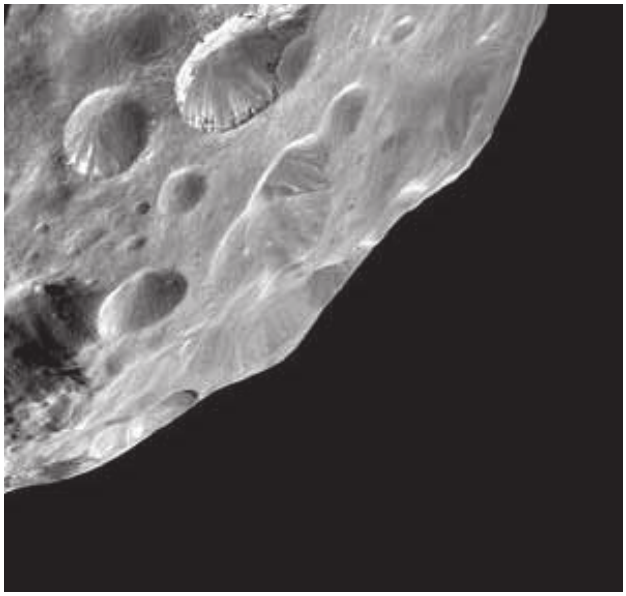
O posiadanie pierścieni, o bardzo zresztą podobnej strukturze i składzie (co może sugerować i podobny mechanizm powstania), coraz bardziej podejrzewany jest też wspomniany już i tylko niewiele mniejszy (228 km średnicy) **Chiron**. Obiega on Słońce raz na niespełna 51 lat w średniej odległości 13,7 AU po orbicie o mimośrodzie 0,394. Wiemy już, że wykazuje właściwości kometarne: wytwarzanie komy w peryhelium, ale także typowe dla komet nagłe pojaśnienia i – w 1993 r. – nawet warkocz!

Pierwszy, historycznie rzecz biorąc, odkryty centaur, już wiemy, że to był **944 Hidalgo**, nie nosi jeszcze imienia z greckiej mitologii (ten zwyczaj wprowadzono dopiero po roku 1977). Odkrywca, Wilhelm Baade, w czasie niemieckiej wyprawy do Meksyku (w celu obserwacji całkowitego zaćmienia Słońca) zaproponował nazwanie globu od Miguela Hidalgo y Castilla – katolickiego księdza i inicjatora powstania, mającego na celu wyzwolić Meksyk spod panowania Hiszpanów. Wiele lat badał planetoidę Kazimierz Jansen, polski astronom z Uniwersytetu Stefena Batorego w Wilnie (pochowany na cmentarzu na Starej Rossie). Mimośród jej orbity jest znaczny (0,66), więc mimo niezbyt imponującej półosi wielkiej peryhe-



Orbita 1999 XS35 (czerwona) na tle orbit Plutona i planet Układu Słonecznego. Orbity od Saturna „w dół" powiększono po prawej stronie (Ziemi jest w środku).

eprasa.pl 452d4c7cfd



Księżyc Saturna Phoebe, prawdopodobnie pochwycony centaur, na zdjęciu z sondy Cassini.

lium jest bliżej Słońca, niż Ceres (1,951 AU), a peryhelium pod orbitą Saturna (9,539 AU). Jedno okrążenie trwa 13,77 roku, jak na centaury – stosunkowo krótko. Pomimo dużego nachylenia orbity do ekliptyki (ponad 42º) ruch Hidalgo może być zakłócany przez zbliżenia do Jowisza, na przykład w 1922 r. oba obiekty znalazły się zaledwie 0,89 AU od siebie.

Asteroida jest niezbyt duża (38 km), ciemna (zakłada się albedo równe 0,06), a badania krzywej blasku, wykonane przez ogólnoświatową sieć astronomów w 1990 r., sugerują istnienie na powierzchni rozległego, płaskiego obszaru, a może nawet dwóch. Jest typową planetoidą klasy D, złożoną z bogatych w związki organiczne krzemianów, węgla i – być może – wodnego lodu. Co ciekawe, przypuszcza się, że ten typ asteroid powstał wewnątrz... Pasa Kuipera.

Inny z wymienianych już centaurów, **65489 Ceto** (ten o bardzo rozległej orbicie, która bardzo rozszerza klasyczną definicję tej klasy obiektów), jest większy, a do tego podwójny, przy czym jego składniki niewiele się różnią: główny ma rozmiary 174 km, a towarzysz (nazwany **Phorcys**, od Forkosa – w mitologii męża Ceto i jej brata przy okazji) 131 km. Podwójność dała szansę określenia mas i gęstości, która okazała się dość niska (dla całego systemu: 1,37 g/cm^3), tak, jakby ciała składały się w połowie z lodu i skał, a do tego były nieco porowate. Sugerowano, że wzajemne oddziaływania pływowe, razem z innymi potencjalnymi źródłami ciepła (kolizje i rozpady promieniotwórcze) mogłyby nawet podgrzewać lód do temperatury krystalizacji (pamiętamy, że gdy jest zbyt zimno, jest on amorficzny?), co może nieco zmniejszać wolne przestrzenie wewnątrz obiektów. Phorcys obiega Ceto raz na 9,5 dnia, po orbicie o wielkiej półosi 1840 km i minimalnym mimośrodzie (0,004). Astronomowie mieli szczęście, znajdując ją w 2003 roku, bo tylko nieco wcześniej, w roku 1989, minęła swoje peryhelium. Teraz przez prawie 5 stuleci będzie się od nas oddalać.

Centaurem z satelitą jest też **(42235) Tyfon**, który mając średnicę 162 km obiegany jest przez księżyc o nazwie **Echidna** o średnicy 89 km (plus-minus błędy pomiarowe, cały czas o tym pamiętajmy!). Ten układ obiega Słońce po orbicie o wielkiej półosi nieco ponad 38 AU i mimośrodzie 0,54 raz na prawie 237 lat – i jest ciemny: albedo, to tylko 0,044.

Przedstawicielem czerwonych centaurów (tych nielicznych) jest **5145 Pholus** (imię od centaura Folosa, przyjaciela Heraklesa). Ten 185-kilometrowy obiekt obiega Słońce raz na prawie 92 lata, zbliżając się do niego bardziej niż Saturn, ale i oddalając się bardziej, niż Neptun. Jest tak czerwony, że jego odkrywcy nazywali go „Big Red". Na podstawie analizy widma stwierdzono, że jego powierzchnia pokryta jest amorficznym węglem i jednorodną mieszaniną metanowego i wodnego lodu, ziaren oliwinu (krzemianu żelaza i magnezu, o wzorze chemicznym $(Mg,Fe)_2SiO_4$) i skomplikowanych związków organicznych (tholinów). Co ciekawe – te dwa komponenty wydają się być przestrzennie rozdzielone.

Podczas, gdy centaury są ciemne (wskutek wystawienia ich powierzchni na promieniowanie Słoca i wiatr słoneczny), 84-kilomwreowy **8405 Asbolus**, jak pokazały analizy widma, wykonane przez HST, wydaje się mieć na powierzchni świeży krater uderzeniowy, który odsłonił głębsze warstwy czystego, silnie odbijającego światło lodu.

U 49-kilometrowej **52872 Okyrhoe** podczas przejścia przez peryhelium (zaledwie 5,8 AU od Słońca) w 2008 roku stwierdzono istotne zaburzenia blasku, które tłumaczy się jako efekt sublimacji lotnych substancji.

Na naszym „kometopodobnym" centaurze **60558 Echeclus** zaobserwowano 30 grudnia 2005 r. gwałtowny wyrzut dużej chmury pyłu, co mogło być wynikiem jakiegoś uderzenia, albo eksplozyjnego uwolnienia materiałów lotnych. Do takiego wybuchu doszło również, jak się wydaje astronomom, około czerwca 2011 r. w odległości 8,5 AU od Słońca.

83982 Crantor jest w rezonansie orbitalnym 1:1 z Uranem i pozornie zakreśla wokół niego orbitę w kształcie podkowy (trochę skośnej, bo kąt nachylenia jego orbity do płaszczyzny ekliptyki pod kątem prawie 13º.

Asteroida **(87269) 2000 OO_{67},** przez jednych astronomów uważana za centaura, a przez innych (większość, dodajmy uczciwie) za obiekt dysku rozproszonego, to kolejny obiekt, który obiega Słońce (raz na 16574 lata) po niezwykle wydłużonej orbicie: jej wielka półoś liczy sobie 646,8 AU, ale mimośród 0,968 podprowadza go na odległość 20,8 AU (niewiele dalej od Urana), ale i wyrzuca aż na 1278,8 AU. I podobny ni to centaur, ni to obiekt dysku rozproszonego, to **2006 SQ_{372}**, którego orbita ma półoś wielką 796 AU, mimośród 0,976, a jeden obieg trwa 22466 lat. **2000 OO_{67}** niedawno, 24 kwietnia 2005 r., minął peryhelium. O obydwu wiadomo niewiele, nawet rozmiary są określone w bardzo szerokich granicach: średnice pierwszego szacuje się na 38-86 km, a drugiego 60-140 km. Takie zaliczane przez część badaczy do centaurów planetoidy, jak **2013 AZ_{60}**, czy **2013 BL_{76}** mogą pochodzić nawet z wewnętrznego skraju Obłoku Oorta.

eprasa.pl 452d4c7cfd

2008 KV_{42} nosi w światku astronomicznym przydomek „**Drac**”, od hrabiego Draculi. Był to pierwszy transneptunowy obiekt, obiegający Słońce ruchem wstecznym, do tego po orbicie niemal prostopadłej do płaszczyzny ekliptyki (nachylenie 108º) – i stąd przydomek: Dracula też chodził po ścianach... **2013 LA_2** ma z kolei nachylenie orbity o wartości... 175,189º. To znaczy, że kąt, jaki tworzy ona z ekliptyką, to niespełna 5º, a ten centaur porusza się wokół Słońca niemal dokładnie przeciwnie, niż np. Ziemia.

Jak widać, nie brakuje tu ciekawych obiektów. Niestety są one stosunkowo małe i bardzo odległe, stąd na dzień dzisiejszy nie ma ani jednego zdjęcia ich powierzchni, choćby takiej klasy, jak Eris z jej satelitą. Jest jednak wyjątek, podejrzewa się bowiem, jeden z księżyców Saturna, Phoebe, jest... przechwyconym przez planetę centaurem. A sfotografował ją w 2004 roku, z odległości zaledwie 2068 lm, próbnik Cassini. Możemy więc zobaczyć, jak wygląda powierzchnia tego ciemnego, jak wszystkie ciała tej klasy, globu.

Krótkie podsumowanie

Badania przestrzeni poza Neptunem dopiero się, tak naprawdę, zaczęły. Mimo, że ich wyniki już są bardzo ciekawe, nadal wiele kwestii pozostaje nierozstrzygniętych. Jedną z nich jest pochodzenie **Klifu Kuipera**, czyli nagłego spadku liczebności asteroid około 50 AU od Słońca. czy jest to efekt – jednak! – istnienia nieco dalej masywnego, jeszcze nieodkrytego obiektu? Niektórzy sugerują, że na jego istnienie może wskazywać istnienie bardzo nachylonych do płaszczyzny ekliptyki, a czasem wręcz do niej niemal prostopadłych, orbit niektórych centaurów i obiektu rozproszonego. Do wyjaśnienia ruchu wielkich planet, w tym Neptuna, żaden taki obiekt nie jest potrzebny, ale pewności nigdy mieć nie można.

Kolejna rzecz – to pochodzenie różnych grup odległych obiektów, o którym wspominaliśmy już wcześniej. Wiele wskazuje na to, że wiąże się to z kształtami ich orbit i z barwą: czerwona wskazuje, że powstały tam gdzie są dzisiaj i nie zbliżały się ani do Słońca („zimne” cubewano), ani do innych gwiazd (sednoidy), zachowały więc większość substancji lotnych i łatwo sublimujących, np. metan. Ten zaś pod wpływem promieniowania UV przekształcił się w czerwone tholiny. Szara informuje, że obiekty przebywały w przeszłości w cieplejszych rejonach („gorące” cubewano i obiekty dysku rozproszonego). Centaury wydają się być skierowanymi z dysku rozproszonego lub wręcz z Obłoku Oorta kometami, w większości już pozbawionymi lotnych substancji. Poza tym Obłokiem jest już tylko heliopauza, ograniczająca obszar dominacji Słońca i – otwarta przestrzeń międzygwiazdowa.

No i ważna kwestia – czy powstające tam daleko tholiny mogły się w jakiś sposób przyczynić co powstania życia na Ziemi?

Badania wciąż trwają i odkrywane są kolejne obiekty transneptunowe, np. **2016 AK_{191}**, z półosią wielką orbity 35,022 AU i jej mimośrodem 0,531 – to kolejna asteroida z dysku rozproszonego. I warto pamiętać, że daleko w obszarze tego dysku oddalają się od Słońca cztery ziemskie sondy kosmiczne: w odległości prawie 134,5 AU w gwiazdozbiorze Wężownika –Voyager 1, 115 Auw gwiazdozbiorze Byka – Pioneer 10, 111 AU w Pawiu – Voyager 2 i 95 AU w Tarczy – Pioneer 11. Voyager 1 przeleciał zresztą przez heliopauzę w roku 2012 i przekazał na Ziemię zapis „szoku ciśnieniowego”, a Voyager 2 powinien to zrobić w roku 2016. Pioneery niestety już niczego nie przekazują – wyczerpały się im źródła zasilania. Jeśli ktoś chce – informacje o ich aktualnych położeniach i prędkościach są na polskojęzycznej, bardzo dobrej zresztą stronie internetowej **Heavens Above Home**, na angielskojęzycznej **The Sky Live** (wystarczy wpisać w wyszukiwarce np. „Voyager1 Live Position and Data”), a pewnie i na innych.

Teraz pozostaje nam czekać na przelot sondy New Horizons obok **2014 MU_{69}**. Trochę to jeszcze potrwa, ale warto.

Janusz Rokita

Źródła zdjęć: strona misji New Horizons NASA, Wikipedia.

Wędrujący biegun magnetyczny

Północny biegun magnetyczny zachowuje się w nietypowy sposób – donoszą naukowcy. Oddalając się od Kanady, przybliża się on w kierunku Syberii, ale dzieje się to z taką prędkością, że zmusiło specjalistów do wcześniejszej modyfikacji Światowego Modelu Pola Magnetycznego (World Magnetic Model).

Model opisuje pole magnetyczne planety i jest wykorzystywany przez urządzenia do nowoczesnej nawigacji – od statków po smartfony. Najnowsza wersja została opublikowana w 2015 r. i miała obowiązywać do roku 2020. Tymczasem aktualizacja okazała się niezbędna już teraz.

Ruch bieguna zajmował naukowców już od czasu pomiarów dokonanych w 1831 r. przez brytyjskiego badacza Arktyki i Antarktydy Jamesa Clarka Rossa. Jednak od lat 90. XX w. zaczął przyspieszać i obecnie osiągnął prędkość ok. 55 km rocznie.

W 2001 roku północny biegun znalazł się już na obszarze Oceanu Arktycznego, a w 2018 r. przekroczył międzynarodową linię zmiany daty, wkraczając na wschodnią półkulę. Teraz zbliża się w kierunku Syberii. Przyspieszająca wędrówka bieguna może być skutkiem ruchu szybkiego strumienia ciekłego żelaza pod Kanadą. Strumień ten niejako rozmywa i osłabia pole magnetyczne pod obszarem Kanady, które, jak tłumaczą naukowcy jest „przeciągane” na obszar Syberii.

Źródło: https://wiadomosci.onet.pl/nauka/pole-magnetyczne-ziemi-gwaltownie-sie-zmienia/4bjl75c

eprasa.pl 452d4c7cfd

Ludzie lubią świętować rocznice. Trudno powiedzieć na czym polega magia okrągłych liczb. W tym roku okrągłych rocznic nam nie zabraknie.

Narodziny nowoczesnej astronomii

Zbigniew **Wiśniewski**

Przypomnijmy więc soie na początek trzy niezwykle ważne daty.

1609 – Johanes Kepler publikuje licząc aż 650 stron książkę *Astronomia Nowa*, zawierającą wyniki swoich dziesięcioletnich obserwacji Marsa. Aby wyjaśnić otrzymane wyniki autor podał w niej dwa pierwsze prawa nazwane potem jego imieniem.

1609 – Galileo Galilei, zwany Galileuszem konstruuje swoją pierwszą lunetę i rozpoczyna obserwacje.

1619 – Johanes Kepler publikuje książkę *Harmonices Mundi* zawierającą trzecie prawo Keplera.

Daty te mają niezwykłe znaczenie, można powiedzieć, że rewolucyjne. Odkrycie praw Keplera pozwoliło skonstruować inny od arystotelesowsko-ptolemeuszowskiego obraz świata, czyli obalić liczący sobie ponad tysiąc lat model, w którym Ziemia była centrum Kosmosu. Obserwacje Galileusza dodatkowo to potwierdziły. Oczywiście jako Polak nie powinienem zapominać, że wszystko zaczęło się od Kopernika. Jednak system Keplera był dużo doskonalszy. To, że prawa Keplera dały się wyprowadzić na gruncie teorii grawitacji było poważnym dowodem na słuszność tej teorii.

Przed Kopernikiem, Galileuszem i Keplerem Wszechświat miał Układ Ptolemeuszowy. Popularnym stwierdzeniem jest, że był to układ geocentryczny. Stwierdzenie to miało wyrażać, że według tego układu centrum Wszechświata miało znajdować się w środku Ziemi. Otóż nie jest to ścisła prawda. Układem geocentrycznym w ścisłym tego słowa znaczeniu był tylko układ Arystotelesa i jego poprzedników. Układ Ptolemeuszowy nie był ściśle geocentryczny choć środki orbit planet znajdowały się w pobliżu Ziemi, lecz nie w jej środku.

Osobowość Keplera

Kim był Kepler? Na pewno nie był typowym naukowcem z dzisiejszego punktu widzenia. Zresztą ówczesnym naukowcom bliżej było do greckich badaczy przyrody niż do dzisiejszych urzędników nauki. O ile współcześni naukowcy potrafią latami badać procesy wokół jednego wulkanu na Marsie, to ówcześni zazwyczaj wyciągali niezwykle śmiałe i niezwykle ogólne wnioski. Tak też było w przypadku Keplera.

Kepler urodził się 27 grudnia 1571 roku w wolnym mieście cesarskim Weil pod Stuttgartem. Był najstarszym z siedmiu dzieci Katharyny i Heinricha Keplerów. Nie przystawał on do swoich czasów, ponieważ ówczesna epoka ceniła ludzi albo bogatych, albo silnych. Kepler nie pochodził z bogatej rodziny, choć z drugiej strony specjalnie biednej też nie. Co prawda jego dziadek piastował zaszczytną funkcję burmistrza, a ta była zastrzeżona dla bogatych, ale od tego czasu Keplerowie, można powiedzieć, roztrwonili znaczną część majątku.

Rys. 1 Johanes Kepler około roku 1610. Źródło Wikipedia, {{PD-US}}

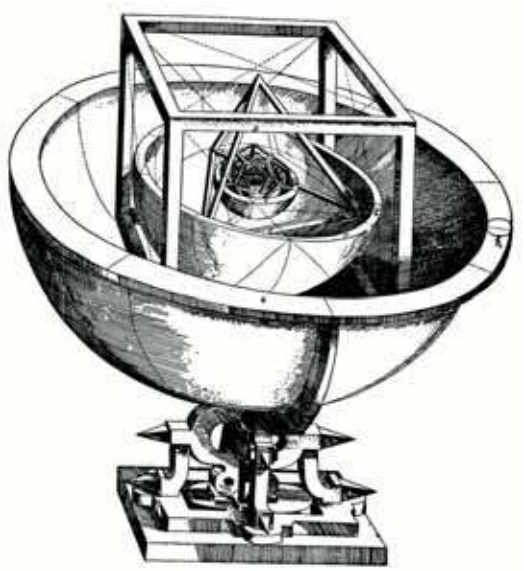
Jak podaje prof. Andrzej K. Wróblewski, Kepler był chłopcem o słabym zdrowiu. W latach późniejszych również nękały go poważne choroby. Można powiedzieć, że był Hawkingiem swoich czasów. Co ciekawe miał też poważne wady wzroku. Od najmłodszych lat wykazywał za to duże zdolności matematyczne. Ze względu na te cechy został najpierw posłany do szkoły podstawowej, a potem do seminarium w Maulbron. Jego zainteresowanie astronomią mogło być rozbudzone przez dwa niezwykłe wydarzenia. Pierwszym było pojawienie się wielkiej komety w 1577 roku. Drugim było całkowite zaćmienie Księżyca, które miało miejsce w 1580 roku.

W 1594 zdecydował się przyjąć posadę nauczyciela matematyki w szkole w Gratzu. Był to początek jego samodzielnych badań naukowych. Bez wątpienia był on mistykiem i astrologiem. W czasie swojego życia napisał około 800 przepowiedni astronomicznych. Jedną z nich sporządził dla Wallensteina, dowódcy wojsk cesarskich w pierwszej fazie wojny trzydziestoletniej. Napisał też dzieło, w którym podawał naukowe – w jego mniemaniu – uzasadnienie astrologii. Dowodem mistycznej natury Keplera jest jego pierwsza publikacja, która przyniosła mu sławę.

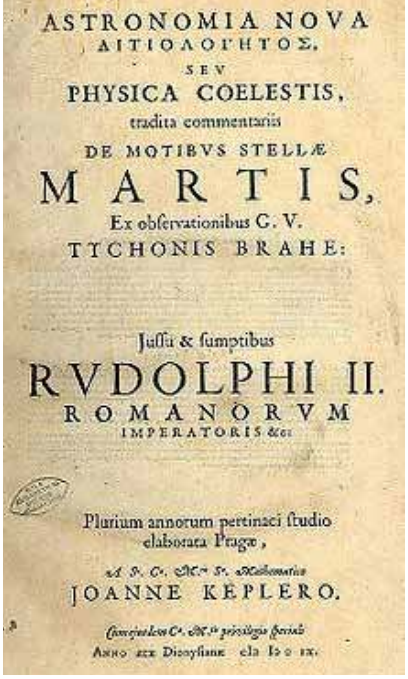
Mysterium Cosmographicum

Mysterium Cosmographicum, czyli tajemnica kosmologii, jakbyśmy mogli to powiedzieć, została opublikowana 1596 roku. Główną myślą tej książki było znalezienie odpowiedniości pomiędzy teologią a astronomią, przy czym faktycznie jako model Kosmosu Kepler przyjął model kopernikański nie rezygnując z obecności kryształowych sfer. Promienie tych sfer były związane z wymiarami brył platońskich, na których były opisane.

eprasa.pl 452d4c7cfd



Rys. 2. Układ koncentrycznych sfer jako model Wszechświata zaproponowany w Mysterium Cosmographicum

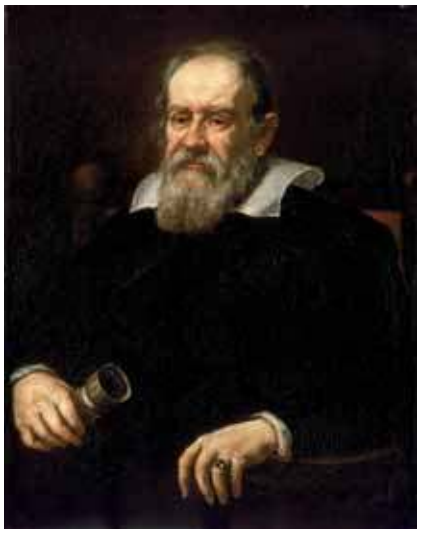


ASTRONOMIA NOVA
ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΤΟΣ,
SEV
PHYSICA COELESTIS,
tradita commentariis
DE MOTIBVS STELLÆ
MARTIS,
Ex observationibus G. V.
TYCHONIS BRAHE:

Jussu & sumptibus
RVDOLPHI II.
ROMANORVM
IMPERATORIS &c:

Plurium annorum pertinaci studio
elaborata Pragæ,
JOANNE KEPLERO.

Rys. 3. Astronomia Nova – strona tytułowa



Rys. 4. Galileusz – źródło Wikipedia, {{PD-US}}

Według teologicznej interpretacji centralne Słońce reprezentowało Boga Stwórcę, choć nim nie było. Kosmiczne sfery symbolizowały Jezusa, zaś przestrzeń między nimi była inkarnacją Ducha Świętego. Publikacja tej książki od razu uczyniła z Keplera słynnego astronoma, co między innymi umożliwiło mu poślubienie ówczesnej narzeczonej, ponieważ wcześniej ojciec ukochanej nie zgadzał się na jej ślub z ubogim belfrem. Poza korzyściami matrymonialnymi publikacja wspomnianej książki spowodowała, że największy żyjący wtedy astronom – Tycho de Brache, zaproponował mu posadę asystenta w swoim obserwatorium. To z kolei dało mu dostęp do danych dotyczących pomiarów orbity Marsa. Gdyby nie to nigdy prawdopodobnie nie powstałoby jego kolejne dzieło – *Astronomia Nova*, opublikowane w 1609 roku.

Astronomia Nova

Książka ta zawiera analizę obserwacji dokonanych przez jego poprzednika i mistrza Tychona de Brache. Zawierała pierwsze i drugie prawo ruchu planet nazwane później prawami Keplera. System Keplera znacznie poprawiał system Kopernika. W systemie kopernikańskim środki orbit planet były „zawieszone w próżni". W tym momencie czytelnik może się spytać – jak to w próżni, nie w środku Słońca? Otóż nie. W systemie kopernikańskim środki orbit planet były blisko środka Słońca, lecz poza nim. Teraz Kepler umieścił Słońce w jednym z ognisk elipsy, po której poruszały się planety.

Książka ta zawiera ważny przełom w podejściu do astronomii jako takiej. Otóż do tej pory ruch planet opisywano kinematycznie, czyli bez pytania o przyczynę takiego, a nie innego ruchu planet. Kepler zaczął prowadzić rozważania na temat sił odpowiedzialnych za ruch planet. Były to jego zdaniem pewne „siły magnetyczne" pochodzące od Słońca. Ich zależność od odległości była odwrotnie proporcjonalna do odległości. Był więc w tym sensie prekursorem prawa grawitacji Newtona. Wyprowadzenie jednak prawidłowej relacji na zależność siły od odległości nie jest jednak możliwe bez rachunku różniczkowego. Dodatkowo Kepler błędnie założył, że wspomniane siły magnetyczne rozchodzą się w dwóch a nie trzech wymiarach.

Pierwsze obserwacje za pomocą lunety

W tym miejscu musimy dokonać pewnej przerwy w opowiadaniu o osiągnięciach Keplera. W roku 1609 miało miejsce jeszcze jedno przełomowe wydarzenie. Otóż pod koniec tego roku Galileusz skonstruował lunetę i jako pierwszy użył jej do obserwacji astronomicznych. Należy podkreślić, że Galileusz nie był wynalazcą lunety. Był to wynalazek holenderski. Co ciekawe Holendrzy nie przyznali ochrony patentowej pomysłodawcy lunety twierdząc, że jest to wynalazek zbyt prosty do powielenia, co faktycznie nastąpiło.

Luneta Galileusza była układem dwóch soczewek. W obiektywie znajdowała się soczewka płasko wypukła. W okularze natomiast soczewka wklęsła. Obraz otrzymany jest obrazem prostym, oczywiście powiększonym. Największe powiększenie osiągnięte przez Galileusza wynosiło 30 razy. Inną konstrukcje zaproponował znany nam już Kepler. Jego luneta miała składać się z dwóch soczewek płasko wypukłych. W takim układzie można było otrzymywać większe powiększenia, ale obraz był odwrócony. Olbrzymim teleskopem typu Keplera posługiwał się polski astronom Jan Heweliusz.

Należy pamiętać, że obrazy uzyskiwane w lunetach nie są wolne od wad co ogranicza możliwości ich zastosowań. Wady te związane są z tym, że współczynnik załamania fal świetlnych w szkle zależy od długości fali. Wad tych nie mają teleskopy zwierciadlane, których konstrukcje po raz pierwszy opracował Newton. Ale wróćmy do pierwszych obserwacji Galileusza.

Wyniki swoich obserwacji zawarł Galileusz w wydanej rok później broszurze *Gwiezdny Posłaniec*. Dzieło to nie było zbyt wielkie, liczyło bowiem zaledwie 24 strony, ale wywołało wstrząs wśród ówczesnych naukowców. Trudno przecenić wagę tego osiągnięcia. Pozwoliło ono

eprasa.pl 452d4c7cfd

bowiem po raz pierwszy „zbliżyć się” do odległych ciał niebieskich. Używając lunety Galileusz odkrył, że Droga Mleczna nie jest obiektem ciągłym, lecz stanowi zbiór gwiazd. Stwierdził też, że niebo zawiera znacznie więcej gwiazd niż widać gołym okiem. Podał nawet liczbę 10 razy więcej, choć trudno uznać ją za dokładną.

Analizując obraz Księżyca stwierdził, że w ogólnych zarysach przypomina Ziemię. Stwierdził też, że są tam góry i morza. Tym stwierdzeniem rozpoczął trwającą ok. 400 lat dyskusję poświęconą pytaniu czy jest tam życie. Nakreślił szkice swoich obserwacji jednak nie wyróżnił żadnych specyficznych jednostek geologicznych. Dokonał tego dopiero Michael Florent van Langren, który na podstawie swoich własnych badań teleskopowych sporządził pierwszą mapę Księżyca nadając obserwowanym obiektom nazwy, które w większości przetrwały do dziś. Nie zapomniał przy tym o sobie nadając jednemu z kraterów własne imię.

Ioannis Keppleri
HARMONICES
MVNDI
LIBRI V. QVORVM
Primus GEOMETRICVS, De Figurarum Regularium, quæ Proportiones Harmonicas constituunt, ortu & demonstrationibus.
Secundus ARCHITECTONICVS, seu ex GEOMETRIA FIGVRATA, De Figurarum Regularium Congruentia in plano vel solido:
Tertius proprie HARMONICVS, De Proportionum Harmonicarum ortu ex Figuris; deque Natura & Differentiis rerum ad cantum pertinentium, contra Veteres:
Quartus METAPHYSICVS, PSYCHOLOGICVS & ATTROLOGICVS, De Harmoniarum mentali Essentia earumque generibus in Mundo; præsertim de Harmonia radiorum, ex corporibus cœlestibus in Terram descendentibus, eiusque effectu in Natura seu Anima sublunari & Humana:
Quintus ASTRONOMICVS & METAPHYSICVS, De Harmoniis absolutissimis motuum cœlestium, ortuque Eccentricitatum ex proportionibus Harmonicis.
Appendix habet comparationem huius Operis cum Harmonices Cl. Ptolemæi libro III. cumque Roberti de Fluctibus, dicti Flud. Medici Oxoniensis speculationibus Harmonicis, operi de Macrocosmo & Microcosmo insertis.
Cum S. C. M^ti. Priuilegio ad annos XV.
Lincii Austriæ,
Sumptibus GODOFREDI TAMPACHII Bibl. Francof.
Excudebat IOANNES PLANCVS.
ANNO M. DC. XIX.

Rys. 5. Harmonices Mundi – strona tytułowa

Wróćmy do Galileusza. Obserwując Jowisza wykrył obecność czterech Gwiazd Medycejskich, które były w rzeczywistości księżycami Jowisza. System Jowisza stanowił układ podobny do Układu Kopernikańskiego. Było to więc swego rodzaju potwierdzeniem kopernikańsko-keplerowskiego modelu Wszechświata. Potwierdzeniem w tym sensie, że duży obiekt centralny obiegają mniejsze obiekty.

Galileusz po raz pierwszy stwierdził też odmienność Saturna, którego określił jako planetę potrójną, gdyż taki efekt kosmiczny dawał widoczny tam pierścień. Najważniejsza, moim zdaniem, obserwacja dokonana przez Galileusza nie została opisana w *Gwiezdnym Posłańcu*. Galileusz zaobserwował bowiem fazy Wenus swoją formą zbliżone do faz Księżyca. Istnienie takich faz jest sprzeczne z modelem Ptolemeusza i stanowiło ostateczny argument za jego odrzuceniem. Chociaż należy podkreślić, że nie pchała ona od razu astronomów w objęcia systemu Kopernika. Istniały bowiem pewne systemy pośrednie jak system Tychona de Brache. Swoistym dopełnieniem obserwacji dokonanych przez Galileusza i gwoździem do trumny sytemu Ptolemeusza była dokonana w 1639 roku przez Giovanniego Battista Zupiego obserwacja faz Merkurego.

Harmonices Mundi

Dokonaliśmy jednak zbyt dużego wybiegu w czasie. Porzuciliśmy też naszego pierwszego bohatera Keplera. Tymczasem w 1619 roku publikuje on *Harmonices Mundi*. Było to dzieło zawierające skomplikowane rozważania na temat harmonii w wielu dziedzinach życia, w tym w muzyce. Z naszego jednak punktu widzenia ważniejsze jest to, że w książce tej Kepler opublikował swoje trzecie prawo, zwane trzecim prawem Keplera. Kepler usiłował uzasadnić swoje prawo na podstawie rozważań dynamicznych. Nie był jednak w stanie przeprowadzić tego ściśle. Aby sprostać temu zadaniu trzeba by było znać dokładnie rachunek różniczkowy i prawo grawitacji Newtona, a na to trzeba było jeszcze poczekać, choć nie tak znów długo. Publikacje praw Keplera i zasad Newtona nie dzieli więcej niż 60 lat.

Miłośnicy teorii numerologicznych na pewno mogliby z powyższego krótkiego artykułu wywnioskować, że lata kończące się na 9 to lata niezwykle korzystne dla badań astronomicznych. Nie będę zaprzeczał. Jeśli takie stwierdzenie ma kogoś zachęcić do badań naukowych, to na pewno nic złego z tego nie wyniknie.

Zbigniew Wiśniewski
Europejska Uczelnia w Warszawie

LITERATURA

[1] John North , Historia Astronomii i Kosmologii, Katowice 1997 wydawnictwo Książnica
[2] Andrzej Kajetan Wróblewski „Historia Fizyki” PWN 2006 Warszawa
[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler

W następnym wydaniu polecamy m.in.:

Kolonizacja Marsa – nowy rozdział w historii człowieka?

Jeszcze kilkanaście lat temu wyprawa na Marsa wydawała się zupełną abstrakcją, a dzisiaj pojawiają się zagadnienia dotyczące jego kolonizacji. Co więcej, pewna część ludzkości nigdy nie była edukowana i nie jest świadoma ogromu Kosmosu i Wszechświata. Nawet nie postawiliśmy na Czerwonej Planecie stopy, a już chcemy na niej mieszkać. Skąd ten pośpiech?

Rozpoczynając rozważania na temat kolonizacji Marsa trzeba zadać sobie jeszcze kilka podstawowych pytań: Czemu mamy opuścić Ziemię? Dlaczego Mars? Jak zamierzamy na nim wylądować? Te oraz kilka innych wątpliwości, mam nadzieję rozwiać.

eprasa.pl 452d4c7cfd

Wydanie specjalne
w wersji elektronicznej
(plik PDF)

Tylko 15 zł!

Każdy może eksperymentować!

Dowiedz się:

- Jak otrzymać metaliczne, a jak chemiczne rośliny?
- Co i jak można zrobić z piasku?
- Jak wyhodować chemicznego węża?
- Czy zielona herbata może świecić?
- Do czego chemikowi przydaje się aspiryna?

Formularz zamówienia na: www.aspress.com.pl/specjalne/

eprasa.pl 452d4c7cid

Rocznik 2018

teraz 50% taniej

Szczegóły na: www.aspress.com.pl