

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

362 (LXIV) indeks 35810X Nr 3 maj/czerwiec 2019 CENA 27,50 zł (w tym 5% VAT)

Wstrząsy sejsmiczne a działalność człowieka

Ogrodnictwo w mikroświecie

Samoorganizacja materii w złożone struktury

Ultrazimne atomy

Tajniki niskich temperatur

Co się dzieje wewnątrz Słońca?

Zjawiska fizyko-chemiczne w gwiazdach

ZADANIA

- Dzisiaj klasówka z kinematyki
- Paradoksy w zadaniach z fizyki



Dlaczego chcemy zamieszkać na Czerwonej Planecie?

Kolonizacja Marsa



Lekcje w terenie



- ✓ Hydrologia w praktyce.
- ✓ Edukacja wokół drzew.
- ✓ Miasta i ich przeobrażenia.
- ✓ Wisłą od źródeł do ujścia.
- ✓ Prognozowanie pogody.
- ✓ Historia Ziemi w kamieniach.

Wydanie specjalne
w wersji elektronicznej
(plik PDF)

Tylko 15 zł!

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

eprasa.pl a7c2d382d9

Drodzy Czytelnicy!

Zwielką przyjemnością oddajemy Państwu ten oto wakacyjny numer „Fizyki w Szkole”. Mamy nadzieję, że mimo gorącej atmosfery lata znajdą Państwo czas na lekturę naszego magazynu. Nie wszystko na naszej planecie jest gorące. Są miejsca, gdzie jest naprawdę zimno. Takimi miejscami są, jak się Państwo z pewnością domyślają, laboratoria naukowców. Otóż dzięki umiejętnemu użyciu promieni lasera i pola magnetycznego udaje się oziębic ośrodki do setnych części Kelwina otrzymując najniższe temperatury jakie spotykamy we Wszechświecie. Są to temperatury niższe niż słynne promieniowanie tła. Materia w takich warunkach nabiera bardzo dziwnych właściwości. Jakich? Tego dowiedzieć się mogą Państwo z artykułu Mariusza Zawadzkiego *Ultrazimne atomy od kuchni*.

Inną dziedziną fizyki, w której możemy się spodziewać tzw. nieintuicyjnych efektów jest fizyka relatywistyczna. Takim niezwykłym efektem poświęcony jest kolejny artykuł Jana Kurzyka *Paradoksy szczególnej teorii względności*. Autor zajmuje się w nim kwestiami wynikającymi ze zmian wymiarów związanymi z wzajemnym ruchem obiektów.

Trzecim artykułem, który tutaj wymienię jest artykuł Jakuba Wawrzyniaka i Katarzyny Siuzdak *Ogrodnictwo w mikroświecie*. Nie chodzi tu o hodowanie pleśni pod mikroskopem, lecz o coś znacznie bardziej fascynującego. Chodzi mianowicie o procesy samoorganizacji. Procesy te z jednej strony są zasadnicze, jeśli chodzi o organizmy żywe. Z drugiej strony zachodzą one w świecie nieorganicznych molekuł, prowadząc do powstawania form do złudzenia przypominających ogrodowe rośliny. W artykule naszkicowana jest zarówno fizyka, jak i chemia wspomnianych procesów. Poza tym jest w nim sporo fascynujących zdjęć.

Kończąc życząc Państwu udanych wakacji i miłej lektury.

W imieniu redakcji

Redaktor prowadzący
Zbigniew Wiśniewski



9 O przemyśle i trzęsieniach ziemi † Zbigniew Wiśniewski

Trzęsienia ziemi zaczynają się pojawiać tam, gdzie nikt ich się nie spodziewa. Są one związane z działalnością człowieka. Niektóre z nich są znane praktycznie od wieków. Nosiły kiedyś nazwę szkód górniczych. Są one związane z wydobywaniem surowców z wnętrza Ziemi. Oczywiście tego typu zjawiska nie zniknęły, ale pojawiły się też nowe.

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

4 Ultrazimne atomy od kuchni † Mariusz Zawadzki

12 Ogrodnictwo w mikroświecie † Jakub Wawrzyniak, Katarzyna Siuzdak

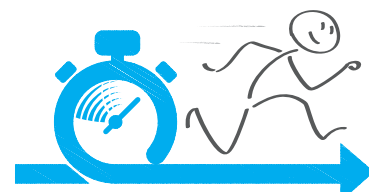
16 Paradoksy szczególnej teorii względności. Część III † Jerzy Kurzyk

Z naszych lekcji

22 Dzisiaj klasówka z... † Alicja Szymańska

27 Integrowanie metod fizyki i matematyki † Andrzej Sokołowski

Jakkolwiek polska dydaktyka fizyki nie dokumentuje prac w kierunku większego zastosowania matematyki na lekcjach fizyki, wydaje się, że zachęcanie do podejmowania takowych prób i wcielanie w życie dobrych rozwiązań może mieć pozytywny wpływ nie tylko na rozumienie fizyki, ale również na zwiększenie zainteresowania uczniów fizyką i matematyką.



31 Paradoksy w zadaniach z fizyki † Czesław Surowiec

34 Prosta metoda szacowania odległości od Księżycy † Roman Bochanyś, Ludwik Lehman

Astronomia dla każdego

36 Słońce – nasza dzienna gwiazda cz. 2 † Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski

Głównym zadaniem dla astronomów zajmujących się strukturą wewnętrzną gwiazd jest zbudowanie modelu struktury wnętrza gwiazdowych, który uwzględniłby wyjaśnienie i odtworzenie zjawisk fizyko-chemicznych zachodzących w ich wnętrzu.



42 Kolonizacja Marsa. Nowy rozdział w historii człowieka? † Anna Janeczek

FIZYKA
w Szkole z Astronomią

NUMER 3 MAJ/CZERWIEC 2019 Nakład 3000 egz. CENA 27,50 zł
362 (LXI) indeks 35810X ISSN 0426-3383 (w tym 5% VAT)

Komitet redakcyjny Krystyna Jabłońska-Ławniczak, Jerzy Kreiner, Andrzej Majhofer (Przewodniczący Komitetu), Zygmunt Mazur, Andrzej Szymacha, Mirosław Trociuk
Redakcja Zbigniew Wiśniewski (redaktor prowadzący – fizyks@wp.pl) **Adres redakcji** ul. Warchałowskiego 2/58, 02-776 Warszawa **Wydawnictwo** Agencja AS Józef Szewczyk, ul. Warchałowskiego 2/58, 02-776 Warszawa, e-mail: szewczyk24@gmail.com, tel. 606 201 244, www.aspress.com.pl, NIP: 951-134-91-51 **Wydawca** i **redaktor naczelny** Józef Szewczyk, szewczyk24@gmail.com **Prenumerata** www.aspress.com.pl/prenumerata-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 wspis treści: Adobe Stock

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

Ultrazimne atomy od kuchni

W niemalże każdym gospodarstwie domowym podstawowym sprzętem kuchennym jest chłodziarko-zamrażarka, potocznie nazywana lodówką. Pomaga ona w utrzymaniu świeżości produktów spożywczych i jest nieoceniona zwłaszcza w upalne dni. Mało kto jednak zastanawia się jakie procesy termodynamiczne są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania chłodziarki, czy mówiąc ogólniej, jaka fizyka kryje się za działającą lodówką?

Mateusz Zawadzki

Niemniej fizyka niskich temperatur to coś więcej niż obniżanie temperatury w domowej chłodziarce. Zanim zaczniemy zagłębiać się w tajniki osiągania niskich temperatur, zastanówmy się, dlaczego jest to tak interesujące? W odpowiedzi na powyższe pytanie pomoże nasza wyobraźnia. Załóżmy kilka, co prawda nierealistycznych hipotez, pomocnych w unaocznieniu sensu osiągania temperatur o wiele niższych niż te, z którymi spotykamy się na co dzień.

Jeżeli mieszkalibyśmy na Słońcu, którego temperatura powierzchni osiąga niebagatelną temperaturę 10^5 Kelwinów i dodatkowo nie wiedzielibyśmy o istnieniu Ziemi, to niektóre fizyczne procesy odbywające się na Ziemi również nie byłyby nam znane. Jeżeli natomiast na Słońcu dysponowalibyśmy wyjątkowym urządzeniem pozwalającym na schłodzenie części Słońca oraz posiadalibyśmy ciekawość poznania co może wydarzyć się w zakresie niskich temperatur, niewątpliwie odkrylibyśmy nieznanne zjawiska, takie jak przemiany fazowe. Niesamowita zmiana pary w ciec, cieczy w ciało stałe oraz fizyczne właściwości tych stanów, byłyby czymś zupełnie nowym i nadzwyczajnym na Słońcu.

Zimna fizyka

Prawdopodobnie podobne nastawienie mieli i nadal mają naukowcy na Ziemi, którzy zajmują się badaniem *zimnej fizyki*. Chęć sprawdzenia co naprawdę dzieje się w niskich temperaturach została sownie nagrodzona. Chociażby odkrycie nieintuicyjnych niskotemperaturowych właściwości nadciekłości oraz nadprzewodnictwa [1]. W niskich temperaturach kwantowe efekty związane z wewnętrzną strukturą atomów odgrywają bardzo ważną, wręcz dominującą rolę, co z kolei umożliwia obserwację niesamowitych efektów w skali makroskopowej.

Kwantowo-mechaniczny opis cząstek dzieli je na dwie podkategorie charakteryzujące się spinem: bozony o całkowitym spinie oraz fermiony posiadające spin połówkowy. Każda grupa wykazuje różne właściwości fizyczne. Bozony *przyjaźnią się* z innymi bozonami i nie ma ograniczeń co do ich liczby w tym samym stanie kwantowym, podczas gdy dwa fermiony nie mogą jednocześnie przebywać w tym samym stanie kwantowym, jeżeli znajdu-

ją się w tym jednym układzie kwantowym, co jest znane jako zasada Pauliego.

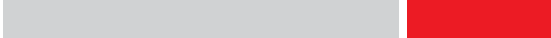
Pierwszy teoretyczny opis zespołu bozonów w tym samym stanie kwantowym zbadali Bose i Einstein [2, 3]. W 1924 roku ci dwaj naukowcy stworzyli podstawy teoretyczne dla nowej dziedziny fizyki. Przewidywali, że jeśli zbiór atomów bozonowych zostanie schłodzony do najniższej możliwej temperatury wynikającej z energii kinetycznej, wszystkie atomy powinny *zapaść się* w stan podstawowy. W konsekwencji można zaobserwować makroskopowe zajęcie jednego stanu kwantowego (stanu podstawowego). Tak zwana kondensacja cząstek bozonowych w jeden stan kwantowy jest dziś znana pod nazwą kondensacji Bosego-Einsteina (BEC) [1, 4].

Kondensacja Bosego-Einsteina to przemiana fazowa zachodząca w określonej temperaturze i gęstości. Kiedy bozonowa próbka atomowa ma bardzo niską temperaturę i dużą gęstość, termiczna fala de Broglie'a może osiągnąć wartości porównywalne ze średnimi odległościami między cząstkami. W takich warunkach ma miejsce kondensacja kwantowa. Powszechnie stosowaną wielkością, która łączy średnie odległości międzycząstkowe i długość fali de Broglie'a, jest gęstość przestrzeni fazowej (PSD). Podczas przejścia fazowego Bosego-Einsteina PSD jest w przybliżeniu równe jedności¹.

Ogromna przepaść między gęstością i temperaturą w pomieszczeniu i gęstością przestrzeni fazowej w warunkach kwantowej kondensacji sprawia, że eksperymentalna droga do kondensatu jest bardzo trudna. Wielu słynnych fizyków, którzy żyli po 1924 r., nie wierzyło w możliwość realizacji zjawiska statystyki kwantowej, które wymagało ultraniskich temperatur przy tak wysokich gęstościach. Ponad 70 lat zajęło pokonanie wielu przeszkód by uzyskać kondensację kwantową. W dniu 5 czerwca 1995 r. po raz pierwszy w historii, kondensat gazowy został wyprodukowany przez zespół badaczy z University of Colorado w Boulder (JILA) [5]. Cztery miesiące później, 13 września, inna grupa badaczy z Massachusetts Institute of Technology (MIT) otrzymała kondensat, który był około 1000 razy większy [6]. Prace te zostały nagrodzone nagrodą Nobla w 2001 roku.

Zastanówmy się teraz jak wygląda eksperymentalna droga w osiąganiu bardzo niskich temperatur. A następnie zwróćmy uwagę na niektóre, możliwe zastosowania eksperymentów z *zimnej fizyki*.

¹ Wartość gęstości przestrzeni fazowej zależy od potencjału pułapującego. Dla trójwymiarowego potencjału harmonicznego $PSD \approx 1,202$ dla przejścia fazowego Bosego-Einsteina.



Rysunek 1. Diagram energetyczny dla ^{87}Rb (nie w skali) z naniesionymi przejściami atomowymi, na których operują lasery w poszczególnych etapach chłodzenia. Liczby całkowite opisane na stanach energetycznych to magnetyczne liczby kwantowe mF . Stan kwantowy $|F=2, mF=2\rangle$, to stan, w którym następuje kondensacja BEC. Użyte oznaczenia: gF – czynnik Landégo, F – liczba kwantowa momentu pędu (struktura nadsubtelna).

Od początku!

Pierwszy eksperymentalny dowód na kondensację Bose-Einsteina został zaobserwowany w 1938 roku, kiedy to atomy izotopu helu ^4He zostały schłodzone poniżej temperatury 2.12 K [7]. W tych warunkach atomy helu ^4He , które są bozonami tworzą płyn bez lepkości – tak zwaną nadciecz. Jednak jeszcze nikt nie zaobserwował kondensatu w gazach atomowych, ponieważ nie było możliwe schłodzenie ich do wymaganych temperatur z zakresu nanokelwinów. Począwszy od lat 80., fizycy zaczęli opracowywać genialne techniki optyczne i magnetyczne do izolowania i pułapkowania atomów oraz spowalniania ich ruchu.

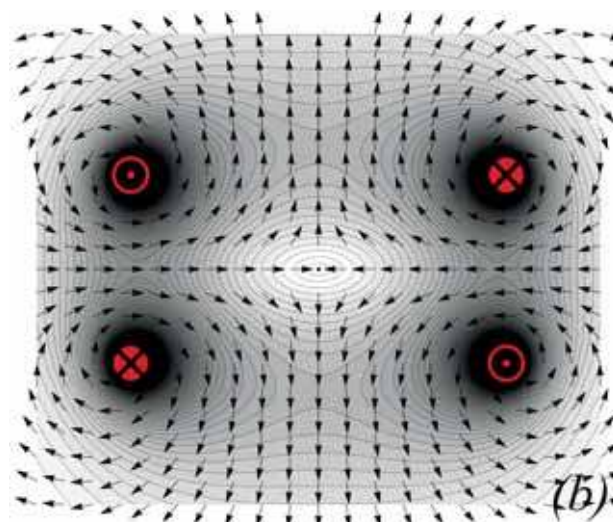
Atomy metali alkalicznych były idealnym kandydatem do schładzania tymi metodami: po pierwsze są bozonami, a po drugie ich wewnętrzne energie są łatwe do manipulowania. Posłużmy się przykładem rubidu, a dokładnie jego izotopem ^{87}Rb , który uważa się za łatwy do chłodzenia obiekt atomowy przy osiąganiu kondensatu. Wyszczególnione stany energetyczne rubidu przedstawione zostały na Rys. 1. Upraszczając, można powiedzieć, że celem metod eksperymentalnych przy wytwarzaniu kondensatu Bose-Einsteina jest umieszczenie możliwie jak największej liczby atomów w określonym (podstawowym) stanie kwantowym. Oprócz ultrawysokiej próżni i fotonów o określonej energii ze stabilnych laserów oraz całej gamy aparatury pomocniczej, wymagana jest pewna sekwencja następujących po sobie działań. Sposób otrzymywania kondensatu w chmurze atomowej ^{87}Rb , można opisać za pomocą trzech kroków:

(1) chłodzenie laserowe → (2) pułapkowanie magnetyczne → (3) chłodzenie przez odparowanie

Temperatura atomów jest w rzeczywistości odzwierciedleniem prędkości cząstek. Im szybsze atomy, tym wyższa energia kinetyczna i tym samym temperatura. Innymi słowy schłodzenie próbki atomowej oznacza spowolnienie atomów. Stąd też trzeba wziąć pod uwagę jak zmienić pęd atomów.

Technika eksperymentalna oparta na użyciu lasera do chłodzenia chmur atomowych jest genialna – atomy są spowalniane za pomocą wiązki laserowej. Wykorzystanie lasera jako spójnego źródła światła zapewnia nośniki pędu w postaci fotonów, które to oddziałując z atomami są w stanie spowolnić ruch cząstek atomowych. Idea chłodzenia laserowego została zaproponowana w 1975 r. przez dwie niezależne grupy [8] [9]. Niedługo potem w Laboratoriach AT & T Bell Labs w 1985 r. wykonano pierwszą realizację trójwymiarowego chłodzenia laserowego na atomach [10]. Podczas tego eksperymentu osiągnięto temperaturę 240 μK , przy gęstości atomowej $\approx 106 \text{ cm}^{-3}$.

Zasadniczo technika chłodzenia atomów wykorzystuje zjawisko absorpcji, a następnie spontanicznej emisji fotonów, co prowadzi do oddziaływania sił pochodzących od promieniowania fotonowego. Siły te są zależne od prędkości poprzez efekt Dopplera. Trójwymiarowy układ chłodzenia laserem opiera się na trzech parach przeciwbieżnych wiązek oddziałujących na atomy umieszczone w próżni. Częstotliwość światła laserowego może być regulowana w taki sposób, że gdy tylko atomy zaczyna



Rysunek 2. (a) 3D magneto-optyczna pułapka. Konfiguracja MOT zgodnie z nazwą łączy elementy magnetyczne i optyczne. Dwie współosiowe cewki (kolor niebieski) z przeciwnymi kierunkami przepływającego prądu (strzałki) zapewniają pole magnetyczne wewnątrz pułapki. Wiązki laserowe (kolor czerwony) wraz z oznaczeniem polaryzacji (σ) dla każdej użytej wiązki laserowej. (b) Przekrój pola magnetycznego z wykresem pola wektorowego wewnątrz pułapki MOT; używana jest ta sama geometria co w przypadku cewek Helmholtza, ale prąd płynie przez cewki w przeciwnym kierunku.

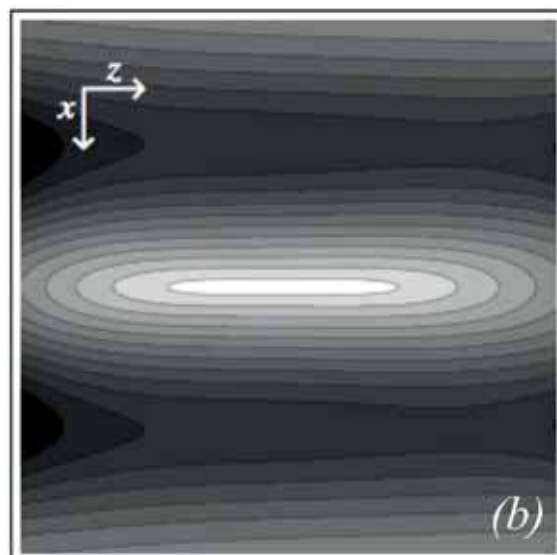
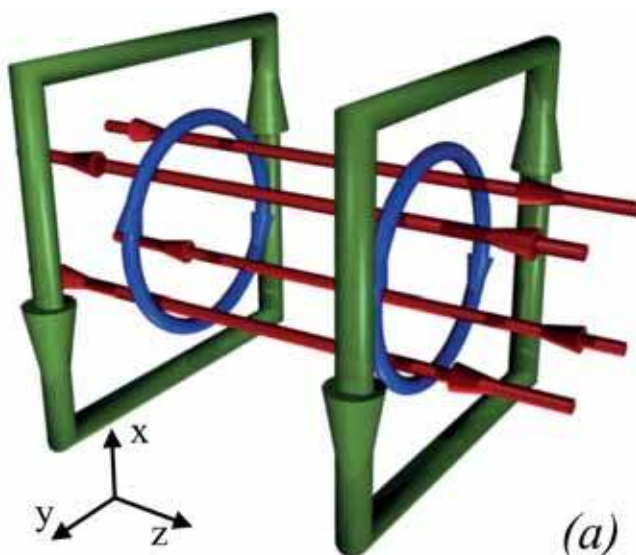
się poruszać w kierunku jednej z wiązek laserowych, doświadczają one siły oddziałującej na nie w przeciwnym kierunku.

Lepki charakter siły pochodzącej od fotonów odstrojonych do czerwonego (laserowe światło ma nieco niższą częstotliwość niż przejście poziomu energetycznego w atomie) dobrze ujmuje określenie optycznej melasy. W takim układzie atomy mogą być hamowane przez światło z przyspieszeniem $\approx 10^5 g$. Oznacza to, że atomy posiadające prędkość setek m/s mogą zostać zatrzymane w czasie milisekund. Aby zwiększyć gęstość przestrzeni fazowej melasy optycznej stosuje się pole magnetyczne. Ta szczególna konfiguracja: lasery zapewniające siłę zależną od prędkości i pole magnetyczne powodujące zależną od położenia siłę światła, powoduje znaczny wzrost parametru PSD. Ta konfiguracja jest znana jako pułapka magneto-optyczna (MOT). Schemat pułapki przedsta-

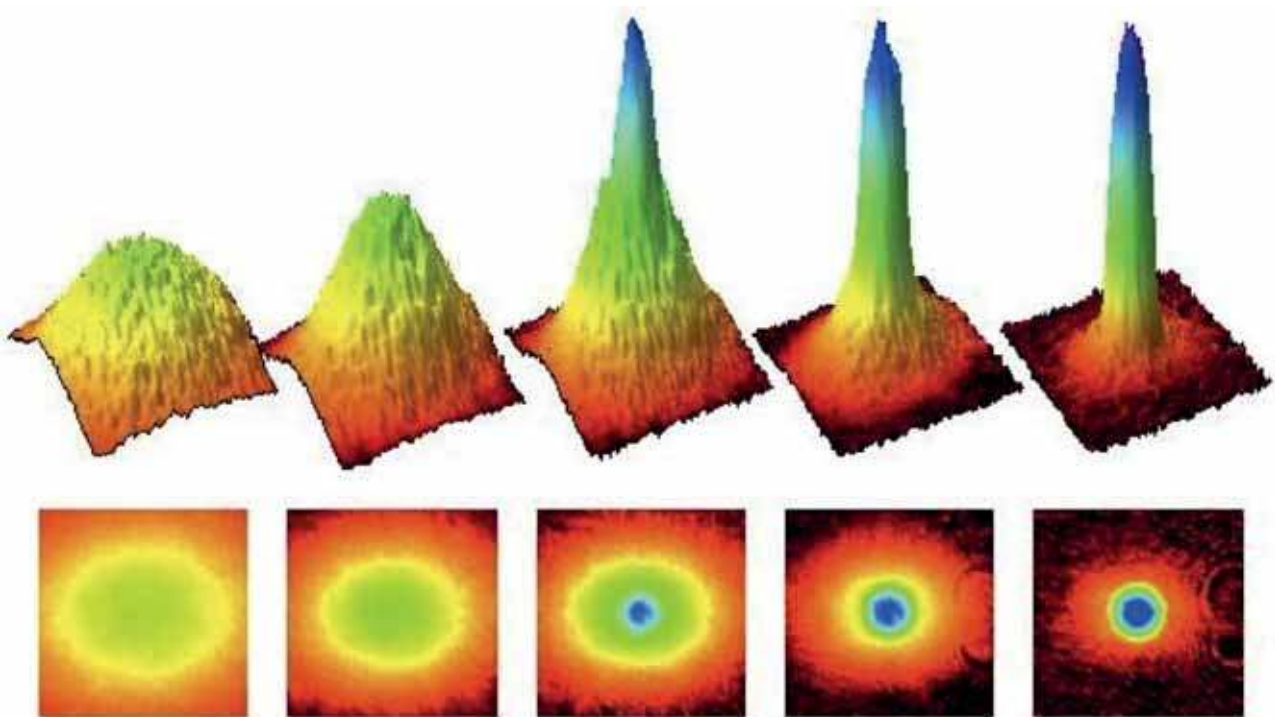
wiono na Rys. 2. Tak spowolnione i spułapkowane atomy można umieścić w pułapce magnetycznej, w której następuje kolejny etap chłodzenia.

Sama pułapka magnetyczna działa na zasadzie oddziaływania pola magnetycznego na atomy posiadające magnetyczny moment dipolowy. Wykorzystując fakt, że rozkład przestrzenny atomów może być ograniczony przez pole magnetyczne, doprowadza się do sytuacji, że pułapkowana chmura atomowa jest uwięziona w minimum pola magnetycznego. Oczywiście należy nadmienić, że atomy w tej chmurze muszą spełnić określone energetyczne wymagania, aby było możliwe umieszczenie ich w tym lokalnym minimum. Taki *pojemnik bez fizycznych ścian* ograniczający chmurę atomową zastosowano z powodzeniem w wielu eksperymentach.

Dodatkowo, adiabatyczna kompresja pułapki magnetycznej jest potężnym narzędziem do zwiększania gęsto-



Rysunek 3: (a) Geometria cewek pułapki magnetycznej typu Ioffe-Prichard. Kierunki przepływu prądu przez poszczególne elementy pułapki oznaczone są strzałkami; (b) linie pola magnetycznego wewnątrz pułapki magnetycznej.



Rysunek 4: Tworzenie kondensatu Bose-Einsteina podczas schładzania przez odparowanie. Końcowe częstotliwości noża optycznego to (od lewej do prawej): 4,580 MHz, 4,560 MHz, 4,555 MHz, 4,550 MHz, 4,540 MHz. Górny rząd zawiera trójwymiarowe obrazy powstawania BEC, gdzie wysokość piku jest gęstością optyczną chmury atomowej. Rozmiar pojedynczego zdjęcia wynosi 0,4 mm². Zdjęcia eksperymentalne z laboratorium Uniwersytetu Strathclyde w Glasgow.

ści uwięzionego gazu. Dzięki temu zapewnia się odpowiednią ilość zderzeń elastycznych, które są niezwykle ważne w procesie retermalizacji chmury atomowej w pułapce. Typowa pułapka magnetyczna typu Ioffe-Pricharda [11] (Rys. 3), oferuje geometrię i zakres częstotliwości, umożliwiające rozpoczęcie efektywnego chłodzenia przez odparowanie – ostatniego kroku na ścieżce do BEC.

Chłodzenie przed odparowaniem może być zilustrowane przykładem z życia codziennego. Pijąc poranną kawę lub herbatę jesteśmy świadkami zjawiska fizycznego polegającego na chłodzeniu zawartości filiżanki. Najbardziej energetyczne cząsteczki opuszczają filiżankę w postaci pary. Te które pozostały ulegają procesowi retermalizacji, przez co efektywnie nasz napój zmienia temperaturę – mówiąc dokładniej stygnie. Prawdopodobnie ta obserwacja zainspirowała naukowców do wdrożenia podobnej procedury do chłodzenia atomów. Filiżankę zastąpiono polem magnetycznym a odparowanie kontroluje się narzędziem optyki atomowej, które umożliwia nam usunięcie atomów z pułapki. Promieniowanie o częstotliwości radiowej działa jak przestrzenie selektywne nóż pozwalający atomom wydostać się z pułapki magnetycznej. Ten ciągły proces skutecznie obniża temperaturę chmury atomowej do temperatury krytycznej, w której zachodzi kondensacja Bosego-Einsteina. Ostatni etap powstawania kondensatu został przedstawiony na Rys. 4.

Od momentu wytworzenia pierwszego BEC do chwili obecnej przeszło 60 grup badawczych na całym świecie wytworzyło BEC. Kondensaty Bosego-Einsteina otrzy-

mano dla wielu izotopów: litowców (⁷Li, ²³Na, ³⁹K, ⁴¹K, ⁸⁵Rb, ⁸⁷Rb, ¹³³Cs), berylowców (⁴⁰Ca, ⁸⁴Sr, ⁸⁶Sr, ⁸⁸Sr) i lantanowców (¹⁷⁴Yb, ¹⁶⁴Dy, ¹⁶⁸Er). Ten egzotyczny stan materii odegrał wielką rolę w dalszych badaniach, ponieważ kondensacja kwantowa jest interesującym fenomenem zarówno z teoretycznego, jak i eksperymentalnego punktu widzenia.

Co dalej?

Eksperymentalna realizacja kondensatu nie tylko otworzyła możliwości na testowanie podstawowych założeń i modeli fizyki kwantowej, ale też zmotywowała naukowców do poszukiwania praktycznych zastosowań ultrazimnych atomów.

Zegary atomowe znajdują zastosowanie w nawigacji satelitarnej, a także w wielu gałęziach przemysłu. Tradycyjne zegary atomowe obejmują zegar rubidowy, maser wodorowy i zegar z wiązką cezu. Wydajność tradycyjnych atomowych zegarów już prawie osiągnęła swoje granice. Laserowe chłodzenie atomów zapewnia nowe podejście do dalszej poprawy dokładności zegarów atomowych. Atomy, które są najpierw chłodzone przez lasery, pozwalają na niebagatelne zwiększenie precyzji pomiaru czasu.

Nadzieję w zimnych atomach pokładają również naukowcy pracujący nad komputerem kwantowym. W przeszłości rozważano wiele różnych podejść jako możliwych sposobów tworzenia kubitów². Naukowcy próbowali stosować materiały nadprzewodzące, jony utrzymywane w pułapkach jonowych lub pojedyncze neutralne atomy,

² W komputerach kwantowych kubit (ang. qubit) jest podstawową jednostką informacji kwantowej – kwantową wersją klasycznego bitu realizowaną za pomocą urządzenia dwustanowego.

a także cząsteczki o różnej złożoności. Nowe podejście wykorzystuje grupę bardzo prostych cząsteczek złożonych z zaledwie dwóch atomów. Te cząsteczki dwuatomowe złożone z sodu i potasu są schładzane do temperatury zaledwie kilku dziesięciomilionowych stopnia powyżej absolutnego zera. Tak przygotowane molekuly mogą zawierać kwantową informację i przechowywać ją przez długi czas [12].

Ponieważ atomy tworzące BEC są w tym samym stanie kwantowym i jako fala posiadają tę samą fazę, podobnie jak światło lasera, stają się niejako „laserem atomowym”. Takie urządzenie może być wykorzystywane podobnie jak lasery optyczne, lecz zamiast fotonów mamy do czynienia z atomami.

Perspektywą dla laserów opartych na ultrazimnych atomach jest zastosowanie ich w holografii atomowej. Podobnie jak w przypadku tradycyjnej holografii, holografia atomowa wykorzystuje dyfrakcję atomów. Długość fali de Broglie’a schłodzonych atomów jest znacznie mniejsza niż długość fali światła, więc lasery atomowe mogą tworzyć obrazy holograficzne o znacznie większej rozdzielczości. Holografia atomowa może być użyta do tworzenia złożonych układów scalonych w skali nano.

Inną aplikacją, która również może korzystać z laserów atomowych, jest interferometria atomowa. W interferometrze atomowym fala atomowa jest podzielona na dwa pakiety fal, które przed rekombinacją podążają różnymi ścieżkami. Interferometry atomowe mierzą różnicę faz między falami materii atomowej na różnych ścieżkach.

Potencjał aplikacyjny związany z interferometrią atomów został już doceniony w dyscyplinach takich jak wysokiej precyzji metrologia czy fizyka atomowa i molekularna. Dla porównania czułość fazy $\delta\Phi$, dotycząca przesunięcia w fazie względnej między dwoma ramionami interferometru, skaluje się $\delta\Phi \propto N^{-1}$ dla kondensatu, gdzie N oznacza liczbę bozonów, podczas gdy dla zimnych atomów jest ona proporcjonalna do $N^{1/2}$. Łatwo zauważyć, że skondensowane bozony używane w precyzyjnej interferometrii zwiększają współczynnik czułości o $N^{1/2}$. Z tego

powodu interferometrii oparte na BEC oferują wyższą precyzję pomiarową.

Takie eksperymenty interferencji fal materii są bardzo interesujące dla zastosowań w ultraprecyzyjnej interferometrii i powinny prowadzić do poprawy pomiarów stałych fizycznych, jak również pomiarów grawitacji i rotacji. Bezpośrednie wykrywanie fal grawitacyjnych jest jednym z najbardziej ekscytujących wyzwań ostatnich badań naukowych. Obecnie działają już naziemne (optyczne) anteny interferometryczne takie jak Virgo [13] i LIGO [14]. Zastosowanie ultraczułej interferometrii opartej na ultrazimnych atomach daje ciekawe naukowe perspektywy użycia interferometrów atomowych do wykrywania fal grawitacyjnych.

Począwszy od działania tak dobrze znanej nam lodówki po skomplikowane techniki pozwalające na ogromną precyzję pomiarową, dostrzegamy dalszą potrzebę zgłębiania wiedzy i odkrywania praktycznego zastosowania chłodzenia materii.

Zobaczmy co jeszcze przyniesie nam przyszłość!

Mateusz Zawadzki

LITERATURA

- [1] Bose-Einstein Condensation, A. Griffin, D. W. Snoke, and S. Stringari, eds., (Cambridge Uni. Press, Cambridge, 1996).
- [2] S. Bose, Z. Phys. **26**, 178 (1924).
- [3] A. Einstein, Sitz. Preuss. Akad. Wiss p. 261 (1924).
- [4] F. Dalfovo, S. Giorgini, and L. P. Pitaevskii, Rev. Mod. Phys. **71**, 463 (1999).
- [5] M. H. Anderson, J. R. Ensher, M. R. Matthews, C. E. Wieman, and E. A. Cornell, Science **269**, 198 (1995).
- [6] K. B. Davis, M.-O. Mewes, M. R. Andrews, N. J. van Druten, D. S. Durfee, D. M. Kurn, and W. Ketterle, Phys. Rev. Lett. **75**, 3969 (1995).
- [7] F. London, Nature **141**, 643, (1938)
- [8] T. W. Hänsch and A. L. Schawlow, Opt. Commun. **13**, 68 (1975).
- [9] D. Wineland and H. Dehmelt, J. Appl. Phys. **46**, 919 (1975).
- [10] S. Chu, L. Hollberg, J. E. Bjorkholm, A. Cable, and A. Ashkin, Phys. Rev. Lett. **55**, 48 (1985).
- [11] D. E. Pritchard, „Cooling neutral atoms in a magnetic trap for precision spectroscopy,” Phys. Rev. Lett. **51**, 1336 (1983).
- [12] J. W. Park, Z. Z. Yan, H. Loh, S. A. Will, M. W. Zwiernik, Science **357**, 372 (2017).
- [13] <http://www.virgo.infn.it>
- [14] <http://www.ligo.caltech.edu>

Wahadło termiczne

Jednym z podstawowych praw termodynamiki jest prawo mówiące, że ciepło przepływa zawsze od ciała o temperaturze wyższej do niższej. Czyli nie jest możliwe, aby obiekt zimny w kontakcie z ciepłym dodatkowo się ochłodził. Aby taki efekt osiągnąć musimy do układu wpompować dodatkową energię. Najczęściej jest to energia elektryczna.

Tymczasem grupa Szwajcarskich naukowców, której przewodził prof. Prof. Andreas Schilling wykonała doświadczenie, w którym udało jej się oziębć dziewięciogramowy

kawałek miedzi od temperatury ponad 100 C do temperatury mniejszej niż pokojowa bez dostarczania z zewnątrz energii. Do wykonania eksperymentu wykorzystano ogniwo Peltiera, czyli układ dwóch półprzewodnikowych płytek połączonych w szereg z wspomnianym kawałkiem miedzi. Temperatura miedzi najpierw malała przechodziła przez punkt równowagi, aby na pewien czas zostać niższą od temperatury otoczenia.

Po osiągnięciu minimum metal zaczął znów się nagrzewać. Mamy więc tu do czynienia z pewnego rodzaju

termicznym wahadłem tłumionym. Co prawda obserwowany efekt nie był zbyt wielki, ponieważ minimalna temperatura miedzi była tylko o 2 stopnie niższa niż otoczenia. Autorzy wspomnianego eksperymentu twierdzą, że tą metodą można obniżyć temperaturę wspomnianego kawałka miedzi do temperatury o 47 stopni niższej niż pokojowa.

Źródło: A. Schilling, X. Zhang and O. Bossen. Heat flowing from cold to hot without external intervention by using a “thermal inductor”. Science Advances, 2019 DOI: 10.1126/sciadv.aat9953

O przemyśle i trzęsieniach ziemi

Zbigniew Wiśniewski

Jeśli przeciętnego, czytającego człowieka spytać o przyczyny trzęsień ziemi odpowie nam, że jego źródłem są ruchy płyt tektonicznych. Występują one w rejonach aktywnych sejsmicznie, gdzie płyty te się zderzają. W wyniku tego całą powierzchnię Ziemi można podzielić na rejony sejsmicznie czynne i nieczynne. Tymczasem okazuje się, że trzęsienia ziemi zaczynają się pojawiać tam, gdzie nikt ich się nie spodziewa. Są one związane z działalnością człowieka. Niektóre z nich są znane praktycznie od wieków. Nosiły kiedyś nazwę szkód górniczych. Są one związane z wydobywaniem surowców z wnętrza Ziemi. Oczywiście tego typu zjawiska nie zniknęły. Są one obecne do dzisiaj.

Ponieważ różnorodność naszej aktywności wzrasta, zwiększa się też ilość procesów powodujących wstrząsy

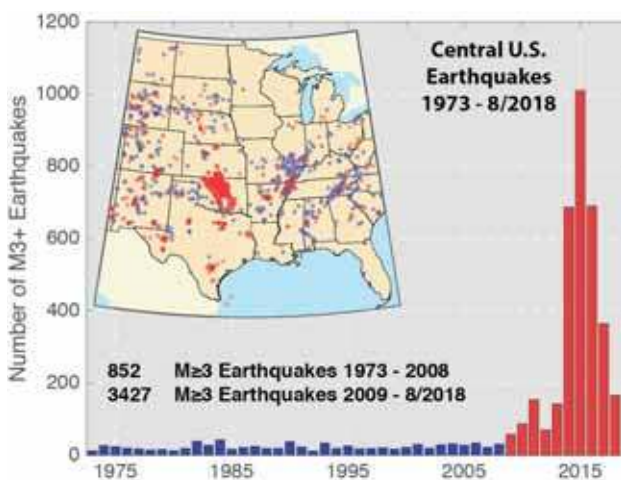
sejsmiczne. Należy przy tym rozróżnić dwie sytuacje. Pierwsza, to trzęsienia ziemi indukowane (induced seismicity) działalnością człowieka. Są to trzęsienia, które towarzyszą działalności ludzkiej i na ogół po jej zakończeniu ustają. Druga kategoria to trzęsienia ziemi wyzwalane przez działalność człowieka tzw. (triggered seismicity). One mają bardziej długotrwały przebieg i często trwają po ustaniu ludzkiej działalności.

Dzięki rozwojowi techniki wydobywczej możemy sięgać na głębokości dawniej całkowicie niedostępne. Procesom tym towarzyszy zazwyczaj wprowadzanie dodatkowych naprężeń zaburzających równowagę skał. Relaksacja tych naprężeń może prowadzić do powstawania trzęsień ziemi. Jest to wspólny mechanizm dla wszystkich procesów omawianych w dalszej części artykułu.

Gaz i ropa naftowa

Jako przykład może tu posłużyć proces wydobywania gazu łupkowego, lub ropy naftowej. Trzęsienia ziemi mogą być wywoływane podczas samego procesu rozkruszania skał, kiedy to zaburzeniu ulega sama struktura skały. W czasie wydobywania ropy lub gazu często wtłacza się w strukturę skały brudną wodę. Wynikiem tego jest nagromadzenie się w skale dodatkowych naprężeń, które mogą prowadzić do powstawania dodatkowych pęknięć w skale, co objawia się jako trzęsienia ziemi.

Pierwszy taki przypadek, gdzie występowanie trzęsień ziemi powiązano z wstrzykiwaniem wody miał miejsce w Denver w Colorado. Proces wpompowywania wody przeprowadzano w latach 1960-1965. Skutkiem tego procesu było wystąpienie około 1500 wstrząsów sejsmicznych. Dwa z nich miały amplitudę powyżej 4.5 i spowodowały poważne zniszczenia budynków. Ogólnie w środkowych stanach USA proces wydobywania gazu



Rys. 1. Liczba trzęsień ziemi w centralnych rejonach USA od 1970 roku. Źródło: Wikipedia.

i ropy naftowej doprowadził do gwałtownego wzrostu sejsmiczności (Rys. 1).

Podobne zjawiska mają też miejsce w Europie. Przykładem może tu być okręg Groningen w Holandii. W okręgu tym wydobywa się najwięcej gazu ziemnego w Europie. Jego eksploatacja rozpoczęła się w 1963 roku. Do tej pory wydobyto ok 75% dostępnego tam gazu. Skutkiem tych procesów było pojawienie się sejsmiczności w tym, uprzednio praktycznie asejsmicznym, rejonie. Pierwsze wstrząsy zaobserwowano w 1986 roku. Aktywność sejsmiczna osiągnęła tam maksimum w 2013 roku, kiedy to wystąpiło trzęsienie ziemi o amplitudzie 3.6.

Składowanie podziemne dwutlenku węgla i gazu

Podobny efekt może wywoływać modne obecnie składowanie dwutlenku węgla pod powierzchnią ziemi. Aby tego dokonać trzeba w skale nawiercić dziury, co skutecznie zmienia równowagę skały. Jednak większym zagrożeniem jest zmiana ciśnienia gazów (cieczy) znajdujących się w porach skały (pore pressure) będącego efektem wprowadzenia dwutlenku węgla. Znowu może to powodować powstawanie dodatkowych naprężeń. Proces relaksacji naprężeń prowadzić może do pojawienia się trzęsień ziemi.

Co więcej, ponieważ dwutlenek węgla wtłacza się na znaczne głębokości, to powstające tam pole naprężeń może aktywować uśpione uskoki tektoniczne. W związku z tym wybierając miejsca na składowiska CO_2 należy unikać miejsc, gdzie są duże uskoki. Niestety stosując znane nam obecnie metody geofizyczne możemy wykryć tylko te duże uskoki. Te małe, kilkukilometrowe pozostają niewykryte, one właśnie mogą być aktywowane przez składowanie CO_2 .

Takie zjawiska obserwowano już w Kanadzie i USA. (Mark D. Zoback and Steven M. Gorelick). Uskoki te na szczęście nie są duże, więc nie zaobserwowano dużych zniszczeń, jednakże takie antropomorficzne trzęsienia ziemi mogą prowadzić do rozszczelnienia skał, w których gromadzony jest CO_2 co w rezultacie może prowadzić do ucieczki CO_2 i takie składowisko przestaje pełnić swoją funkcję.

Największe trzęsienie ziemi związane z podziemnym składowaniem gazu miało miejsce w Portugalii 4 października 2013 roku, gdzie odnotowano wstrząsy o amplitudzie 4.3. Ciekawym pomysłem jest gromadzenie dwutlenku

węgla w miejscach, z których uprzednio wybrano surowce naturalne. W miejscach takich pojawiają się bowiem groźne naprężenie. Wtłaczanie CO_2 powoduje efekt przeciwny przywracając naturalną równowagę skały, co zapobiega występowaniu antropomorficznych trzęsień ziemi.

Wykorzystanie źródeł geotermalnych

Innym źródłem trzęsień ziemi może być wykorzystanie źródeł geotermalnych do celów grzewczych lub energetycznych. Nie chodzi tu o wykorzystywanie wody wypływającej naturalnie np. z gejzerów, tylko o często stosowaną hydrauliczną stymulację. Otóż tak jak w przypadku wydobywania gazu łupkowego, symulacja hydrauliczna polega na wtłoczeniu w głębokie warstwy skały wody, aby doprowadzić do powstania dodatkowych szczelin w skale albo by podwyższyć jej ciśnienie, aby mogła, tak jak w układzie centralnego ogrzewania, wypływać na zewnątrz.

Oczywiście, tak jak w poprzednich przypadkach, relaksacja dodatkowych naprężeń w skale objawia się trzęsieniami ziemi. Takie zjawisko miało miejsce w Basel w Szwajcarii. W miejscowości tej w trakcie budowy elektrowni geotermalnej wywiercono szyb o głębokości 5 km, przez który wtłoczono do wnętrza skał 11 500 m³ wody. W czasie tego procesu zanotowano tysiące wstrząsów sejsmicznych. Największe trzęsienie ziemi miało amplitudę 2.6, co spowodowało decyzję o przerwaniu wtłaczania wody. Jednakże przerwanie procesu wpompowywania wody nie przerwało występowania sejsmiczności. Przez pewien czas nawet rosła. Największe trzęsienie miało amplitudę 4.7 i spowodowało znaczne straty materialne. Opisywane wydarzenia doprowadziły ostatecznie do zamknięcia inwestycji.

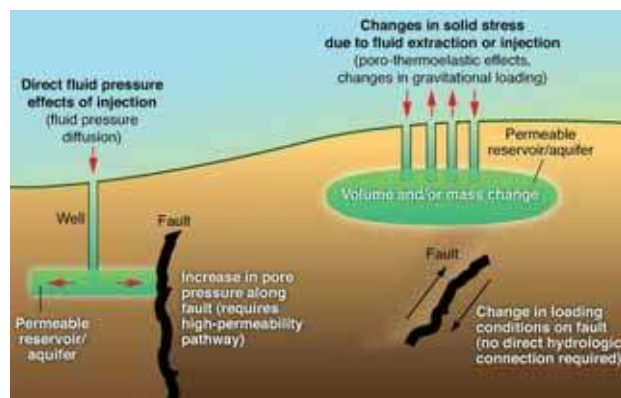
Zapory i sztuczne zbiorniki wodne

Omawiając kwestie indukowanej sejsmiczności nie możemy oczywiście zapomnieć o kwestii tam i innych sztucznych zbiorników wodnych. W tym przypadku naprężenia powstają zarówno podczas budowy tamy, jak i podczas jej napełniania wodą. W tym przypadku aktywność sejsmiczna rośnie stopniowo wraz z procesem napełniania. Maksymalne wstrząsy następują najczęściej kilka miesięcy lub kilka lat od osiągnięcia wypełnienia tamy. Potem jednak następuje stopniowy zanik.

Istnieje jednak sytuacja, w której aktywność sejsmiczna nie zanika całkowicie po wypełnieniu tamy. Tak najczęściej dzieje się, jeśli poziom wody w zbiorniku jest zmienny. W wyniku tego naprężenia w skale również zmieniają się periodycznie, czego skutkiem jest występująca periodycznie aktywność sejsmiczna.

Po raz pierwszy związek między aktywnością sejsmiczną udokumentowano w przypadku jeziora Mead w latach 1939-1940. Jezioro Mead jest to sztuczny zbiornik wodny na pograniczu stanów Nevada i Arizona. Największe trzęsienie ziemi tego typu miało miejsce w 1967 r. w Koynanagar w Indiach. Jego amplituda wyniosła 6.3. W wyniku tego śmierć poniosło 180 osób a ponad 1800 zostało rannych.

Innym przypadkiem katastrofy wywołanej przez wstrząsy antropogeniczne był wypadek mający miejsce w 1963 roku we Włoszech. Feralna tama nosi nazwę Va-



Rys. 2. Wpływ procesów gromadzenia substancji na naprężenia w skorupie ziemskiej.



Jezioro Mead

iont Dam. Podczas jej budowy nastąpiła wzmożona aktywność sejsmiczna w rejonie. Skutkiem tego olbrzymia masa ziemi z pobliskich wzgórz osunęła się do zbiornika. W efekcie olbrzymia masa błota przelała się przez tamę powodując śmierć ponad 1800 osób. Ta katastrofa jest przykładem zlekceważenia znaków ostrzegawczych wysyłanych przez naturę, gdyż symptomy zbliżającej się katastrofy można było wykryć co najmniej trzy lata wcześniej. Należy podkreślić, że zwłaszcza w rejonach aktywnych sejsmicznie nie zawsze można jednoznacznie rozstrzygnąć czy dane trzęsienie ziemi ma pochodzenie naturalne, czy antropogeniczne.

Rozkład geograficzny

Jeśli przeanalizuje się mapę świata pod względem zjawisk indukcyjności indukowanej można stwierdzić, że obecnie tego typu zjawiska występują na wszystkich kontynentach, lecz bardzo nierównomiernie. Stosunkowo najwięcej takich zjawisk ma miejsce w Europie i Ameryce Północnej. Stosunkowo najmniej jest ich w Ameryce Południowej. Jeśli wierzyć źródłom w Chile, gdzie występują najsilniejsze naturalne trzęsienia ziemi, kraj ten jest wolny od trzęsień indukowanych. Jak nietrudno się domyśleć, rejony o większym uprzemysłowieniu są bardziej zagrożone niż tereny słabo rozwinięte.

Eksploduje atomowe

Ostatnią kategorią trzęsień ziemi wywołowanych działalnością człowieka są eksplozje atomowe dokonywane w podziemiach. Przodownikiem w produkcji tego typu wstrząsów sejsmicznych jest obecnie Korea Północna.

Konsekwencje

Jak wynika z przytoczonych przykładów, sejsmiczność antropogeniczna ma poważne konsekwencje zarówno społeczne, jak i gospodarcze. Mogą one powodować uszkodze-

nia budynków w okolicy oraz ofiary śmiertelne. Wystąpienie takich zjawisk powoduje zazwyczaj reakcje społeczeństwa. Przy czym siła tych reakcji zależy od kilku czynników. Najbardziej oczywisty jest to czynnik związany z gęstością populacji. Jeśli tereny, na których pojawia się aktywność sejsmiczna są niezaludnione to najprawdopodobniej nikt ich nie zauważy. Przy czym nikt oznaczać może nie tylko ludność, ale też naukowców. Ponieważ aby wstrząs został wykryty musi istnieć sieć monitoringu sejsmicznego.

Zagrożenia wywoływane sejsmicznością antropogeniczną są w Europie większe ze względu na 10 krotnie większą gęstość ludności, jak również na fakt występowania większej ilości starych budynków. Drugim czynnikiem jest kwestia przyzwyczajenia ludności. W przypadku regionów o długoletniej tradycji aktywności górniczej ludność jest bardziej przyzwyczajona niż w przypadku rejonów, gdzie ludzie takiej aktywności nie prowadzą. Różnica w podejściu do tego typu kwestii wystąpi też w rejonach, gdzie występuje naturalna aktywność sejsmiczna i w tych, gdzie takich zjawisk nie ma.

Rejony o naturalnej aktywności sejsmicznej z natury swojej są lepiej przygotowane do aktywności sztucznej. Jedną z ważniejszych reakcji są te o charakterze administracyjnym jakie mogą być podjęte wskutek pojawienia się indukowanych trzęsień ziemi – jest to zazwyczaj nakaz ograniczenia lub zaprzestania działalności wydobywczej. Tak było np. w stanie Oklahoma. Wskutek pojawienia się trzęsień ziemi (ok. 900 wstrząsów rocznie) władze stanowe doprowadziły do ograniczenia działalności wydobywczej o 40%.

Inną reakcją na wzrastające zagrożenie sejsmicznością indukowaną jest wprowadzenie wymogu, aby firmy prowadzące działalność wydobywczą prowadziły monitoring sejsmiczny terenów, na których działają. Taki obowiązek wprowadziły już Włochy, Holandia i Szwajcaria.

Zbigniew Wiśniewski
Europejska Uczelnia w Warszawie

LITERATURA

- [1] Mark D. Zoback, and Steven M. Gorelick „Earthquake triggering and large-scale geologic storage of carbon dioxide” www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1202473109
- [2] Francesco Grigoli et al. „Current challenges in monitoring, discrimination, and management of induced seismicity related to underground industrial activities: A European perspective” *Reviews of Geophysics* 10.1002/2016RG000542
- [3] Pradeep Talwani „On the Nature of Reservoir-induced Seismicity” *Pure appl. geophys.* 150 (1997) 473–492



Ogrodnictwo w mikroświecie

Samoorganizacja to zjawisko występujące w przyrodzie polegające na samoistnym organizowaniu się niewielkich części materii w większe, bardziej złożone struktury. Proces ten zachodzi pod wpływem sił fizycznych, występujących pomiędzy atomami bądź grupami atomów, a siła danego oddziaływania zależy od odległości między nimi, charakteru tego oddziaływania oraz warunków zewnętrznych.

Jakub Wawrzyniak, Katarzyna Siuzdak

Do struktur, które możemy otrzymać za pomocą samoorganizacji, należą np. kryształy, micelle, łańcuchy polinukleotydowe (tzn. DNA i RNA) oraz warstwy hydrofilowe i hydrofobowe. Chcąc poznać procesy samoorganizacji, warto zwrócić uwagę na naturę, ponieważ niemal wszystko, co widzimy wokół siebie, swoje życie rozpoczęło jako kilka komórek, które zsynchronizowały swoje czynności życiowe stając się następnie organizmami wielokomórkowymi: roślinami, zwierzętami i ludźmi.

Zarys historyczny

Chemiczne ogrody to jedno z najciekawszych samoorganizujących się struktur w roztworach nierównowagowych, tworzących skomplikowane formy, które często podobne są do tych spotykanych w naturze. Od XVII wieku, owe podobieństwo syntetycznych struktur do naturalnych form, wzbudzało poruszenie wśród ówczesnych alchemików, badaczy i filozofów. Temu zainteresowaniu towarzyszyły liczne pytania: w jakim stopniu są one podobne do naturalnych organizmów? Czy mają one coś wspólnego z początkiem życia na Ziemi? Czy można kontrolować ich wzrost tak, aby otrzymać użyteczne, a nie tylko piękne formy? Oczywiście, w tamtych czasach, gdy aparatura pomiarowa oraz wiedza fizyczno-chemiczna nie były tak rozwinięte jak obecnie, trudno było odpowiedzieć jednoznacznie na powyższe pytania.

Jedną z pierwszych osób zajmujących się samoistnym wzrostem syntetycznych struktur był Johan Glauber, niemiecki aptekarz i alchemik. W swym dziele z 1646 roku pod tytułem *Furni Novi Philosophici* pisze: „Roztwór, w którym jakikolwiek metal jest umieszczony, poczyną rosnąć w przeciągu dwudziestu czterech godzin w formie roślin i drzew, każdy metal według swego koloru i właściwości, a powstałe rośliny nazywamy drzewami filozoficznymi, zarówno miłymi dla oka, jak i użytecznymi”.

W ówczesnych czasach wielu chemików i fizyków, w tym Isaac Newton oraz Robert Boyle, często sięgało po jego książkę. Dodatkowo, bardziej zamożne szkoły mogły pozwolić sobie na eksperymenty chemiczne z wykorzystaniem soli złota, aby móc obserwować wzrost formacji gołym okiem.

Do XIX wieku badania nad chemicznymi ogrodami miały charakter biologiczny. Jednym z czołowych naukowców w tej dziedzinie był Mortiz Traube, który za cel postawił sobie określenie podobieństw w procesach zachodzących w komórkach organizmów żywych i syntetycznych ogro-



Rysunek 1: Chemiczny ogród w probówce - chlorek kobaltu (II) [1].



Rysunek 2: Chemiczny ogród składający się z mieszanek metali [2].

dach. O odkryciach Traubego możemy przeczytać na przykład w listach Karla Marxa do swego przyjaciela: „Traube, fizjolog z Berlina, odniósł sukces w stworzeniu sztucznej komórki. Oczywiście nie jest to komórka całkowicie naturalna – nie posiada ona jądra. Jeśli roztwór koloidalny, na przykład żelatynę, połączymy z siarczanem miedzi, powstają globule otoczone membraną, które można powiększać za pomocą wgłobienia. W tym momencie tworzenie membrany i wzrost komórki opuszczają wymiar hipotetyczny!”.

Kolega Marxa, Friedrich Engels w swej niedokończonoj książce z kolei tak pisał o odkryciu: „Znaczeniem odkrycia „komórki” Traubego jest fakt, że pokazuje ona endosmozę i wzrost, które zachodzą w sztucznej komórce niezawierającej węgla”.

W kolejnych latach, komórkę Traubego zmodyfikował nieco Pfeffer, używając porowatej nieszlklonej porcelany jako pojemnika oddzielającego dwa reaktywne roztwory. W takim ustawieniu, osadzanie zachodziło wewnątrz porowatej matrycy, tworząc odporną mechanicznie półprzepuszczalną membranę. Korzystając z pracy Pfeffera z 1877 roku, 10 lat później Jacobus van't Hoff opublikował swą pracę *Die Rolle des osmotischen Druckes in der Analogie zwischen Lösungen und Gasen*, za którą w 1901 roku otrzymał pierwszą w historii Nagrodę Nobla z Chemii.

Na przełomie XIX i XX wieku, wielu naukowców pracowało nad zrozumieniem mechanizmu samoorganizacji ogrodów i żywej materii, podążając za trendem wyznaczonym przez Traubego. Ówczesny entuzjazm świetnie uchwycił Leduc w swej książce *Mechanism of Life*: „*Fenomen wzrostu osmotycznego pokazuje jak zwykła mineralna materia, węglany, fosforany, krzemiany, azotany i chlorany, mogą imitować formy natury ożywionej, bez udziału żywych organizmów. Zwyczajne siły fizyczne wystarczają do tworzenia form, podobnych to tych obserwowanych w naturze; zamknięte wgłębienia z osmotycznymi membranami, tkankami podobnymi do tych u organizmów żywych, podobną kolorem, formą i funkcją*”.

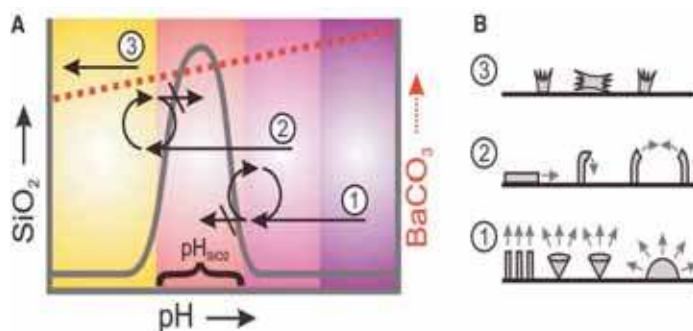
W połowie XX wieku, hipoteza, że rozwój chemicznych ogrodów mogłaby wyjaśnić nam tajemnice życia zaczęła powoli odchodzić w niepamięć. Częściowo była za to odpowiedzialna praca Watsona i Cricka z 1953 roku opisująca strukturę DNA, którego przecież w syntetycznych ogrodach nie obserwowano. W roku 1967, gdy J. D. Bernal pisał na ten temat w *The Origin of Life*, chemiczne ogrody były już przeżytkiem: „*Będąc naukowcem w ubiegłym stuleciu, spekulującym na temat powstania życia, pierwszą rzeczą jaką należało zrobić było stworzenie czegoś, co sprawiałoby wrażenie prymitywnych form życia; imitowanie życia poprzez osadzanie organicznych czy nieorganicznych substancji; pokazanie, że nawet krzemiany mogą tworzyć koliste i strzeliste formy, imitujące wiele cech żywej materii, jak na przykład grzyby i algi Leduc’a*”. Odkrycie DNA oraz dziedziczności odwidło biologów od szukania początków życia w nieorganicznym świecie, osmoza natomiast była już uznawana za dobrze znany mechanizm, a idea ogrodów chemicznych została odsunięta na dalszy plan.

Zainteresowanie nanotechnologią – w tym samoorganizacją, jej potencjałem i możliwością jej wykorzystania, obecne na przełomie XX i XXI wieku rozpały na nowo wyobraźnię naukowców [3].

Samoorganizacja chemicznych ogrodów

W naturze widzimy przeróżne rodzaje struktur. Część z nich jest silnie uporządkowana, część zdawałoby się ułożona dość chaotycznie. Poczynając od materii w naszym wszechświecie, przybierającej postać galaktyk oddzielonych od siebie latami świetlnymi do bardzo charakterystycznej budowy polimerów, czy samych atomów. W zależności od tego, z jakiego rodzaju materiałem mamy do czynienia i w jakiej skali, różne siły przybierają na znaczeniu.

Samoorganizacja polega najczęściej na oddziaływaniach bliskiego zasięgu, to znaczy takich, które odgrywają znaczącą rolę w aglomeracji cząstek. Do tego typu sił można zaliczyć oddziaływania elektrostatyczne czy oddziaływania van der Waalsa. Oddziaływania te są znacznie silniejsze niż np. grawitacja, której siła w nanoskali jest wiele rzędów wielkości słabsza niż wymienionych wcześniej oddziaływań, ze względu na znikomą masę obiektów o rozmiarach w skali nano. Siły te umożliwiają tworzenie wielu form i kształtów: sfer, spiral, struktur liściopodobnych i innych. Jako że nie jesteśmy w stanie przewidzieć



Rysunek 3: A) Szybkość osadzania BaCO_3 i SiO_2 w roztworze w zakresie pH 8-12. B) Przewidywane formacje w zależności od rejonu pH (1-3) w którym powstawały. Wim L. Noorduin, „Rationally Designed Complex, Hierarchical Microarchitectures” - przedrukowane za zgodą AAAS [4]

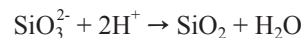
dokładnego ruchu molekuł, większość metod wykorzystujących samoorganizację, skupia się na zapewnieniu odpowiednich warunków początkowych w roztworze i przewidywaniu lokalnie zachodzących reakcji chemicznych wraz z jednoczesną manipulacją warunkami, w jakich dany proces zachodzi (np. temperaturą, ciśnieniem).

Próbując stworzyć jakąś nietypową strukturę, np. o morfologii zbliżonej do kwiatów, potrzebujemy bardzo konkretnych warunków, które możemy regulować. Przykładem może tu być wzrost BaCO_3 – SiO_2 na aluminiowej płytce, kierowany subtelными lokalnymi zmianami zasadowości roztworu, wywołanych regulacją dostępu do CO_2 obecnego w powietrzu. Rysunek 3A przedstawia prędkość osadzania węglanu baru oraz tlenku krzemu dla określonych wartości pH (skala w zakresie około 8-12). Na jego podstawie można wnioskować, że prędkość osadzania BaCO_3 jest tylko w niewielkim stopniu zależna od poziomu pH roztworu, podczas gdy osadzanie SiO_2 będzie zachodziło tylko w ściśle określonym przedziale zasadowości.

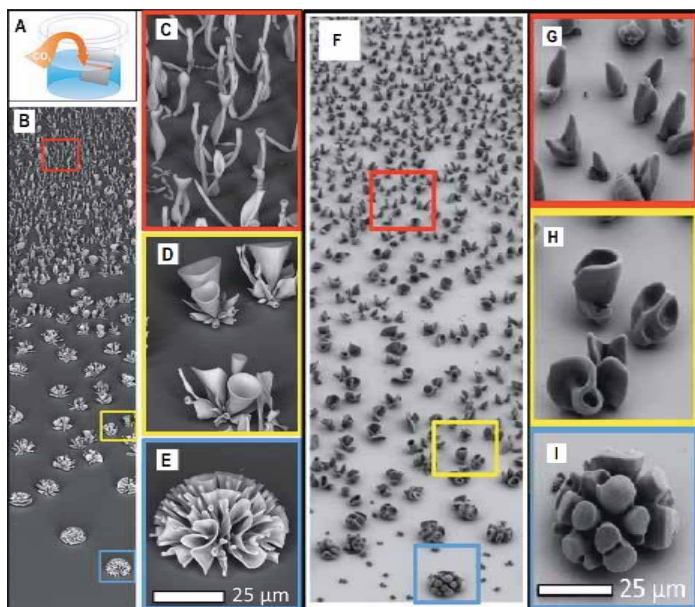
W zależności od odczynu roztworu, wykres podzielony jest na trzy zakresy, w których można spodziewać się form o charakterystycznej morfologii (Rys. 3B). W każdym z wyszczególnionych rejonów, wzrost będzie rozpoczynał się zarodkowaniem BaCO_3 (wywołanym dostarczeniem CO_2 z powietrza), którego skutkiem będzie uwolnienie protonu według reakcji:



Konsekwencją uwolnienia protonu, będzie lokalne zakwaszenie roztworu wokół frontu wzrostu, czego skutkiem będzie wytrącanie tlenku krzemu według uproszczonej reakcji:



Umieszczając aluminiową płytkę (Rys. 4A) w pierwszym, najbardziej zasadowym rejonie wzrostu, spodziewamy się, że dopływ dwutlenku węgla rozpocznie proces strącania BaCO_3 , które z kolei spowoduje uwolnienie protonu z wody i lokalne obniżenie pH umożliwiające osadzanie SiO_2 . W tym rejonie będzie dominował wzrost struktur w kierunku roztworu – tzn. obszaru o odczynie bardziej zasadowym oraz pasywacja tlenkiem krzemu obszarów o niższym pH. Rezultatem wzrostu w rejonie pierwszym, będą struktury rosnące na zewnątrz, a w zależności od gęstości zarodkowania (która ze względu



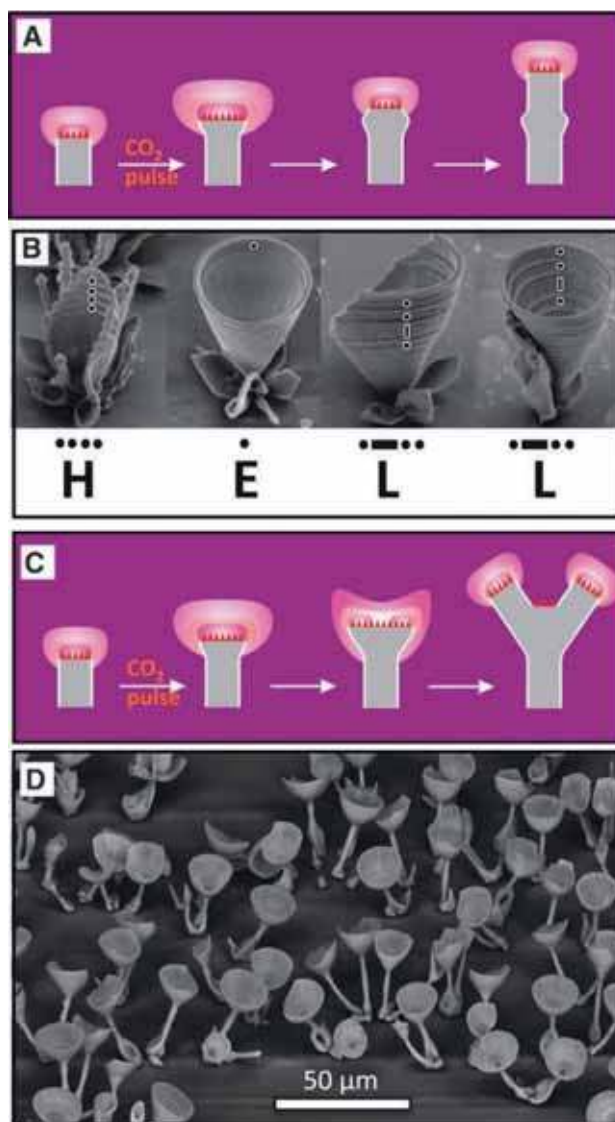
Rysunek 4: A) Schemat układu eksperymentalnego, w której następował wzrost struktur. B-I) obrazy SEM struktur powstałych w czasie eksperymentu wraz ze zbliżeniem na wyróżnione struktury. Obrazy B-E przedstawiają struktury wzrastające w temperaturze pokojowej, a obrazy F-I - w temperaturze 4°C.
Wim L. Noorduyn, „Rationally Designed Complex, Hierarchical Microarchitectures” - przedrukowane za zgodą AAAS [4]

na mniejszą dostępność CO_2 maleje wraz z głębokością) możemy zaobserwować łodygi, stożki i półkule (Rys. 4B-E). Obniżenie temperatury roztworu do 4°C powoduje spowolnienie reakcji i zwiększenie dostępności dwutlenku węgla na każdą jednostkę wysokości struktury. Doprowadzi to do zwiększenia grubości ścian otrzymywanych form z zachowaniem ich charakterystycznej morfologii (Rys. 4F-I). Podobny efekt można osiągnąć dodając do roztworu NaCl, co wpływa na zwiększenie szybkości osadzania SiO_2 .

Rysunek 5 przedstawia obrazy będące wynikiem manipulowania kierunkiem rozrostu struktur poprzez dozowanie ilości CO_2 . Dostęp zazwyczaj reguluje się poprzez zdejmowanie szkiełka zegarkowego, pełniącego rolę przykrywkę, ze zlewki, w której znajduje się roztwór (Rys. 4A).

Zdejmując szkło zegarkowe na okres dwóch minut, możemy doprowadzić do zmian w grubości ścianki łodygi bądź kielicha kwiatu. Jej szerokość wraca do wartości początkowej niedługo po ponownym przykryciu zlewki. Mechanizm ten pozwala na kodowanie pewnych informacji na hodowanych strukturach, na przykład liter zapisanych w alfabecie Morse’a (Rys. 5B). Gdy czas dostępności dwutlenku węgla wydłuża się, możemy się spodziewać rozwidlenia i stworzenia podwójnego frontu wzrostu. W ten sposób jesteśmy w stanie „otwierać” struktury łodygowe w kielichy przypominające kwiaty (Rys. 5C i D).

Rejon drugi (oznaczony ② na rys. 3) charakteryzuje obszar, w którym lokalny spadek pH będzie skutkował opuszczeniem rejonu osadzania SiO_2 . Oznacza to, że struktury są w stanie wzrastać tylko w obszarach o pH na tyle niskim, że nie zostaną całkowicie spasywowane przez SiO_2 . Konsekwencją jest wzrost z dala od roztworu, w kierunkach wzdłuż podstawy lub zwijając się

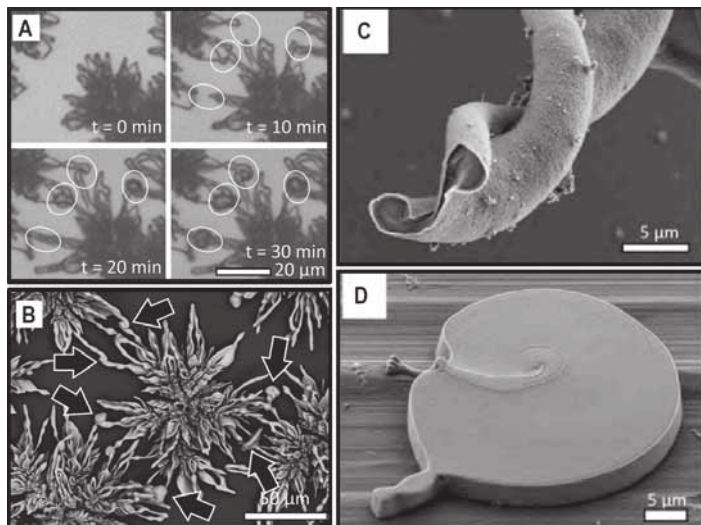


Rysunek 5: A, C) Szkice przedstawiające wpływ ilości CO_2 na struktury powstające w wyniku samoorganizacji wraz ze zdjęciami SEM im odpowiadającymi (B, D). Kolory na szkicach reprezentują obszary na skali pH z Rys. 3.
Wim L. Noorduyn, „Rationally Designed Complex, Hierarchical Microarchitectures” - przedrukowane za zgodą AAAS [4]

i podążając po śladach bardziej kwasowego roztworu. W tym obszarze obserwujemy spirale i liście (Rys. 6C i D). Liście rosną tam, gdzie nie osadza się SiO_2 , który pasywuje wzrost. Struktury spiralne powstają z kolei na skutek tworzenia się lokalnego gradientu pH, w ten sposób, że podążają one za kwaśnym śladem, wychodzącym poza rejon osadzania się SiO_2 , tworzonemu przez fronty wzrostu sąsiednich lub własnych struktur. Rezultatem są skierowane w stronę sąsiednich zarodków spirale (Rys. 6A i B).

Rejon trzeci (oznaczony ③ na rys. 3), charakteryzuje obszar, w którym SiO_2 nie osadza się – obserwujemy tylko kryształy BaCO_3 .

Na podstawie informacji zdobytych na temat wzrostu w każdym z regionów, jesteśmy w stanie świadomie kontrolować wielkość i kierunek rozrostu powstających struktur. Dla przykładu, gdy uformujemy łodygę w warunkach rejonu pierwszego, a następnie przeniesiemy metalową



Rysunek 6: Obrazy SEM struktur charakterystycznych powstających w drugim rejonie wzrostu. Obrazy A i B pokazują struktury rosnące ku sobie. C) spirala oraz D) liść powstały w drugim rejonie wzrostu.

Wim L. Noorduyn, „Rationally Designed Complex, Hierarchical Microarchitectures” - przedrukowane za zgodą AAAS [4]



Rysunek 7: Sztucznie kolorowane obrazy SEM struktur, które możemy otrzymać używając opisanej metody. Widoczne struktury są efektem kolejnego osadzania w dwóch różnych rejonach wzrostu.

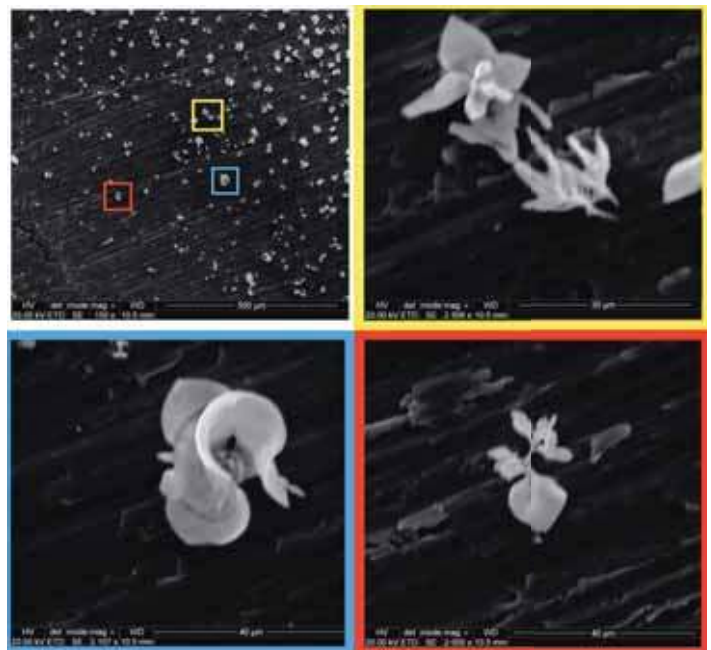
Wim L. Noorduyn, „Rationally Designed Complex, Hierarchical Microarchitectures” - przedrukowane za zgodą AAAS [4]

płytkę w rejon obszaru drugiego, wzrost będzie kontynuowany tylko w miejscach nie spasywowanych przez SiO_2 . W rezultacie jesteśmy w stanie umieścić „kielich” na „łodydze” otrzymując strukturę przypominającą kwiat (Rys. 7).

Istnieje również możliwość wprowadzenia pewnego rodzaju fluktuacji koncentracji dwutlenku węgla, który ma dostęp do układu eksperymentalnego poprzez zupełne zdjęcie szkiełka zegarkowego z naczynka, w którym umieszczono blaszkę. Na skutek naturalnych zmian w ruchu powietrza nad naczynkiem, zmienia się również w sposób losowy stężenie i szybkość rozpuszczania CO_2 w roztworze. Skutkuje to lokalnymi zmianami w gradientie zasadowości oraz znaczącym wzrostem różnorodności wśród obserwowanych struktur (Rys. 8).

Podsumowanie

Projektowanie ogrodów w skali nano i mikro nie jest zadaniem łatwym. Trudności w tego typu przedsię-



Rysunek 8: Sąsiadujące ze sobą pojedyncze mikrokwiaty [5].

wzięciach polegają głównie na ograniczonej możliwości ścisłej kontroli dostępu do kluczowych dla wzrostu związków chemicznych. Na obecnym poziomie nauki, nie jesteśmy w stanie replikować powtarzalności otrzymywanych struktur w różnych warunkach, na takim poziomie jaki obserwować możemy w naturze. Niemniej jednak, otrzymuje się struktury o niezwyklej morfologii, których kształt do złudzenia przypomina nam egzotyczne kwiaty, liście czy łodygi. Warto jednakże zwrócić uwagę na potencjalne możliwości produkcji wspomaganego procesem samoorganizacji – adaptując swego rodzaju syntetyczne DNA, służące za klucz wzrostu bardziej skomplikowanych układów (np. procesorów), moglibyśmy uprościć produkcję dowolnych elementów czy urządzeń. Dziś, jednakże, takie metody pozostają nadal w sferze *science-fiction*.

mgr inż. Jakub Wawrzyniak, dr hab. inż. Katarzyna Siuzdak

Ośrodek Fizyki Plazmowej i Laserowej
Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szwalskiego, Gdańsk

LITERATURA

- [1] Neda Glisovic, Licencjonowane na zasadach Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International
- [2] Neda Subakov, Licencjonowane na zasadach Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International
- [3] Laura M. Barge, Silvana S. S. Cardoso, Julian H. E. Cartwright, Geoffrey J. T. Cooper, Leroy Cronin, Anne De Wit, Ivria J. Doloboff, Bruno Escribano, Raymond E. Goldstein, Florence Haudin, David E. H. Jones, Alan L. Mackay, Jerzy Maselko, Jason J. Pagano, J. Pantaleone, Michael J. Russell, C. Ignacio Sainz-Diaz, Oliver Steinbock, David A. Stone, Yoshifumi Tanimoto, and Noreen L. Thomas, "From Chemical Gardens to Chemobrionics", *Chemical Reviews* **2015** *115* (16), 8652-8703
- [4] W. L. Noorduyn, A. Grinthal, L. Mahadevan, and J. Aizenberg, "Rationally designed complex, hierarchical microarchitectures", *Science* 17 May 2013: Vol. 340, Issue 6134, pp. 832-837
- [5] J. Wawrzyniak, „Projektowanie mikro- i nanostruktur trójwymiarowych z wykorzystaniem samoorganizacji” – Praca Inżynierska, Politechnika Gdańska, 2017

Paradoksy szczególnej teorii względności

Część III

Jan Kurzyk

W poprzedniej części artykułu opisałem dwie wersje paradoksu nazywanego *paradoksem pociągu i tunelu* lub *paradoksem tyczki i stodoły*. W tym artykule będę nadal zajmował się zjawiskiem kontrakcji długości. Rozpocznę od paradoksu, który może ponownie wywołać zwątpienie w rzeczywistość zjawiska nazywanego skróceniem długości, a w konsekwencji w poprawność szczególnej teorii względności. Ale jak zobaczymy również w przypadku tego paradoksu wszystko da się wyjaśnić w oparciu o teorię Einsteina. W artykule będę odwoływał się do dwóch poprzednich części [1], [2], więc zachęcam czytelników do zapoznania się z nimi.

Paradoks pręta i szczeliny

Wyobraźmy sobie pręt o długości spoczynkowej l_p i cienką płaską płytę z wyciętym otworem o długości $l_o < l_p$ (patrz rysunek 1).

Niech pręt porusza się względem układu S równoległe do osi X z taką szybkością v , że $l_p/\gamma < l_o$. Ostatnie stwierdzenie oznacza, że w układzie S pręt będzie krótszy od otworu. Płytę ułożymy w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny XZ układu S tak, żeby pręt mógł przelecieć nad otworem. Nadajmy płycie prędkość równoległą do osi Y. Zauważmy, że skoro płyta porusza się wzdłuż osi Y, to w układzie S jedynie grubość płyty zmniejszy się, zaś wymiary poprzeczne w tym długość otworu nie ulegną zmianie. Jeśli skrócenie długości jest rzeczywistym zjawiskiem, to łatwo wyobrazić sobie, że możemy tak zsynchronizować ruchy obu obiektów, aby w odpowiednim przedziale czasu pręt znalazł się wewnątrz otworu i oba obiekty minęły się bezkolizyjnie. Kilka faz tego eksperymentu przedstawia rysunek 2.

Zobaczmy teraz jak nasz eksperyment będzie wyglądać w układzie związanym z prętem. Znajdźmy najpierw składowe prędkości płyty względem pręta. W tym celu związmy z prętem układ S' i skorzystajmy z wzorów transformacyjnych dla prędkości. Jeśli w układzie S prędkość płyty ma składowe w_x, w_y, w_z , to w układzie S' poruszającym się z szybkością v względem układu S równoległe do osi

X prędkość ta ma składowe [3] (nadal używamy jednostek, w których $c = 1$)

$$w'_x = \frac{w_x - v}{1 - w_x v}$$

$$w'_y = \frac{w_y / \gamma}{1 - w_x v}$$

$$w'_z = \frac{w_z / \gamma}{1 - w_x v}$$

W układzie S prędkość płyty ma postać $\vec{w} = (w, 0, 0)$. Zatem w układzie pręta płyta będzie miała prędkość o składowych

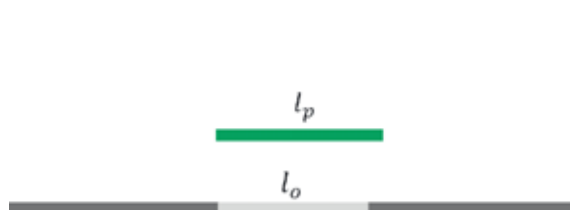
$$w'_x = \frac{0 - v}{1 - 0 \cdot v} = -v, \quad w'_y = \frac{w / \gamma}{1 - 0 \cdot v} = w / \gamma, \quad w'_z = 0.$$

Dla uproszczenia późniejszych obliczeń oznaczmy prędkość płyty względem pręta symbolem $\vec{u}$

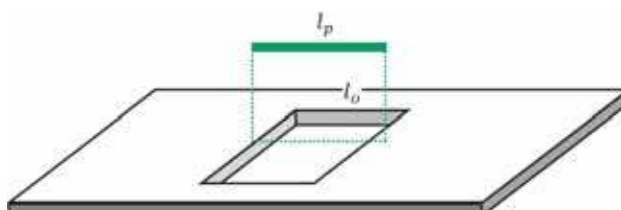
$$\vec{u} \equiv \vec{w}' = (-v, w / \gamma, 0).$$

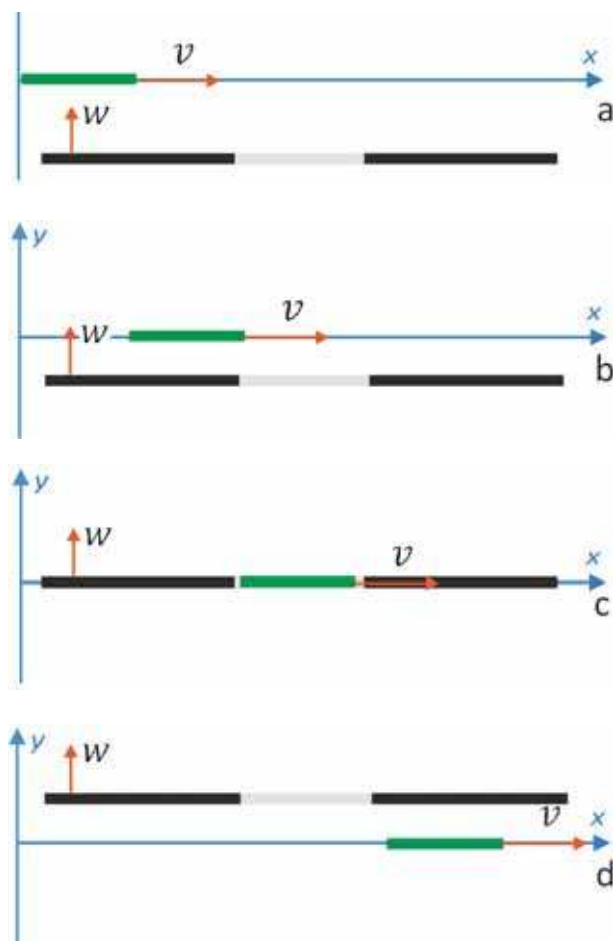
Składowa u_x spowoduje zmniejszenie grubości płyty, a składowa u_y zmniejszenie długości otworu. Długość spoczynkowa otworu jest mniejsza od długości pręta. Teraz stanie się jeszcze mniejsza. Wydaje się zatem, że powinno dojść do kolizji. A skoro w układzie pręta dojdzie do kolizji, to musi do niej dojść również w każdym innym układzie. Czy wobec tego kontrakcja długości jest tylko iluzją? A może popełniamy jakiś błąd wyobrażając sobie przebieg eksperymentu w układzie pręta? Czy i tym razem w rozwiązaniu problemu pomoże nam względność jednocześnieści jak w przypadkach opisywanych w poprzednim artykule [2]?

W pierwszym odruchu wyobrażamy sobie, że położenie płyty widziane z układu pręta jest takie, jak to pokazano na rysunku 3 (a). Jeśli tak by było, to faktycznie nie ma szans na bezkolizyjne minięcie się płyty i pręta. Ale czy rzeczywiście takie ułożenie płyty zaobserwują obserwatorzy poruszający się wraz z prętem? Okazuje się, że nie. W układzie S, w którym poprzednio rozważaliśmy przebieg eksperymentu, pręt i płyta były



Rysunek 1. Pręt o długości spoczynkowej l_p i cienka płyta z otworem o długości spoczynkowej $l_o < l_p$.

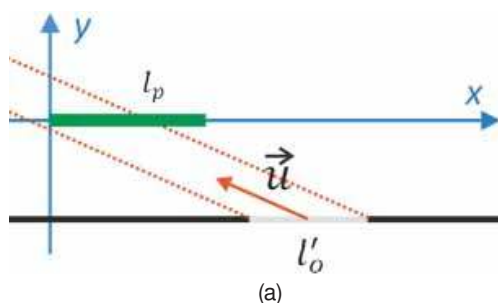




Rysunek 2. Kilka faz eksperymentu z prętem o długości spoczynkowej większej niż od długości otworu w płaskiej płycie. Prędkość pręta w układzie S jest taka, że pręt staje się krótszy od otworu. Przy odpowiednim zsynchronizowaniu ruchu pręta i płyty oba obiekty miną się bezkolizyjnie.

do siebie równoległe. Jednak w układzie pręta tak nie będzie!

Problem znowu związany jest ze względnością jednoczesności. Zwiążmy z końcami otworu zsynchronizowane zegary. W układzie S, w każdym momencie końce pręta są na tym samym poziomie, czyli mają tę samą współrzędną Y. Zegary na końcach otworu widziane z układu S pokazują te same godziny, gdyż ruch płyty odbywa się w kierunku prostopadłym do niej, a czas zależy od współrzędnej mierzonej w kierunku ruchu. Natomiast w układzie pręta zegary na końcach otworu będą pokazywać różne



Rysunek 3. (a) Błędne wyobrażenie ułożenia pręta i płyty z otworem w układzie związanym z prętem. (b) Rzeczywiste ułożenie płyty względem pręta widziane w układzie pręta. Kropkowane linie wskazują tory, po których będą się poruszać końce otworu.

godziny, przy czym zegar na lewym końcu otworu będzie wskazywać godzinę wcześniejszą od godziny wskazywanej przez zegar na prawym końcu pręta.

W odpowiedzi na pytanie dlaczego tak jest odsyłam do rysunku 4 (b) z pierwszej części artykułu [1]. W układzie związanym z prętem zegar na prawym końcu otworu pokazuje późniejszą godzinę niż zegar na lewym końcu. Oznacza to, że gdy prawy koniec otworu znajduje się na danym poziomie (ma współrzędną Y o jakiejś wartości), to lewy koniec jeszcze do tego poziomu nie dotarł i jest niżej (Y ma mniejszą wartość niż prawy koniec)! A zatem w układzie pręta płyta nie jest równoległa do pręta. Prawdziwy obraz ułożenia płyty względem pręta jaki zaobserwują obserwatorzy z układu pręta będzie taki jak na rysunku 3 (b). Przy takim ułożeniu „światło” otworu może być większe od długości pręta chociaż długość otworu jest mniejsza od długości pręta. Oba obiekty mogą minąć się bezkolizyjnie.

Z takim jakościowym wyjaśnieniem tego paradoksu spotkałem się w wykładzie pana Andrzeja Dragana [4]. Później znalazłem w Internecie pełen pogardy wpis osoby *wszystkowiedzącej* *najlepiej*, która wyśmiewała zarówno to wyjaśnienie, jak i wszystkich fizyków propagujących wiedzę o szczególnej teorii względności. Żeby więc nie było żadnej wątpliwości przeprowadźmy konkretne rachunki.

Oznaczmy lewy koniec otworu literą A, a prawy koniec literą B. Niech współrzędne końców tego otworu w układzie S w chwili t tego układu wynoszą

$$x_A = 0, y_A = wt,$$

$$x_B = l_o, y_B = wt,$$

Chcemy wiedzieć jakie są współrzędne końców w układzie S' związanym z prętem w chwili t' tego układu. Skorzystajmy z transformacji Lorentza (przypominam, że używamy układu jednostek, w którym prędkość jest bezwymiarowa, a $c = 1$). Ponieważ

$$x = (x' + vt')\gamma,$$

to

$$x' = \frac{x}{\gamma} - vt'$$

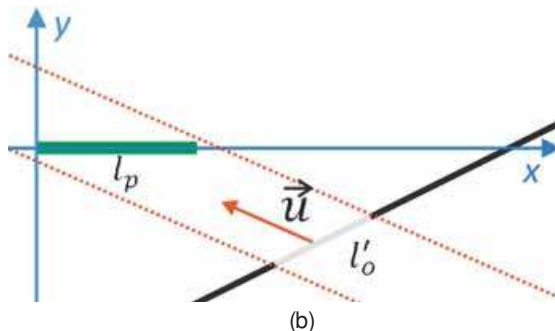
Zaś z równania

$$t' = (t - vx)\gamma,$$

znajdujemy

$$t = \frac{t'}{\gamma} + vx.$$

Wobec tego współrzędne końców otworu wyliczymy ze wzorów



$$x_A' = 0/\gamma - vt', \quad y_A' = w(t'/\gamma + v \cdot 0),$$

$$x_B' = l_o/\gamma - vt', \quad y_B' = w(t'/\gamma + vl_o).$$

Ostatecznie

$$x_A' = -vt', \quad y_A' = wt'/\gamma,$$

$$x_B' = l_o/\gamma - vt', \quad y_B' = (wt'/\gamma) + wvl_o.$$

Jak widzimy, prawy koniec otworu jest zawsze o wvl_o wyżej niż lewy koniec, czyli płyta faktycznie nie jest równoległa do pręta.

Sprawdźmy jak to wygląda w konkretnym przypadku. Załóżmy, że pręt ma długość spoczynkową $l_p = 1$ lns (1 nanosekunda świetlna), czyli ok. 30 cm. Otwór ma długość $l_o = 0,9$ lns, czyli ok 27 cm. Niech szybkości pręta i otworu będą takie same i wynoszą $w = v = 0,6$ lns/ns. Czynniki Lorentza ma wartość $\gamma = 1,25$. W układzie S pręt ulegnie skróceniu do wartości $l_p/\gamma = 0,8$ lns, czyli w układzie S pręt mieści się w otworze.

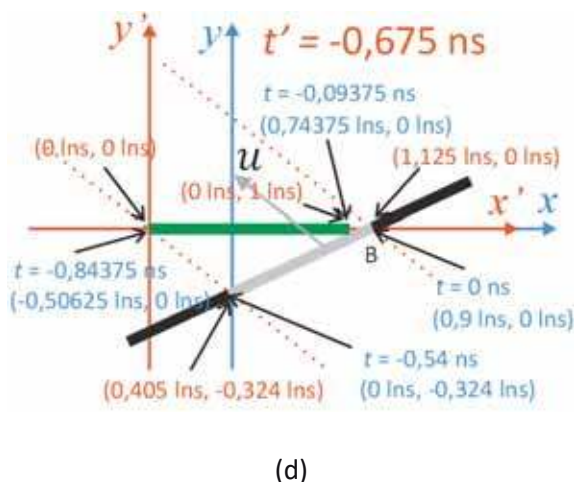
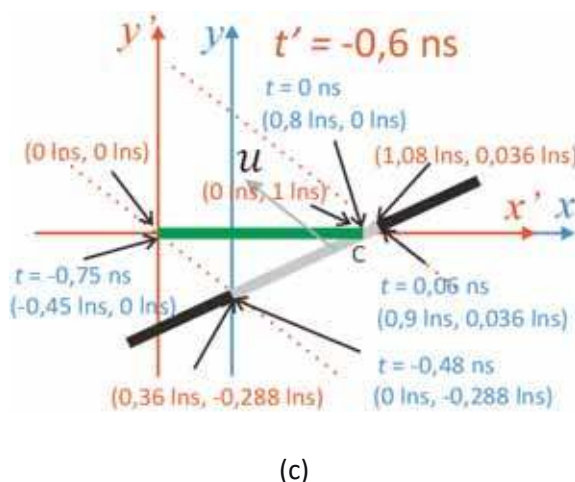
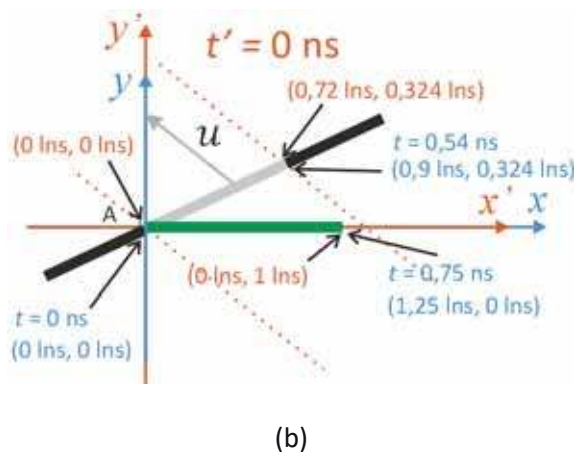
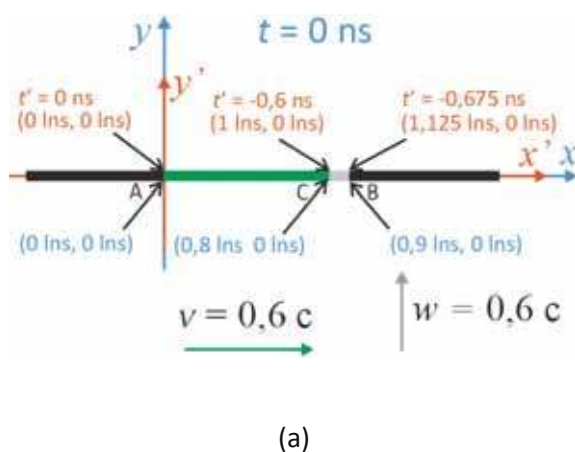
Założmy, że płyta dociera do płaszczyzny XZ w chwili $t = 0$ ns układu S, lewy koniec otworu ma wówczas współrzędne (0 lns, 0 lns), a prawy współrzędne (0,9 lns, 0 lns). W takim razie pręt w tym momencie musi znajdować się

wewnątrz otworu, niech lewy koniec otworu ma współrzędne (0 lns, 0 lns), a prawy współrzędne (0,8 lns, 0 lns). Tę sytuację przedstawia rysunek 4 (a). Oznaczmy tak jak na rysunku 4 (a) punkt o współrzędnych (0 lns, 0 lns) symbolem A, punkt o współrzędnych (0,9 lns, 0 lns) symbolem B i punkt o współrzędnych (0,8 lns, 0 lns) symbolem C.

W chwili $t = 0$ ns układu S w punktach tych zachodzą cztery zdarzenia. Dwa w punkcie A, są to: pojawienie się w tym punkcie lewego końca pręta i pojawienie się tam lewego końca otworu. Trzecie zdarzenie to pojawienie się w punkcie B prawego końca otworu. I czwarte to pojawienie się w punkcie C prawego końca pręta. Wszystkie cztery zdarzenia są w układzie S zdarzeniami jednoczesnymi. Pierwsze dwa zachodzą w tym samym punkcie, więc będą jednocześnie dla obserwatorów z dowolnego układu inercjalnego [1].

Następne dwa zachodzą w punktach o różnych współrzędnych X, więc dla obserwatorów poruszających się względem układu S z prędkością mającą niezerową składową X, np. dla obserwatorów związanych z naszym prętem, te zdarzenia nie będą jednoczesne ani między sobą, ani ze zdarzeniami z punktu A.

Dla obserwatorów z układu S' związanego z prę-



Rysunek 4. Mijanie się płyty z otworem o długości spoczynkowej $l_o = 0,8$ lns i pręta o długości spoczynkowej $l_p = 1$ lns. Pręt porusza się z szybkością $v = 0,6$ c w poziomie, a płyta z szybkością $w = 0,6$ c w pionie. Na rysunku (a) przedstawiono moment mijania się obiektów obserwowane w układzie S. Możemy na to spojrzeć jak na cztery zdarzenia zachodzące w punktach A, B i C (patrz tekst główny). Zdarzenia te są jednoczesne w układzie S. W układzie S' związanym z prętem zdarzenia te nie są jednoczesne. Zdarzenia zachodzące w punkcie A zachodzą w chwili $t' = 0$ ns (rysunek (b)), Zdarzenie w punkcie B zachodzi w chwili $t' = -0,675$ ns, (rysunek (c)). A zdarzenie w punkcie C zachodzi w chwili $t' = -0,6$ ns (rysunek (d)). Kropkowane linie pokazują tor końców otworu w układzie S'. Na rysunkach nie zróżnicowano grubości płyty, która dla obserwatorów w obu układach jest inna. Pozostałe proporcje i kąty są zachowane.

tem w chwili $t' = 0$ ns ich układu, lewy koniec otworu i lewy koniec pręta znajdują się punkcie o współrzędnych $(0 \text{ ns}, 0 \text{ ns})$, który odpowiada punktowi A w układzie S. Natomiast prawy koniec otworu w chwili $t' = 0$ ns ma współrzędne $(0,72 \text{ ns}, 0,324 \text{ ns})$, czyli ten koniec minął już pręt i jest nad nim (patrz rysunek 4 (b)). Z równania $y'_B = wt'/\gamma + wv l_o$ możemy wyliczyć, że prawy koniec otworu był na poziomie pręta ($y = 0 \text{ ns}$ w momencie $t' = -vl_o\gamma = -0,675 \text{ ns}$ i wtedy zaszło zdarzenie B. Lewy koniec otworu miał w tym momencie współrzędne $(0,405 \text{ ns}, -0,324 \text{ ns})$, czyli znajdował się jeszcze poniżej pręta (patrz rysunek 4 (d)). Pokazane na rysunku tory końców otworu w układzie S' wskazują, że również w układzie S' oba obiekty mijają się bezkolizyjnie.

Dla pewności przeprowadźmy jeszcze ogólny rachunek aby upewnić się, że otrzymany wynik będzie prawdziwy dla dowolnych długości pręta i otworu o ile tylko zachodzi związek $l_p/\gamma < l_o$. Aby się przekonać, czy pręt zmieści się w otworze wyliczmy długości rzutów pręta i otworu na kierunek prostopadły do prędkości, z jaką płyta porusza się względem pręta. Skorzystajmy z własności wektorów. W tym celu utwórzmy wektor $\vec{r}_p$ o długości i kierunku pręta. Następnie znajdziemy kolejno wektory $\vec{r}_{p\parallel}$ i $\vec{r}_{p\perp}$ jak na rysunku 5 (a).

Pierwszy z tych wektorów ma postać:

$$\vec{r}_p = (l_p, 0, 0).$$

Wektor $\vec{r}_{p\parallel}$ ma długość rzutu wektora $\vec{r}_p$ na kierunek wektora prędkości $\vec{u} = (-v, w/\gamma, 0)$ oraz kierunek i zwrot wektora prędkości, czyli

$$\vec{r}_{p\parallel} = \frac{[\vec{r}_p \cdot \vec{u}]}{u} \frac{\vec{u}}{u} = \frac{vl_p}{u^2} \left(-v, \frac{w}{\gamma}, 0 \right).$$

gdzie $u = \sqrt{v^2 + w^2/\gamma^2}$ jest długością wektora prędkości płyty względem pręta.

Następnie znajdujemy wektor $\vec{r}_{p\perp}$

$$\vec{r}_{p\perp} = \vec{r}_p - \vec{r}_{p\parallel} = \frac{l_p w}{u^2 \gamma^2} (w, v\gamma, 0).$$

Jego długość wynosi

$$r_{p\perp} = \frac{l_p w}{u\gamma}$$

Analogicznie postępujemy z otworem (patrz rysunek 5 (b)). Wektor z nim związany ma postać

$$\vec{r}_o = (x'_B - x'_A, y'_B - y'_A, 0) = (l_o/\gamma, wv l_o, 0)$$

Pozostałe wektory są równe

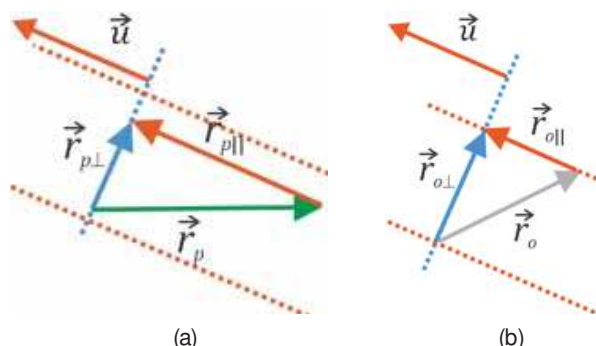
$$\vec{r}_{o\parallel} = \frac{[\vec{r}_o \cdot \vec{u}]}{u} \frac{\vec{u}}{u} = \frac{(1-w^2)vl_o}{\gamma u^2} \left(-v, \frac{w}{\gamma}, 0 \right).$$

$$\text{ i } \vec{r}_{o\parallel} = \vec{r}_o + \vec{r}_{o\parallel} = \frac{l_o w}{u^2 \gamma} (w, v\gamma, 0).$$

Długość tego ostatniego wynosi

$$r_{o\perp} = \frac{l_o w}{u}.$$

Teraz chwila prawdy. Aby płyta mogła minąć się bezkolizyjnie z prętem, długość wektora $r_{o\perp}$, czyli „światło”



Rysunek 5. Konstrukcje wektorów do wyliczenia (a) długości rzutu pręta i (b) rzutu otworu na kierunek prostopadły do prędkości otworu względem pręta.

otworu jakie widzą obserwatorzy związani z prętem, musi być większa od długości rzutu pręta na kierunek prostopadły do prędkości płyty $r_{p\perp}$. No to sprawdzmy.

$$r_{o\perp} - r_{p\perp} = \frac{l_o w}{u} - \frac{l_p w}{u\gamma}.$$

Z założenia naszego eksperymentu wiemy, że w układzie S długość otworu l_o jest większa od relatywistycznej długości pręta l_p/γ , czyli

$$l_o > l_p/\gamma.$$

A zatem

$$\frac{l_o w}{u} - \frac{l_p w}{u\gamma} > \frac{l_p w}{u\gamma} - \frac{l_p w}{u\gamma} = 0.$$

Czyli

$$r_{o\perp} - r_{p\perp} > 0$$

Ostatecznie

$$r_{o\perp} > r_{p\perp}$$

Jak widzimy niezależnie od tego ile razy długość spoczynkowa pręta będzie większa od długości spoczynkowej otworu, to gdy nadamy prętowi odpowiednią prędkość, taką, żeby jego skrócona (relatywistyczna) długość była mniejsza od długości otworu możemy doprowadzić do bezkolizyjnego minięcia się pręta i płyty. Skrócenie Lorentza nie jest matematyczną iluzją. Kolejny paradoks związany z tym efektem okazał się być pozornym paradoksem.

Paradoks magnetyczno-elektryczny

Przedstawiony powyżej eksperyment myślowy oraz eksperymenty z drugiej części artykułu [2] powstały po odkryciu zjawiska kontrakcji długości. Intuicyjne rozumienie tych eksperymentów prowadziły do sprzeczności i dlatego nazywamy je paradoksami. Na zakończenie naszych rozważań nad zjawiskiem skrócenia Lorentza opiszę problem w pewnym sensie odwrotny do tamtych. Odwrotny dlatego, że był on paradoksem przed powstaniem teorii względności, a rozwiązanie problemu przyniosło dopiero odkrycie zjawiska skrócenia długości.

Wiemy, że na ładunek q poruszający się z prędkością $\vec{v}$ w polu magnetycznym o indukcji $\vec{B}$ działa siła

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}.$$

Siłę tą nazywamy siłą Lorentza chociaż powyższy wzór w roku 1889 (kilka lat przed Lorentzem) wyprowadził Oliver Heaviside [5]. Od samego początku fizycy mieli problem z tym wzorem. Skoro wszystkie inercjalne

układy odniesienia są równoważne, to w każdym powinniśmy odnotować takie samo zachowanie się ładunku. A co się stanie jeśli jako układ odniesienia wybierzemy układ związany z ładunkiem? W tym układzie prędkość ładunku jest zerowa, więc zgodnie z wzorem Lorentza dostajemy zerową siłę. Coś tu nie gra.

Rozważmy prostoliniowy przewodnik elektryczny, w którym płynie prąd elektryczny I . Zwiążmy z nim układ S . Wyobraźmy sobie teraz, że w odległości r od przewodnika porusza się równoległe do niego elektron. Niech dla uproszczenia jego prędkość jest równa prędkości dryfu elektronowego [6] w przewodniku (patrz rysunek 6 (a)).

Jeśli koncentracja swobodnych elektronów w przewodniku (liczba swobodnych elektronów w jednostce objętości) wynosi n , prędkość dryfu elektronów v , a pole przekroju poprzecznego przewodnika S , to natężenie prądu elektrycznego w przewodniku wynosi [7]

$$I = envS.$$

Prąd elektryczny w przewodniku wytwarza pole magnetyczne, którego linie są okręgami leżącymi w płaszczyznach prostopadłych do przewodnika o środkach leżących na osi przewodnika (patrz rysunek 7 (a)). Wartość indukcji magnetycznej tego pola w odległości r od przewodnika wynosi [8]

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{I}{2\pi\epsilon_0 c^2 r} = \frac{envS}{2\pi\epsilon_0 c^2 r}$$

Na poruszający się w tym polu magnetycznym elektron będzie zatem działać siła Lorentza skierowana w kierunku przewodnika (patrz rysunek 7 (b)). Wartość tej siły będzie równa

$$F = evB = \frac{e^2 nv^2 S}{2\pi\epsilon_0 c^2 r}$$

Do tego momentu nie widzimy niczego dziwnego. Zastanówmy się jednak co się stanie, gdy przejdziemy do inercjalnego układu odniesienia poruszającego się z prędkością dryfujących w przewodniku elektronów. Teraz prąd elektronów jest zerowy, więc nie wytwarza pola magnetycznego, ale mamy prąd dodatnich jonów sieci krystalicznej poruszających się w przeciwnym kierunku (patrz rysunek 6 (b)). Ten prąd wytwarza takie samo pole magnetyczne jakie wcześniej wytwarzał prąd elektronowy. Mamy jednak problem, bo elektron w tym układzie odniesienia jest nieruchomy, więc nie będzie działać na niego siła Lorentza! Do czasów powstania szczególnej teorii względności dylematu tego nie potrafiono rozwiązać. Siła nie może zniknąć, gdy do opisu zjawiska wybierzemy inny układ inercjalny. To przeczy zasadzie niezmienniczości Galileusza.

Jak z tym problemem poradziła sobie teoria względności? Wróćmy do układu odniesienia związanego z prze-

wodnikiem. Na długości L tego przewodnika mamy $enLS$ swobodnych elektronów i en_+LS jonów dodatnich. Ponieważ przewodnik jest elektrycznie obojętny, to

$$enLS = en_+LS.$$

A zatem w układzie związanym z przewodnikiem koncentracja swobodnych elektronów jest równa koncentracji jonów dodatnich

$$n = n_+.$$

Przejdźmy teraz do układu odniesienia związanego z dryfującymi elektronami. Dla rozważanego przez nas fragmentu przewodnika długość odcinka, na którym rozłożone są jony dodatnie będzie inna niż długość odcinka z elektronami. Odcinek zajmowany przez elektrony zmieni długość z L na $L\gamma$ (patrz analogiczny problem związany z paradoksem pociągu i tunelu opisany w [2]), a odcinek zajmowany przez jony skróci długość z L do L/γ .

Jednocześnie całkowity ładunek naszego fragmentu przewodnika nie może się zmienić, gdyż ładunek elektryczny nie zależy od prędkości. Dowód tego twierdzenia jest dość prosty. Jeśli podgrzewamy przewodnik, to ze względu na znaczną różnicę masy między elektronami i atomami prędkość elektronów swobodnych rośnie znacznie bardziej niż prędkość drgań jonów dodatnich. Gdyby zatem ładunek zmieniał się z prędkością podgrzewany przewodnik ładowałby się elektrycznie (oczywiście nie chodzi mi o zmianę ładunku wskutek termoeemisji), a takiego efektu nie obserwujemy.

Skoro po zmianie układu odniesienia ładunek nie zmienia się, a zmieniły się długości, to musi się zmienić koncentracja ładunków.

W układzie odniesienia związanym z dryfującymi elektronami będziemy mieć

$$en\gamma S = enLS$$

i

$$en'_+LS/\gamma = enLS.$$

Stąd

$$n' = n/\gamma$$

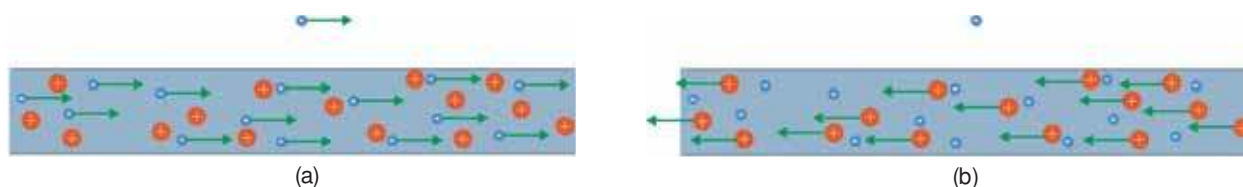
oraz

$$n'_+ = n\gamma.$$

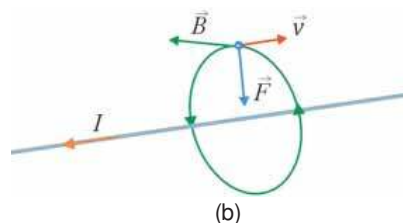
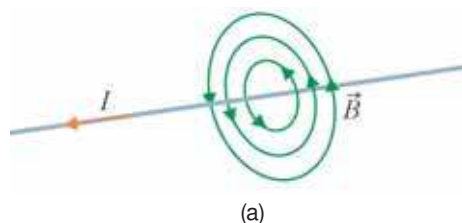
Jak widać w primowanym układzie odniesienia wypadkowa gęstość ładunków (ilość ładunku elektrycznego w jednostce objętości) będzie teraz niezerowa i równa

$$\rho' = -en' + -en'_+ = e(n\gamma - n/\gamma) = en(v^2/c^2)\gamma.$$

A zatem w tym układzie odniesienia przewodnik będzie naładowany dodatnio więc będzie przyciągać nasz elektron. Sprawdźmy, czy wartość tej siły będzie taka sama, z jaką w poprzednim układzie pole magnetyczne przyciągało elektron. Rozkład ładunków o podanej wyżej gęstości rozłożonych na prostoliniowym przewodniku wytwarza pole elektryczne o wektorach natężenia pola elektrycznego prostopadłych do przewodnika i warto-



Rysunek 6. (a) Schematyczny obraz przewodnika, w którym płynie prąd elektryczny. Czerwone kółka reprezentują dodatnie jony sieci krystalicznej, a niebieskie kółeczka elektrony swobodne. Zielone strzałki pokazują średnią prędkość dryfu elektronów. Nad przewodnikiem znajduje się elektron mający prędkość równą średniej prędkości dryfu elektronów w przewodniku. (b) Ta sama sytuacja co na rysunku (a), ale w układzie odniesienia związanym z dryfującymi elektronami swobodnymi.



Rysunek 7. (a) Przykładowe linie pola magnetycznego powstającego wokół nieskończonego prostoliniowego przewodnika, w którym płynie prąd elektryczny. (b) Na ładunek ujemny poruszający się z prędkością równoległą do przewodnika, w którym płynie prąd elektryczny w kierunku zgodnym z kierunkiem dryfu elektronowego (przeciwnym do kierunku prądu elektrycznego) działa siła skierowana do przewodnika.

ściach odwrotnie proporcjonalnych do odległości od przewodnika równych [7]

$$E(r) = \frac{\rho' S}{2\pi\epsilon_0 r}.$$

Siła z jaką to pole będzie przyciągać elektron ma wartość

$$F' = eE(r) = \frac{e^2 n S v^2}{2\pi\epsilon_0 c^2 r} \gamma.$$

Ostatecznie dostajemy

$$F' = F\gamma.$$

Jak widzimy po przejściu do układu inercjalnego poruszającego z prędkością v względem poprzedniego siła zmieniała się. Inaczej było, gdy stosowaliśmy transformację Galileusza. Siła była niezmiennikiem tej transformacji. Było tak między innymi dlatego, że w mechanice klasycznej zakładaliśmy, że masa jest cechą ciał niezależną od prędkości. W mechanice relatywistycznej nie jest to prawdą. Zasada zachowania pędu, jedna z fundamentalnych zasad fizyki, wymaga aby masa transformowała się według równania [8]

$$m = m_0 \gamma.$$

gdzie m jest masą poruszającego się ciała, a m_0 tak zwana masą spoczynkową, czyli masą jaką ma ciało w układzie, w którym jest ono nieruchome. W konsekwencji pęd ciała musi przyjąć postać

$$\vec{p} = m_0 \vec{v} \gamma.$$

Przy takich założeniach druga zasada dynamiki Newtona zapisana w postaci

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

nał nadal pozostaje w mocy, w przeciwieństwie do postaci $\vec{F} = m\vec{a}$, która nie jest prawdziwa w mechanice relatywistycznej.

Sprawdźmy zatem, czy obie siły wywołują ten sam efekt, czyli tę samą zmianę pędu naszego elektronu w czasie dt pierwszego układu i w odpowiadającym mu czasie dt' w drugim układzie. W pierwszym układzie dostajemy

$$dp = F dt.$$

W drugim układzie mamy

$$dp' = F' dt' = F \gamma dt' = F dt = dp.$$

czyli wszystko się zgadza. Pole elektryczne jakie odczuwa nasz ładunek w układzie związanym z nim wywołuje ten sam efekt jak pole magnetyczne, jakie odczuwa on w układzie związanym z przewodnikiem. Oczywiście są to dwa skrajne przypadki. W innych układach odniesienia, poruszających się wzdłuż przewodnika z innymi niż tamte prędkościami, na ładunek będzie działać zarówno pole elektryczne, jak i magnetyczne.

Zwróćmy jeszcze uwagę, że przedstawiony problem można rozwiązać jedynie na gruncie mechaniki relatywistycznej i jest jeszcze jednym dowodem na to, że relatywistyczne skrócenie długości nie jest złudzeniem, lecz obiektywnym faktem.

I jeszcze jedna uwaga. Teoria elektromagnetyzmu Maxwella jest teorią relatywistyczną, chociaż powstała przed teorią względności. Równań Maxwella nie musimy poprawiać aby dostać ich postać relatywistyczną, one już są relatywistyczne! Powstanie teorii elektromagnetyzmu przyczyniło się do powstania szczególnej teorii względności. Zauważmy, że transformacja leżąca u podstaw szczególnej teorii względności została wyprowadzona przez Lorentza przed powstaniem teorii względności. Lorentz znalazł tę transformację poszukując transformacji, względem której byłyby niezmiennicze równania Maxwella [9]. Zasadnicza różnica polega na tym, że dla Lorentza prędkości v i c występujące we wzorach transformacyjnych były prędkościami względem eteru, a dla Einsteina są to prędkości względem dowolnego układu inercjalnego.

Pola elektrycznego i magnetycznego, które opisują te równania nie da się oddzielić od siebie. Tworzą one jedno pole elektromagnetyczne. Wzory transformacyjne składowych wektora natężenia pola elektrycznego $\vec{E}$ i indukcji magnetycznej $\vec{B}$ przy przejściu od układu S do S' mają następującą postać [10]

$$E'_x = E_x, \quad E'_y = (E_y - \beta B_z)\gamma, \quad E'_z = (E_z + \beta B_y)\gamma$$

oraz

$$B'_x = B_x, \quad B'_y = (B_y + \beta E_z)\gamma, \quad B'_z = (B_z - \beta E_y)\gamma$$

Transformację odwrotną opisującą przejście z S' do S otrzymamy, gdy składowe primowane i nieprimowane zastąpimy wzajemnie oraz zmienimy znak przed szybkością β .

Na tym kończę rozważania na temat kontrakcji Lorentza. W następnej części artykułu zajmę się między innymi problemem dylatacji czasu.

Jan Kurzyk

Instytut Fizyki Politechniki Krakowskiej

LITERATURA

- [1] J. Kurzyk, *Paradoksy szczególnej teorii względności. Część I. Fizyka w Szkole* nr 1/2019.
- [2] J. Kurzyk, *Paradoksy szczególnej teorii względności. Część I. Fizyka w Szkole* nr 2/2019.
- [3] C. Kittel, W.D. Knight, M.A. Ruderman, *Mechanika*, PWN 1975.
- [4] A. Dragan, *Niezwykłe szczególne teorii względności*, <http://www.fuw.edu.pl/~dragan/Fizyka/Nstw.pdf> [Dostęp 28.10.2018].
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Lorentz_force [Dostęp 11.12.2018].
- [6] https://pl.wikipedia.org/wiki/Pr%C4%99dko%C5%9B%C4%87_dryfu [Dostęp 11.12.2018].
- [7] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy Fizyki* tom 3, PWN 2006.
- [8] A. K. Wróblewski, J. A. Zakrzewski, *Wstęp do Fizyki*, tom 1, PWN 1984.
- [9] https://en.wikipedia.org/wiki/Lorentz_transformation [Dostęp 31.12.2018].
- [10] E. M. Purcell, *Elektryczność i magnetyzm*, PWN 1975.

Dzisiaj klasówka z ...

Alicja **Szymańska**

Ocenianie jest integralną częścią procesu nauczania. Pełni rolę informacyjną. Sygnalizuje uczniowi jakie postępy poczynił, co już opanował i w jakim stopniu, a nad czym musi jeszcze popracować. Nauczycielowi pozwala sprawdzić efektywność nauczania i ewentualnie zmusza do zmiany metod tego procesu. Jakie formy aktywności ucznia są najczęściej oceniane? Jest to odpowiedź ustna, kartkówka, praca klasowa, prace domowe krótko- i długoterminowe, referaty, aktywność na lekcji itp. Szeroki wybór. Pamiętajmy, że im mniej godzin do dyspozycji nauczyciela, tym z założenia powinniśmy zoptymalizować ten proces.

Oczywiście na prawie każdej lekcji uczeń może wykonać coś, co później będzie podlegało kontroli i ocenie. Zastanówmy się jednak, czy „nie nadwyręży to materiału”? Zastosujmy czasami ocenę opisową, informując ucznia ustnie o jego osiągnięciach. Gdy sprawdzamy wiadomości i umiejętności całościowe np. na zakończenie działu, to oczywiście wymaga od nas nie tylko opisu postępów, ale również oceny wyrażonej cyfrą.

Prace klasowe podsumowujące partię materiału powinny być spójne z programem nauczania i planem wynikowym. Powinny zawierać pytania różnego typu np. otwarte i zamknięte. Dobry i efektywny test zbudowany jest z zadań wielokrotnego wyboru, prawda-fałsz, na dobieranie, krótkiej odpowiedzi, rozszerzonej odpowiedzi, zadania z luką, podkreśl prawidłową odpowiedź. Nie mogą być one zbyt czasochłonne i skomplikowane, a ich liczba powinna wynosić około 20 (może być mniejsza, szczególnie wtedy kiedy jedno zadanie sprawdza kilka umiejętności).

W testach muszą znaleźć się pytania łatwiejsze oraz o większej skali trudności, mogą – nieobowiązkowe (o podwyższonym stopniu trudności). Zamieszczenie ilustracji, schematów, fragmentów tekstów źródłowych – to zwiększa atrakcyjność zadań i daje możliwość kontroli opanowania różnych umiejętności.

Praca klasowa powinna zawierać informacje na temat punktacji np. przy każdym pytaniu, a na końcu punktację sumaryczną. Jej zamieszczenie pozwoli uczniom wstępnie oszacować możliwą do zdobycia liczbę punktów i przewidzieć ocenę. Pytania testowe o mniejszej skali trudności możemy umieścić na początku, a o większej trudności na końcu. Możemy również pytania układać tematycznie np. na początku dać zadania z ruchu jednostajnego, a następnie z ruchu zmiennego. Znacznie ułatwi to uczniowi ich rozwiązywanie. Chociaż pamiętajmy, że pytanie może być przekrojowe i wtedy będzie zawierać wiadomości i umiejętności nie tylko z różnych zagadnień tego samego działu, ale również z różnych działów np. kinematyki i dynamiki.

Pytania powinny zawierać czasowniki w formie operacyjne np. oblicz, narysuj, zaznacz, podkreśl, połącz, uzupełnij, ułóż w kolejności itp. Uczniowie bardzo często

w zadaniach wymagających wykonania kilku czynności, wykonują pierwszą, a o reszcie zapominają. W związku z tym możemy wprowadzić podpunkty do pytania, które rozbijają je na poszczególne etapy.

Układając pisemny testu kontrolujący osiągnięcia uczniów powinniśmy: wykonać plan testu, kartotekę testu, uwzględnić zadania otwarte i zamknięte, dokonać oceny formy i treści, określić normę ilościową zaliczenia. Później zadania mogą zostać wystandaryzowane. Czynność ta ma służyć sprawdzeniu poprawności redakcyjnej pytań, trafności doboru zagadnień, a także umożliwić korektę czasu potrzebnego na rozwiązanie testu (szczególnie jeśli test chcemy wykorzystywać w następnych latach). Bardzo dużo czynności jak na jedną pracę klasową.

Przedstawiam (i zachęcam do wykorzystania) test sprawdzający stopień opanowania wiadomości i umiejętności z kinematyki w szkole podstawowej. Celowo pomijam tutaj niektóre zasady konstrukcji sprawdzianów np. punktację. Każdy nauczyciel ma wypracowane zasady punktacji, do których uczniowie są przyzwyczajeni. Można je sobie dowolnie określić. Nie podaję również skali ocen, ponieważ w każdej szkole jest ona nieco inna.

.....
Imię i nazwisko Klasa

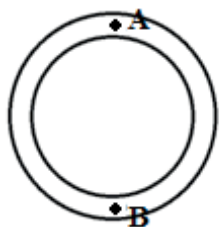
Rząd 1.

- Przelicz czas.
 - 2 h = ... s
 - 6 s = ... h
- Oceń prawdziwość podanych zdań. W kratkę obok zdania wpisz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F – jeśli zdanie jest fałszywe.
 - Droga to linia kreślona przez poruszające się ciało. ☐
 - Kierowca jadącego autobusu, względem podchodzącego do pasażera kontrolera biletów, spoczywa. ☐
- Z podanych niżej przyrządów wybierz i podkreśl dwa, które wykorzystasz w celu zmierzenia szybkości poruszającego się ciała.
stoper, siłomierz, waga, cylinder miarowym, żarówka, metrówka, magnes
- Uporządkuj podane niżej wartości prędkości od największej do najmniejszej.
36 km/h, 5 m/s, 100000 cm/s

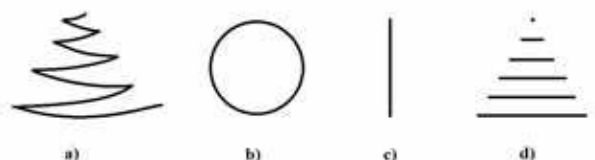
> >

- Ruchem prostoliniowym porusza się:
 - Samochód jadący z Sopotu do Łodzi.
 - Zawodniczka short tracka.
 - Wyrzeczona kula armatnia.
 - Spadające z drzewa jabłko.

6. Samochód wjechał na rondo w punkcie A, a zjechał z niego w punkcie B. Narysuj wektor przemieszczenia samochodu.



7. Do sufitu windy przywiązano wahadło (np. niewielki, ale ciężki kamień przywiązany do nitki). Wychylono je z położenia równowagi i wprowadzono w ruch. Jak wygląda przybliżony tor ruchu wahadła, względem osoby stojącej na parterze, jeśli winda jedzie z parteru do góry?



8. Przyporządkuj pojęcia (A-B) do odpowiednich opisów (1-5). Uwaga: cechy opisu mogą się powtórzyć.

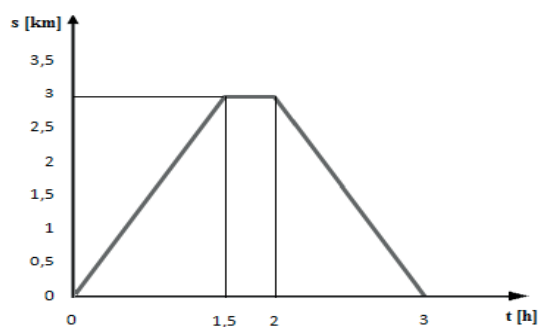
A. Ruch jednostajny prostoliniowy.

B. Ruch jednostajnie przyspieszony prostoliniowy.

1. $a = 0 \text{ m/s}^2$
2. Stała prędkość.
3. Droga jest wprost proporcjonalna do kwadratu czasu.
4. Tor ruchu to linia prosta.
5. Droga jest wprost proporcjonalna do czasu.

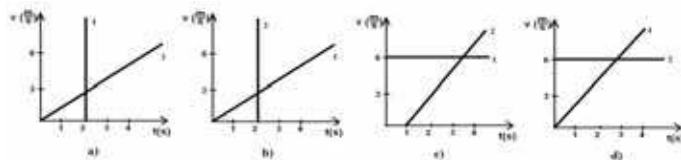
A –
B –

9. Organizatorzy pieszego rajdu po górach przedstawili sposób poruszania się uczestników (między bazą a szczytem) za pomocą wykresu zależności drogi od czasu $s(t)$. Przeanalizuj wykres i odpowiedz na pytania.



- a) Jakim ruchem poruszali się uczestnicy przez pierwszą godzinę marszu?
- b) Ile czasu trwało zejście uczestników ze szczytu do bazy?
- c) Co robili uczestnicy w przedziale czasu 1,5 – 2 h rajdu?

10. Uczniowie musieli narysować wykres zależności prędkości od czasu dla ruchu jednostajnego (1) i jednostajnie przyspieszonego (2). Który rysunek to prawidłowo obrazuje?



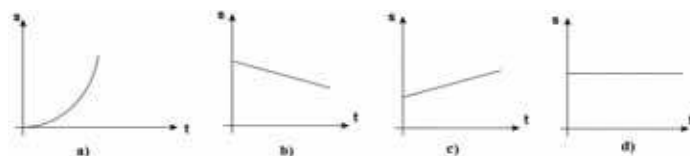
11. Uzupełnij zdanie.

Samochód poruszał się ruchem jednostajnym z prędkością 90 km/h.

- a) Jaką drogę przebył w ciągu pierwszych 5 minut ruchu?
 - b) W czasie kolejnych 5 minut przebył drogę
 - c) Ile czasu zajmie pokonanie 30 km?
12. Spacerowicz pokonując każdy etap trasy, poruszał się ruchem jednostajnym. Na początku pokonał 1 km w czasie 30 minut, drugi etap – 500 m z prędkością 3 km/h.

- a) Oblicz czas ruchu na drugim etapie.
- b) Oblicz prędkość średnią całej trasy.

13. Który wykres przedstawia ruch rozpędzającego się ciała?



14. Która z podanych wielkości nie jest potrzebna do obliczenia przyspieszenia?

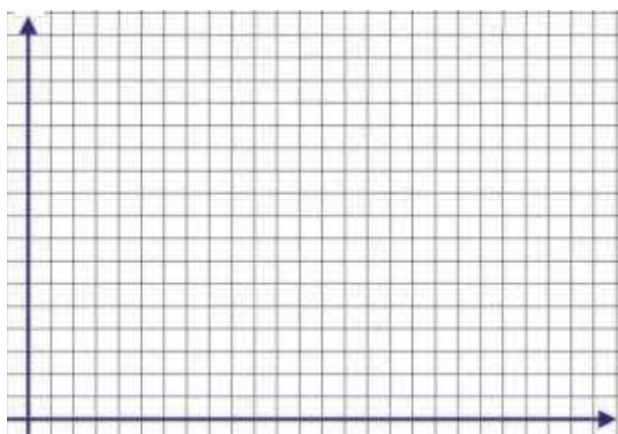
- a) czas,
- b) szybkość średnia,
- c) prędkość początkowa,
- d) prędkość końcowa,

15. Przyspieszenie jest wielkością wektorową. Dorysuj wektory przyspieszenia do I i II samochodu, jeśli wiesz, że pierwszy porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym, a drugi jednostajnie opóźnionym.

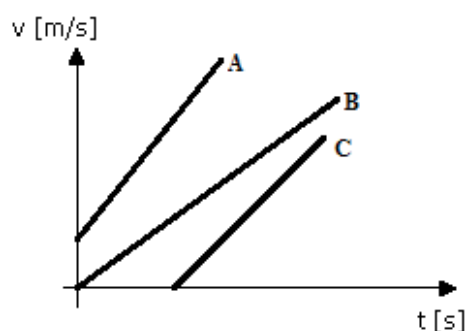


16. Ciało fizyczne zwiększa swoją prędkość z 4 m/s do 36 km/h uzyskując przyspieszenie $a = 2 \text{ m/s}^2$.

- a) Oblicz czas ruchu tego ciała.
- b) Oblicz jaką drogę pokonało to ciało w tym czasie.
- c) Narysuj wykres zależności prędkości od czasu dla tego ruchu.



17. Wykres przedstawia ruch trzech biegaczy (A, B, C). Przeanalizuj go i odpowiedz na pytanie.



Który z biegaczy nie usłyszał wystrzału startowego i rozpoczął bieg z niewielkim opóźnieniem?
.....

.....
Imię i nazwisko Klasa

Rząd 2.

- Przelicz czas
 - $3 \text{ h} = \dots\dots\dots \text{ s}$
 - $18 \text{ s} = \dots\dots\dots \text{ h}$
- Oceń prawdziwość podanych zdań. W kratkę obok zdania wpisz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo F – jeśli zdanie jest fałszywe.
 - Tor to linia kreślona przez poruszające się ciało. ☐
 - Kierowca jadącego autobusu, względem drzewa rosnącego przy przystanku, spoczywa. ☐
- Z podanych niżej przyrządów wybierz i podkreśl dwa, które wykorzystasz w celu zmierzenia szybkości poruszającego się ślimaka.
siłomierz, zegarek, waga, barometr, żarówka, magnes, linijka
- Uporządkuj podane niżej wartości prędkości od największej do najmniejszej.
 72 km/h , 3 m/s , 80000 cm/s

$>$ $>$

18. Dwie grupy uczniów dokonywały pomiarów wartości prędkości poruszającego się ciała. Zapisali je w tabelach.

Grupa I

t (s)	0	6	12	18	24
v (m/s)	13	11	7	3	0

Grupa II

t (s)	0	6	12	18	24
v (m/s)	13	11	9	7	5

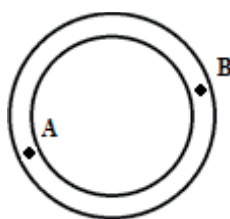
Zaznacz właściwe uzupełnienie poniższego zdania. Ruch jednostajnie opóźniony obserwowała grupa

1.	Pierwsza	W ruchu tym	A.	Przyspieszenie jest stałe
2.	Druga		B.	Przyspieszenie rośnie
			C.	Przyspieszenie maleje.

19. Ciało poruszało się ruchem jednostajnie przyspieszonym ($v_0 = 0 \text{ m/s}$). W pierwszej sekundzie ruchu przebyło ono drogę 3m. Jaką drogę przebyło w czwartej sekundzie ruchu?

- 3 m,
- 12 m,
- 21 m,
- 48 m.

- Ruchem prostoliniowym porusza się
 - Strzała wystrzelona z łuku.
 - Zawodnik na torze żużlowym.
 - Winda w kopalni.
 - Końcówka wskazówki sekundowej zegara.
- Samochód wjechał na rondo w punkcie A, a zjechał z niego w punkcie B. Narysuj wektor przemieszczenia samochodu.



7. W jadącym prosto autobusie puszczone spod sufitu piłeczkę do tenisa. Jak wygląda przybliżony tor ruchu tej piłeczki, względem osoby stojącej na chodniku znajdującym się wzdłuż ulicy?



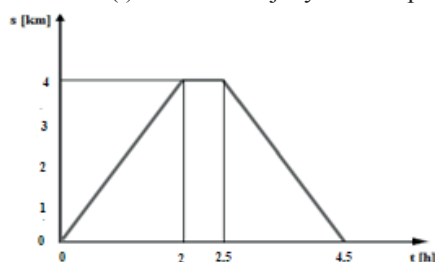
8. Przyporządkuj pojęcia (A-B) do odpowiednich opisów (1-5). Uwaga: cechy opisu mogą się powtórzyć.

A. Ruch jednostajny prostoliniowy.
B. Ruch jednostajnie przyspieszony prostoliniowy.

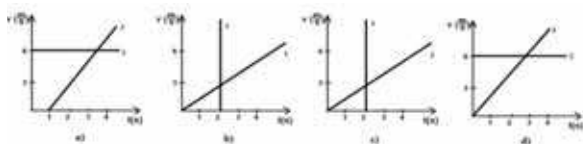
1. Droga jest wprost proporcjonalna do czasu.
2. Droga jest wprost proporcjonalna do kwadratu czasu.
3. $a = 0 \text{ m/s}^2$
4. Tor ruchu to linia prosta.
5. Stała prędkość

A-....., B-.....

9. Organizatorzy pieszego rajdu po górach przedstawili sposób poruszania się uczestników (między bazą a szczytem) za pomocą wykresu zależności drogi od czasu $s(t)$. Przeanalizuj wykres i odpowiedz na pytania.



- a) Jakim ruchem poruszali się uczestnicy przez pierwszą godzinę marszu?
 - b) Co robili uczestnicy rajdu w przedziale czasu 2-2,5 h?
 - c) Ile czasu trwał zejście uczestników ze szczytu do bazy?
10. Uczniowie musieli narysować wykres zależności prędkości od czasu dla ruchu jednostajnego (1) i jednostajnie przyspieszonego (2). Który rysunek to prawidłowo obrazuje?



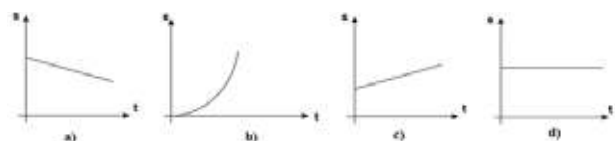
11. Uzupełnij zdanie.

Samochód poruszał się ruchem jednostajnym z prędkością 84 km/h.

- a) Jaką drogę przebył w ciągu pierwszych 10 minut ruchu?
 - b) W czasie kolejnych 10 minut przebył drogę
 - c) Ile czasu zajmie pokonanie 56 km?
12. Spacerowicz pokonując każdy etap trasy, poruszał się ruchem jednostajnym. Na początku pokonał 0,5 km w czasie 15 minut, drugi etap – 1000 m z prędkością 6 km/h.

- a) Oblicz czas ruchu na drugim etapie.
- b) Oblicz prędkość średnią całej trasy.

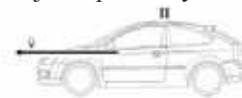
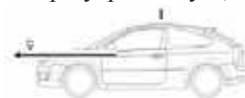
13. Który wykres przedstawia ruch rozpędzającego się ciała?



14. Która z podanych wielkości nie jest potrzebna do obliczenia prędkości końcowej w ruchu jednostajnie przyspieszonym?

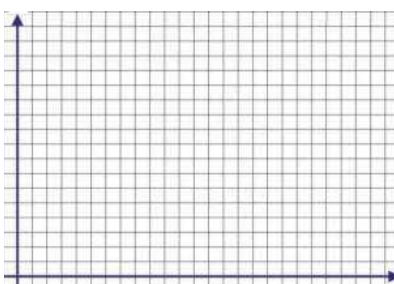
a) szybkość średnia, b) prędkość początkowa,
c) prędkość końcowa, d) czas,

15. Przyspieszenie jest wielkością wektorową. Dorysuj wektory przyspieszenia do I i II samochodu, jeśli wiesz, że pierwszy porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym, a drugi jednostajnie opóźnionym.



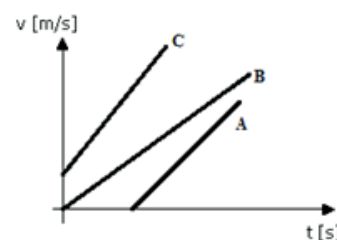
16. Ciało fizyczne zwiększa swoją prędkość z 5 m/s do 72 km/h uzyskując przyspieszenie $a = 5 \text{ m/s}^2$.

- a) Oblicz czas ruchu tego ciała.
- b) Oblicz jaką drogę pokonało to ciało w tym czasie.
- c) Narysuj wykres zależności prędkości od czasu dla tego ruchu.



17. Wykres przedstawia ruch trzech biegaczy (A, B, C). Przeanalizuj go i odpowiedz na pytanie.

Który z biegaczy nie usłyszał wystrzału startowego i rozpoczął bieg z niewielkim opóźnieniem?



18. Dwie grupy uczniów dokonywały pomiarów wartości prędkości poruszającego się ciała. Zapisali je w tabelach.

Grupa I

t (s)	0	5	10	15	20
v (m/s)	11	9	7	5	3

Grupa II

t (s)	0	5	10	15	20
v (m/s)	11	8	4	1	0

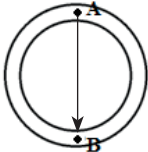
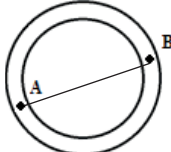
Zaznacz właściwe uzupełnienie poniższego zdania. Ruch jednostajnie opóźniony obserwowała grupa

1.	Pierwsza	W ruchu tym	A.	Przyspieszenie rośnie
2.	Druga		B.	Przyspieszenie maleje
			C.	przyspieszenie jest stałe

19. Ciało poruszało się ruchem jednostajnie przyspieszonym ($v_0 = 0 \text{ m/s}$). W pierwszej sekundzie ruchu przebyło ono drogę 4 m. Jaką drogę przebyło w trzeciej sekundzie ruchu?

- a) 4 m, c) 20 m,
- b) 8 m, d) 36 m.

Plan i kartoteka testu.

Nr zadania	Sprawdzane wiadomości i umiejętności. Uczeń:	Kategoria celu operacyjnego	Poziom wymagań	Rząd 1.	Rząd 2.
1.	Przelicza czas	C	K	$2\text{ h} = 7200\text{ s}$ $6\text{ s} = 1/600\text{ h}$	$3\text{ h} = 10800\text{ s}$ $18\text{ s} = 1/200\text{ h}$
2.	Zna definicje: - toru, drogi	A	P	a) F b) F	a) P b) F
	- względności ruchu	B	P		
3.	Zna przyrządy, potrzebne do pomiaru wartości prędkości.	A	K	stoper, metrówka	zegarek, linijka
4.	Przelicza jednostki	B	P	$100000\text{ cm/s} > 36\text{ km/h} > 5\text{ m/s}$	$80000\text{ cm/s} > 72\text{ km/h} > 3\text{ m/s}$
5.	Rozpoznaje ruch prostoliniowy	A	K	d	c
6.	Przedstawia graficznie zmianę położenia	C	P		
7.	Analizuje tor ruchu w różnych układach odniesienia	D	D	a	b
8.	Rozpoznaje cechy ruchu jednostajnego i zmiennego	A	K/P/R	A – 1, 2, 4, 5 B – 3, 4	A – 1, 3, 4, 5 B – 2, 4
9.	Rozpoznaje rodzaj ruchu z wykresu $s(t)$	C	K	a) ruchem jednostajnym b) 1 h c) odpoczywali/spoczywali, nie ruszali się	a) ruchem jednostajnym b) spoczywali c) 2 h
10.	Rozpoznaje rodzaj ruchu z wykresu $v(t)$	C	K	c	a
11.	Rozumie, że ciało poruszające się ruchem jednostajnym w każdej jednostce czasu przebywa jednakowe drogi	B	K	a) 7,5 km b) 7,5 km c) 20 minut	a) 14 km b) 14 km c) 40 minut
12.	Oblicza czas w ruchu jednostajnym	C	P	a) $1/6\text{ h}$ (10 minut) b) 2,25 km/h	a) 12 minut b) 3,6 km/h
	oblicza prędkość średnią	C	R		
13.	Analizuje wykresy $s(t)$ w różnych ruchach	C	R	a	b
14.	Rozpoznaje wielkości potrzebne do policzenia przyspieszenia	B	R	b	a
15.	Kreśli wektor przyspieszenia w ruchach zmiennych	D	D	I – wektor przyspieszenia ma kierunek i zwrot zgodny z kierunkiem i zwrotem wektora prędkości II – wektor przyspieszenia i wektor prędkości mają takie same kierunki, ale przeciwne zwroty	I – wektor przyspieszenia ma kierunek i zwrot zgodny z kierunkiem i zwrotem wektora prędkości II – wektor przyspieszenia i wektor prędkości mają takie same kierunki, ale przeciwne zwroty
16.	Oblicza czas i drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym z prędkością początkową, kreśli wykres	D	D	a) 3 s b) 21 m c) opisuje i skaluje osie, kreśli poprawnie linię	a) 3 s b) 37,5 m c) opisuje i skaluje osie, kreśli poprawnie linię
17.	Analizuje wykres $v(t)$ w ruchu jednostajnie przyspieszonym	D	R	C	A
18.	Analizuje zmiany prędkości w celu rozpoznanie ruchu zmiennego	D	R	2A	1C
19.	Oblicza drogę przebytą w kolejnych sekundach ruchu jednostajnie przyspieszonego	C	D	C	C

Alicja Szymańska

nauczyciel fizyki i biologii w Szkole Podstawowej nr 4 im. Sybiraków w Białymstoku

Integrowanie metod fizyki i matematyki

Aktualne kierunki badań w światowej dydaktyce fizyki i rekomendacje

Andrzej Sokółowski

Na lekcjach matematyki uczniowie poznają różne wyrażenia algebraiczne np. funkcje, relacje lub formuły. Zwykle funkcje przedstawiane są symbolicznie, graficznie lub jako tabele z danymi. Badania z dydaktyki fizyki wykazują, że uczniowie mają trudności z zastosowaniem wiedzy matematycznej do bardziej wnikliwej interpretacji zjawisk fizycznych, na przykład ze zrozumieniem, jaki wpływ na zmiany zjawiska fizycznego mają wielkości opisujące to zjawisko. Te stwierdzenia pociągają za sobą wnioski, że zasięg wiedzy ucznia z fizyki zależy między innymi od tego, czy potrafi on zastosować hipotetyczno-dedukcyjne rozumowanie, które rozwijane jest za pomocą narzędzi matematyki.

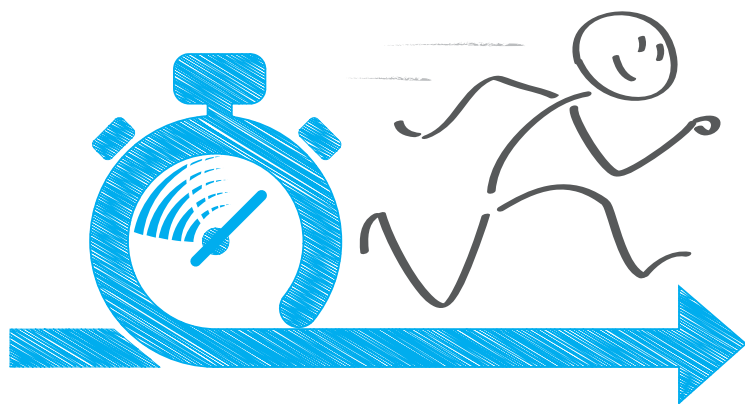
Jakkolwiek polska dydaktyka fizyki nie dokumentuje prac w kierunku większego zastosowania matematyki na lekcjach fizyki, wydaje się, że zachęcanie do podejmowania takowych prób i wcielanie w życie dobrych rozwiązań może mieć pozytywny wpływ nie tylko na rozumienie fizyki, ale również na zwiększenie zainteresowania uczniów fizyką i matematyką. Celem tego artykułu jest omówienie dominujących badań w tym kierunku, przedyskutowanie ich zaleceń i zaproponowanie praktycznych rozwiązań, które wychodzą naprzeciw tym zaleceniom.

Źródła trudności z transferem wiedzy matematycznej – wnioski z aktualnych badań

Przedstawianie praw fizyki w postaci algebraicznej daje możliwość na przewidywanie zachowania systemu dla wartości parametrów, które często w pracowni fizycznej nie byłyby możliwe do zweryfikowania. Wiedza na temat jak skutecznie wykorzystać pojęcia i struktury matematyczne na lekcjach fizyki jest wzbogacana, jednakże zgodności w jaki sposób zwiększyć rolę matematyki na lekcjach fizyki nie osiągnięto [1].

Redish [2] stwierdził, że ten stan rzeczy może być wyjaśniony tym, że sposób w jaki fizyk formułuje wyrażenia matematyczne jest inny od tego jak matematyk je tworzy. Niewątpliwie fizyk poszukuje nie tylko matematycznego związku pomiędzy wybranymi zmiennymi systemu, ale również interpretacji tych zmiennych w kontekście tego, co obserwuje lub w kontekście tego, co chce się dowiedzieć o danym systemie.

Sherin [3] zbadał, że studenci fizyki oceniają swoją wiedzę z fizyki za dobrą, jeśli potrafią interpretować symbole w danym wzorze. Na przykład, rozpoznanie we wzorze $R = \frac{\Delta V}{T}$ znaczenia każdego z symboli jest według tych studentów równoznaczne ze zrozumieniem fizyki. Płytkie zastosowanie narzędzi matematyki przez studentów fizyki, zostało także udokumentowane przez Walsha [4], który dowiódł, że studenci często nie uzasadniają fizycznego znaczenia swoich obliczeń, tylko podają



numeryczną odpowiedź. Domert [5] zbadał, że tylko 10% studentów kierunku fizyki potrafiło matematycznie zinterpretować wzory fizyczne i że 55% tych studentów koncentrowało się na omówieniu operacji matematycznych, które zastosowali podczas rozwiązywania zadań.

Niektórzy dydaktycy wyjaśniają te wąskie zastosowanie matematyki brakiem umiejętności matematycznych ucznia, ale na przykład Elby i Hammer [6] stwierdzili, że uczniowie posiadają potrzebne matematyczne umiejętności i wiedzę, ale nie potrafią używać tej wiedzy na lekcjach fizyki.

Podobnego zdania jest wspomniany wcześniej Uhden [1], który twierdził, że percepcja studentów o niskim zastosowaniu matematyki na fizyce może wynikać z wąskiego zakresu zastosowania tej wiedzy, która to rzadko wykracza poza ramy prostych operacji algebraicznych.

Yeatts [7] stwierdził, że przepływ wiedzy z matematyki do fizyki nie następuje automatycznie i że ten proces musi być inicjowany przez nauczycieli fizyki. Ceuppens [8] i jego koledzy doszli do wniosku, że uczniowie nie korelują własności funkcji liniowych ze wzorami na ruch jednostajny przystoliniowy.

Przytoczone wyniki badań z pewnością nie wyczerpują wszystkich prac, jakie są obecnie podejmowane, jednak stanowią one dobrą jego reprezentację. Sumując wnioski z tych badań można z całą pewnością stwierdzić, że problem z transferem wiedzy matematycznej istnieje i warto podejmować kroki, by pomóc uczniom w tym zakresie.

Kierunki podejmowany prób

Próby poprawy zastosowania wiedzy matematycznej poza umiejętnościami manipulowania na symbolach we wzorach są podejmowane. Wielu dydaktyków, na przykład Hestenes [9] wzywał wręcz do podejmowania częstszych badań w tym kierunku i wcielania w życie dobrych pomysłów. W odpowiedzi Domert [5] zaproponował jednostki lekcyjne, na których uczniowie analizowaliby wzory i rozpoznawali symbole w kontekście fizyki. Yeats [7] opracował zintegrowany przedmiot, na którym jednocześnie wprowadzano pojęcia matematyki i fizyki.



Ryc. 1. Tradycyjny proces kwantyfikacji zjawisk fizycznych na lekcjach fizyki.

Okazało się jednak, że takie uczenie razem tych przedmiotów nie jest efektywne i że przygotowanie matematyczne musi poprzedzić poznawanie praw fizyki. Cui [10] wezwał do praktykowania większej liczby zadań na kursach rachunku różniczkowego i całkowego, które wymagałyby interpretowania wyników w kontekście fizyki tak, by studentowi zwrócić uwagę na głębsze znaczenie otrzymanych wyników a nie tylko na znalezienie np. całki czy pochodnej.

Adams [11] zasugerował zastosowanie multimediów w celu lepszego koncepcyjnego zrozumienia zjawisk fizycznych przed ich matematycznym opisem. Bagno [12] organizował dyskusje studentów o stosowalności wzorów do konkretnych przypadków skupiając ich uwagę na rozpoznaniu głębszej relacji pomiędzy formułami i pojęciami matematyki nie tylko w sensie czysto algorytmicznym. Zwracanie większej uwagi na formę matematyczną danego wzoru i wynikające z tej formy związku między wielkościami wchodzącymi w skład danego wzoru na pewno poprawiają tę sytuację, ale czy jest to wystarczające? Obecne kroki schematycznie przedstawia Ryc. 1.

W dalszej części artykułu chciałbym zasugerować pewne rozwiązania dydaktyczne, które wychodzą naprzeciw zaleceniom i które są łatwe w zastosowaniu w praktyce szkolnej. Należałoby dodać, że sugestie te nie mają na celu poszukiwania zmiany nauczania fizyki, ale mają głównie na celu proponowanie rozwiązań, które pomagają uczniowi w zastosowaniu wiedzy matematycznej do rozwiązywania zadań.

Funkcje a wzory na lekcjach fizyki

Jedne z badań wykazały, że uczeń posiada wiedzę matematyczną, ale nie potrafi tej wiedzy zastosować. Kontynuując ten wątek, należałoby więc stwarzać sytuacje na lekcjach fizyki, które byłyby przykładami jak tę wiedzę aktywować. Głębsze włączenie matematyki pociąga za sobą wykorzystanie tzw. strukturalnej domeny wiedzy matematycznej [13], tak więc nie tylko operacji matematycznych, który są stosowane do rozwiązania równań i podstawiania danych, ale włączenia takiej wiedzy, która uaktywni hipotetyczno-dedukcyjne rozumowanie ucznia.

Jaka wiedza albo pojęcia z matematyki będą obejmować strukturalną domenę? Jedną z głównych będzie wiedza na temat algebraicznych funkcji, ich przebiegu zmienności, granic funkcji itp. Przykłady takich rozwiązań były dyskutowane [14] również na łamach „Fizyki w Szkole” [15]. Strukturalna domena może również obejmować

znajdowanie wielkości fizycznych korzystając z narzędzi używanych do analizy funkcji.

Które własności funkcji wykorzystamy zależy od postaci wzoru fizycznego, który opisuje dane zjawisko i wielkości, przyjęte jako stałe lub zmienne. Schemat dydaktyczny, który będzie zastosowany, by aktywować tę domenę rozumowania matematycznego ucznia jest przedstawiony na Ryc. 2.

W następnej części artykułu przedyskutujemy wprowadzenie takowych narzędzi matematyki i proponujemy rozwiązywanie zadań z fizyki tymi metodami.

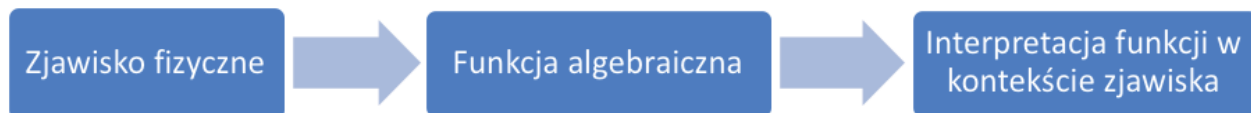
Funkcja liniowa a ruch jednostajny prostoliniowy

Uczeń będzie łatwiej utożsamiał własności wielkości fizycznych z właściwościami zmiennych w funkcji algebraicznej, jeśli funkcja opisująca dane zjawisko fizyczne będzie zbudowana na lekcji fizyki korzystając z danych albo jeśli przeprowadzimy porównanie struktury danego wzoru z jego matematycznym odpowiednikiem.

Funkcje na lekcjach matematyki są przedstawiane korzystając z zapisu współrzędnych: $y = 2x$ lub z tzw. zapisu funkcyjnego $f(x) = 2x$. Zapis funkcyjny jest o tyle wygodny, że podkreśla on zmienną niezależną, dlatego będziemy używać tej formy. Jest pewne, że uczeń zdany na siebie nie będzie utożsamiał wzoru $x = x_0 + vt$ z funkcją liniową, co zostało wcześniej zbadane [8]. Wydaje się więc, że przedstawienie tego wzoru w postaci funkcyjnej $x(t) = x_0 + vt$ i poszukanie odpowiedników w jego matematycznej formie $y(x) = b + ax$ nakierunkuje ucznia na taką analogię.

Jak to przeprowadzić? Przede wszystkim musimy ustalić zmienne niezależne i zależne w obydwóch wzorach i dokonać porównań. Zmienną niezależną w funkcji $y(x) = b + ax$ jest x , więc zmienną niezależną w $(t)x_0 + vt$ będzie czas oznaczony t . Zmienną zależną w $y(x) = b + ax$ są wartości rzędnej y , a we wzorze $x(t) = x_0 + vt$ będzie to droga przebyta w czasie t jeśli ruch ciała zaczyna się z punktu $x(0) = x_0$.

Odpowiednikiem przecięcia funkcji z osią Y we wzorze $x(t) = x_0 + vt$ jest x_0 , które reprezentuje położenie początkowe ciała, a odpowiednikiem współczynnika kierunkowego jest prędkość z jaką porusza się to ciało. Ponieważ wykresem funkcji $y(x) = b + ax$ jest linia prosta, wykresem wzoru $x(t) = x_0 + vt$ jest również linia prosta, co znaczy, że ten wzór może być klasyfikowany jako funkcja liniowa. Uświadamiając sobie tę korelację, uczniowie są



Ryc. 2. Wykorzystanie strukturalnej domeny matematycznej na lekcjach fizyki.

o krok od narysowania wykresu położenia ciała w funkcji czasu, jak również konstruowania matematycznego obrazu podobnych ruchów.

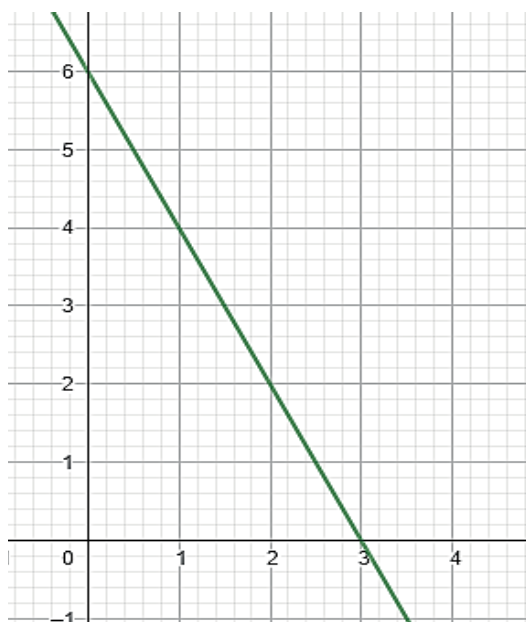
Przykład 1

Położenie $x(t)$ poruszającego się poziomo samochodu-zabawki jest opisane za pomocą $x(t) = 6 - 2t$ gdzie $x(t)$ jest wyrażone w metrach, a czas t w sekundach.

a) Znajdź początkowe położenie i wartość prędkości początkowej tego samochodu.

Odp. $x(0) = 6$ m a prędkość tego samochodu to współczynnik kierunkowy tej funkcji, tak więc $v = -2$ m/s.

b) Poprzez porównanie tego wzoru do funkcji liniowej narysuj wykres położenia tego ciała w funkcji czasu.



Zakładając, że ciało to zatrzymało się 20 m na zachód (umowna interpretacja położenia wschód – zachód, jeśli ciało porusza się po linii prostej, podobnie jak północ – południe) od punktu początkowego, podaj zakres wartości odciętej i rzędnej, które bardziej dokładnie opiszą $x(t)$.

Odp. Zaczniemy od określenia dziedziny tej funkcji. Ruch ten jest zdefiniowany dla dodatnich wartości czasu, tak więc dla $t \geq 0$. Ponieważ podane jest końcowe położenie tego ciała, więc możemy określić czas, kiedy ciało dotarło do tego położenia. Tak więc $-20 = 6 - 2t$, co prowadzi do $t = 13$ s. Dziedziną tej funkcji jest więc $0 \text{ s} \leq t \leq 13 \text{ s}$. A rzędną jest $-20 \text{ m} \leq x \leq 6 \text{ m}$.

c) Korzystając z $x(t) = 6 - 2t$ znajdź czas t kiedy samochód mija punkt odniesienia.

Odp. Punkt odniesienia to $x = 0$ m. Tak więc zadaniem naszym jest znalezienie przecięcia tej funkcji z poziomą osią; $0 = 6 - 2t$ więc $t = 3$ s. Zwracamy uwagę ucznia na wykres, który koresponduje z tym wynikiem.

Ruch ukośny

Rzut ukośny jest trudny dla uczniów z wielu względów. Jednym z nich jest jego matematyczny opis, który wykorzystuje idee równań parametrycznych. Dylemat jest w tym, że w typowym programie nauczania matematyki

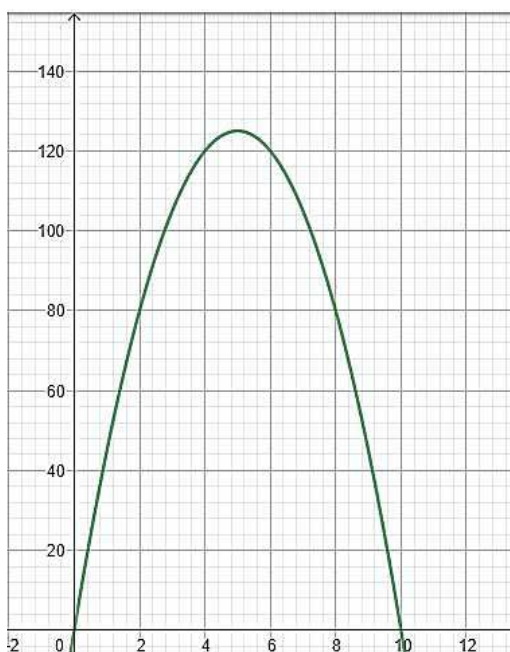
równania parametryczne nie zawsze uczone są na lekcjach przed ich zastosowaniem na fizyce. Brak podbudowy matematycznej może powodować trudności ucznia ze zrozumieniem istoty jego matematycznego opisu i pokazanie uczniom na symulacjach, że prędkość w kierunku poziomym ciała jest wielkością stałą nie przekonuje ucznia. Jest to jednak inny temat do dyskusji. Skupmy się na tym, jak wykorzystać pojęcia matematyki do analizowania tego ruchu mając jego składowe przedstawione w postaciach funkcji, które uczniowie znają.

Przykład 2

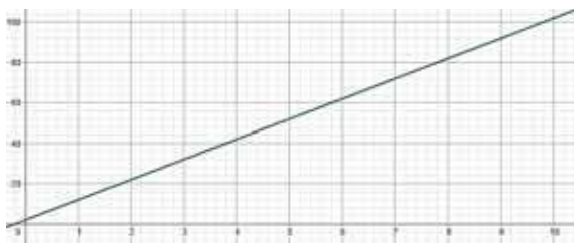
Położenie ciała w rzucie ukośnym przedstawione jest za pomocą dwóch funkcji: $y(t) = 50t - \frac{gt^2}{2}$ i $x(t) = 2 + 10t$ gdzie $y(t)$ jest mierzone w metrach i oznacza pionowe położenie a $x(t)$ mierzone również w metrach oznacza jako poziome położenie. Przyjmij $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

a) Narysuj wykres położenia pionowego i poziomego tego ciała w oddzielnych układach współrzędnych.

Odp. Wzór $y(t) = 50t - 5t^2$ jest postacią funkcji kwadratowej, który możemy naszkicować. Licząc jego miejsca zerowe i uwzględniając fakt, że współczynnik tej paraboli jest ujemny, parabola jest skierowana w dół, co pokazuje rysunek poniżej.



Wykresem poziomej składowej położenia ciała jest linia prosta, ponieważ jest on opisany funkcją liniową.



b) w którym kierunku: poziomym czy pionowym wartość prędkości jest stała? Umotywuuj swoją odpowiedź.

Odp. Wzór na położenie poziome, które jest przedstawione w postaci funkcji liniowej sugeruje, że pozioma składowa prędkości tego ciała ma wartość stałą i równą $v = 10 \text{ m/s}$.

c) Jaki jest maksymalny poziomy zasięg tego rzutu?

Odp. Z wykresu $y(t) = 50t - 5t^2$ odczytujemy czas kiedy pionowa składowa położenie ciała jest zero (znajdujemy miejsca zerowe funkcji $y(t) = 50t - 5t^2$) tak więc $0 = 50t - 5t^2$ i $t = 0 \text{ s}$ lub dla $t = 10 \text{ s}$. W chwili $t = 0 \text{ s}$ ciało jest w początkowym położeniu, w chwili $t = 10 \text{ s}$ ciało ląduje na ziemi. Wykorzystamy więc $t = 10 \text{ s}$, by policzyć maksymalny poziomy zasięg. Podstawiając tę wartość do wzoru na poziome położenie, otrzymujemy $x(10) = 2 + 10(10) = 102 \text{ m}$.

d) Policz maksymalną wysokość ciała i czas kiedy ją osiągnie.

Odp. Maksymalną wysokość policzymy korzystając ze wzorów na współrzędne wierzchołka paraboli $y(t) = 50t - 5t^2$. Tak więc $t = \frac{-50}{-10} = 5 \text{ s}$ a maksymalna wysokość to wartość rzędnej tej funkcji dla $t = 5 \text{ s}$, $y(5) = 50(5) - 5(5)^2 = 125 \text{ m}$.

e) Policz początkowe położenie ciała.

Odp. Początkowe położenie to wartości obydwóch funkcji dla $t = 0 \text{ s}$.

$$y(t) = 50t - 5t^2, y(0) = 0 \text{ m}$$

$$x(t) = 2 + 10t, x(0) = 2 \text{ m}.$$

f) Policz położenie ciała po 2 sekundach ruchu.

Odp. Położenie ciała po dwóch sekundach ruchu to współrzędne obu funkcji dla $t = 2 \text{ s}$. Tak więc $y(2) = 50(2) - 5(2)^2 = 80 \text{ m}$ i $x(2) = 2 + 10(2) = 22 \text{ m}$.

g) Skonstruuj funkcję obrazującą położenie ciała $y(t)$ w funkcji położenia $x(t)$.

Odp. By znaleźć równanie położenia ciała (trajektorię ruchu), musimy skonstruować złożenie.

$$y(x) = 50t - 5t^2, x(t) = 2 + 10t.$$

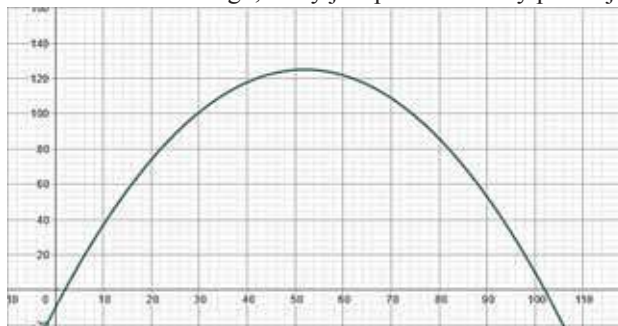
Rozwiązując na czas $t = (x(t) - 2)/10$ i podstawiając za t we wzorze na $y(t) = 50t - 5t^2$ otrzymujemy

$$y(x(t)) = 50\left(\frac{x(t)-2}{10}\right) - 5\left(\frac{x(t)-2}{10}\right)^2,$$

która to forma jest zwykle przedstawiana jako

$$y(x) = 50\left(\frac{x-2}{10}\right) - 5\left(\frac{x-2}{10}\right)^2.$$

Uczniowie zauważą, że forma ta koresponduje z „obrazem” rzutu ukośnego, który jest przedstawiony poniżej.



h) Korzystając z powyższej funkcji, zweryfikuj początkowe i położenie tego ciała i jego położenie po 2 sekundach ruchu.

Odp. Początkowe położenie tego ciała to współrzędne funkcji $y(x)$ dla $t = 0 \text{ s}$. Po dwóch sekundach ruchu $x = 22 \text{ m}$, podstawiając tę wartość za x w funkcji

$$y = 50\left(\frac{x-2}{10}\right) - 5\left(\frac{x-2}{10}\right)^2$$

otrzymujemy

$$y = 50\left(\frac{22-2}{10}\right) - 5\left(\frac{22-2}{10}\right)^2 = 80 \text{ m},$$

co pokrywa się z wykresem.

Drugie prawo Newtona a funkcja algebraiczna

Wzory wielu zmiennych, na przykład $F = ma$ również mogą być przedstawiane jako funkcje. Ten wzór posiada dwie zmienne – masę i przyspieszenie ciała. Jest dużo zadań z fizyki, w których masa ciała i jego przyspieszenie musi być podane, by obliczyć działającą na to ciało siłę wypadkową. Jednakże, aby ułatwić uczniom zastosowanie bardziej wnikliwego matematycznego myślenia, pomocne byłoby tu przedstawienie tej formuły jako funkcji jednej zmiennej. Na przykład ta formuła może być podana jako $F(a) = ma$ lub $F(m) = ma$.

Przedstawiona formuła w postaci funkcji przybiera inną i bogatszą interpretację i może być ona narysowana w odpowiednim układzie współrzędnych, a współczynnik kierunkowy tej prostej może być zinterpretowany w kategoriach fizyki. Na przykład wzór $F(a) = ma$ narysowany w osiach F versus a będzie zobrazowany linią prostą, której współczynnikiem kierunkowym będzie masa ciała. Postać graficzna tego wzoru pomoże uczniom zapamiętać tę zależność. Możemy również przedyskutować doświadczenie, którego matematycznym obrazem będzie $F(m) = ma$. Rozpatrujemy więc ten sam wzór, ale w zależności od sytuacji wybierzemy jeden z nich lub $F(m, a) = ma$ jeśli obydwie wielkości po prawej stronie ulegają zmianie.

Podsumowanie

Funkcje na lekcjach fizyki są tradycyjnie marginalizowane a wzory są przedstawiane jako wyrażenia wielu zmiennych. Trudno jest kwestionować zasadność takiego przedstawiania fizyki, szczególnie kiedy mamy do czynienia z wieloma zmiennymi. Czy nie za daleko wchodzimy tutaj na teren matematyki? Odpowiedź jest – nie! Celem nadrzędnym jest pomoc uczniowi w zrozumieniu fizyki. Jak wykorzystujemy aparat matematyczny zależy tylko od nas.

Czy rozkład nauczania matematyki powinien być skorelowany z potrzebami matematyki, by podać uczniom takie rozwiązania? Jak najbardziej tak. Interpretowanie algebraicznych funkcji jako wzorów opisujących zjawiska fizyczne wydaje się jednym z prostszych rozwiązań, które integrują matematykę z fizyką i nie wymagają dłuższego przygotowania. Program nauczania matematyki i treści, które uczniowie poznają na lekcjach matematyki rządzi się swoimi regułami.

dokończenie na str. 33

Paradoksy w zadaniach z fizyki

Czesław Surowiec

Paradoks (w języku greckim oznacza nieoczekiwany, niewiarygodny) w logice oznacza rozumowanie, którego każdemu elementowi towarzyszy pozorna oczywistość, a które okazuje się wadliwe, ponieważ prowadzi do takich wniosków, z których każdy z osobna jesteśmy skłonni uważać za prawdziwy, a które są w jawnej sprzeczności ze sobą, lub uprzednio przyjętymi założeniami. Rozwiązując zadania fizyczne oparte na paradoksach powinniśmy pamiętać o tym, że:

- Przyczyną powstania paradoksu jest zazwyczaj:
 - popętnienie błędu logicznego,
 - użycie niewłaściwych słów w rozumowaniu,
 - nieostrość znaczenia używanego w rozumowaniu języka.
- Walory paradoksu w rozwoju myślenia:
 - mają istotną wartość poznawczą,
 - posiadają twórczą wartość odkrywczą, ponieważ próby ich rozwiązania prowadzą do odkrycia nowych prawd,
 - są narzędziem dotarcia do prawdy przez ujawnienie sprzeczności w sądach przeciwnych,
 - burzą stereotypy oparte na zdrowym rozsądku obrazu świata.
- Paradoksy były znane już w starożytności np. paradoks ruchu Zenona z Elei.
- Rozwiązywanie zadań fizycznych w postaci paradoksów odgrywa znaczącą rolę w nauczaniu fizyki, ponieważ:
 - uczy myślenia logiczno-fizycznego,
 - rozwiązywanie tego typu zadań na lekcjach fizyki czyni lekcję ciekawszą i prowadzi do pouczających dyskusji,
 - dostarcza interesujący materiał na zajęcia pozalekcyjne,
 - uczy podczas rozwiązywania zadań uważnego analizowania treści zadania w postaci paradoksu, wyszukiwania niedomówień i nieścisłości w ich treści, co pozwala uniknąć błędnych odpowiedzi ustnych i błędów w rozwiązywaniu innych typów zadań.
- Przykładami innych paradoksów w fizyce są:
 - Paradoks bliźniąt.
 - Paradoks DU Wuata i Eiffła dotyczące siły oporu przy opływaniu ciał.
 - Paradoks Stevina (hydrostatyczny).
 - Paradoks ogrzewania aerodynamicznego, gdy samolot leci z prędkością naddźwiękową.

Przykłady

Przykład 1.

Kamień rzucono w górę w próżni. Z jaką prędkością początkową należy go rzucić, aby znalazł się na wysokości $h = 29,4$ m po $t_1 = 6$ s i $t_2 = 3$ s?

Rozwiązanie:

Wykorzystując zależność $h = v_0 t - gt^2/2$ ① dla $g = 9,8$ m/s²

Otrzymujemy dla $t_1 = 6$ s, $v_{01} = 34,3$ m/s

$t_2 = 3$ s, $v_{02} = 24,5$ m/s

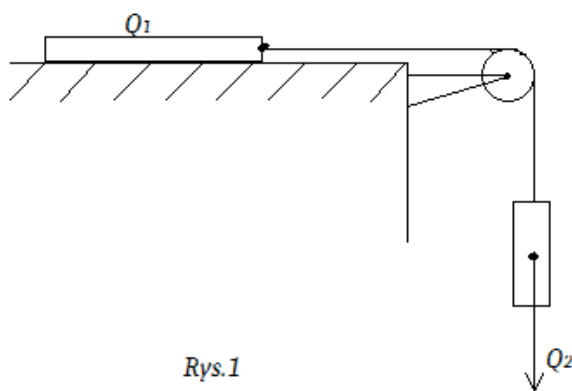
Otrzymaliśmy sprzeczność: aby podnieść się na taką samą wysokość przy większej prędkości początkowej potrzebny jest dłuższy czas. Jak wyjaśnić tę sprzeczność?

Wyjaśnienie paradoksu.

Rozwińmy zadanie odwrotne. Obliczmy czas, jaki czas potrzebuje kamień, aby przy prędkości początkowej wnieść się na wysokość h . Rozwiązując równanie kwadratowe ① otrzymujemy $t_1 = 1$ s, $t_2 = 6$ s. Kamień wznosząc się osiąga tę wysokość po 1 s, a spadając po 6 s. Podobnie będzie w drugim przypadku. Kamień rzucony w górę z prędkością v_{02} będzie na tej wysokości po czasach $t_1' = 2$ s (wznoszenie) i $t_2' = 3$ s (spadanie). Sprzeczność polega na tym, że oba rozpatrywane przypadki nie dotyczą wznoszenia kamienia, ale jego spadku. Kamień wznosząc się osiąga wysokość h przy mniejszej prędkości początkowej v_{01} w dłuższym czasie 2 s, przy większej prędkości v_{02} w krótszym czasie (1 s). Jeśli rozpatrujemy warunki zadania to należy wyciągnąć wniosek, że taką wysokość może osiągnąć kamień po czasie 6 i 3 sekund spadając. Wznosząc się nie może jej uzyskać przy prędkościach v_{01} i v_{02} (stąd powstaje sprzeczność). W treści zadania brakło określenia, w jaki sposób kamień osiągnął tę wysokość wznosząc się czy spadając. Zabrakło opisu warunków, które wpływają decydująco na uzyskany wynik, gdyż wzór ① w tej postaci nie ma zastosowania do spadania kamienia a dotyczy jego wznoszenia.

Przykład 2.

Ciało o ciężarze Q_1 ślizga się po poziomej powierzchni pod działaniem ciężaru Q_2 (rys.1), przymocowanego do końca liny przywiązanej do ciała o ciężarze Q_2 i przeciągniętej przez krążek. Jaka jest siła naprężenia liny, jeśli współczynnik tarcia poślizgowego wynosi f ?



Rys.1

Rozwiązanie:

Zgodnie z drugą zasadą dynamiki ruch ciała o ciężarze Q_1 opisuje równanie

$$\frac{Q_1}{g}a = F_N - f \text{ i } Q_1 \quad \textcircled{1} \text{ gdzie } a - \text{ przyspieszenie układu}$$

Ruch ciała Q_2 opisuje równanie

$$\frac{Q_2}{g} \text{ i } a = Q_2 - F_N \quad \textcircled{2}$$

Rozwiązując układ równań $\textcircled{1}$ i $\textcircled{2}$ otrzymujemy

$$a = \frac{Q_2 - F_N}{Q_1 + Q_2} g \quad \text{gdzie } F_N = f \cdot Q_1 \text{ stąd}$$

$$a = \frac{Q_2 - fQ_1}{Q_1 + Q_2} \text{ a } F_N \text{ wynosi}$$

$$F_N = \frac{Q_1 \text{ i } Q_2(f+1)}{Q_1 + Q_2} \quad \textcircled{3}$$

Z zależności $\textcircled{3}$ wynika, że F_N nie ulegnie zmianie, jeśli zamienimy Q_1 na Q_2 , a Q_2 na Q_1 . Fizycznie to oznacza, że naprężenie liny nie ulegnie zmianie, jeśli zamienimy miejscami Q_1 i Q_2 . Jak wyjaśnić otrzymany paradoks z punktu widzenia zdrowego rozsądku.

Wyjaśnienie paradoksu

Siła naciągu liny jest proporcjonalna do masy ciała i przyspieszenia jego ruchu. Rozwiązując równanie $\textcircled{1}$ otrzymujemy $F_N = Q_1(a/g + f)$ stąd dla $Q_1 = m_1 \cdot g$

$$F_N = (m_1 a + f g) \quad \textcircled{4}$$

Zmieniając miejscami ciała Q_1 i Q_2 zmieniamy masę m_1 ślizgającego się ciała, ale jednocześnie zmieniamy przyspieszenie układu tych ciał, co powoduje, że naprężenie liny nie ulega zmianie.

Przykład 3.

Metalowa kulka tocząca się po piasku po przejściu na lód zachowuje swoją prędkość. Człowiek biegnący po ziemi, po wbiegnięciu na lód zazwyczaj pochyła się do tyłu i upada.

Wyjaśnienie

Zmniejszenie się współczynnika tarcia po wbiegnięciu lód zwiększa prędkość ruchu ślizgających się nóg, które przemieszczając się do przodu. W wyniku tego przemieszczenia, pion przechodzący przez środek ciężkości znajduje się poza nogami; człowiek traci równowagę i upada. Prędkość ciała może zwiększyć działanie siły, a wbiegając na lód uzyskujemy zmniejszenie siły tarcia. Jak wyjaśnić ten paradoks?

Wyjaśnienie paradoksu.

Prędkość ruchu środka ciężkości człowieka, jak i w przypadku kulki przy przejściu na lód nie ulega zmianie. Biegając człowiek wyrzuca nogę do przodu z prędkością większą od prędkości z jaką porusza się środek ciężkości. Podczas biegu po ziemi dzięki tarcia wyrzucana do przodu noga zatrzymuje się i środek ciężkości przenosi się przez tę podporę. Na lodzie wyrzucona do przodu

noga traci podporę, nie zatrzymuje się, lecz ślizga po powierzchni lodu. Człowiek upada do tyłu uderzając głową o lód, czego doświadczyłem na własnej skórze. Niech to zadanie będzie wskazówką jak poruszać się po oblodzonym przejściu w okresie zimowym dla uczniów i osób starszych, ulegającym najczęściej takim wypadkom.

Przykład 4.

Wewnątrz przewodnika pole elektryczne nie istnieje, tak jakby wewnętrzne części przewodnika odpowiadały punktom oddalonym do nieskończoności. Jeśli do tego pola wprowadzimy dwa przewodniki izolowane od siebie, to chociaż pola elektrycznego wewnątrz nich nie ma, potencjał ich nie będzie jednakowy. Jaki potencjał odpowiada punktom oddalonym do nieskończoności? Jak wyjaśnić ten paradoks?

Wyjaśnienie paradoksu.

Jeśli wewnątrz przewodnika pole elektryczne nie istnieje tzn., że natężenie pola elektrycznego wewnątrz przewodnika wynosi 0, a potencjał elektryczny wszystkich punktów jest jednakowy i równy potencjałowi na powierzchni przewodnika. Chociaż pole elektryczne wewnątrz przewodnika nie istnieje, to jednak potencjał elektryczny wewnątrz niego nie jest równy 0. Dlatego między dwoma punktami połączonymi wewnątrz przewodnika znajdującymi się w polu elektrycznym ogólnie mówiąc wystąpi pewna różnica potencjałów.

Przykład 5.

Aby uzyskać większą ilość ciepła z sieci elektrycznej należy spirale grzejne połączyć równolegle a nie szeregowo. Rozwiązujemy następujące zadanie. Mamy baterię $n = 5$ ogniw połączonych szeregowo o sile elektromotorycznej $E = 2 \text{ V}$ i oporze wewnętrznym $r = 1,2 \Omega$ każde. Jak przyłączyć do niej dwie spirale grzejne o oporze $R = 4 \Omega$ każda, aby uzyskać największą ilość ciepła?

Rozwiązanie.

Możliwe są dwa połączenia spirali: szeregowo i równoległe.

W pierwszym przypadku

$$I_1 = \frac{nE}{2R + 5r} = \frac{10V}{8\Omega + 6\Omega} = \frac{5}{7} A \quad \text{moc wydzielona na spirali}$$

$$P_1 = I_1^2 \text{ i } R_1 = I_1^2 \text{ i } 2R = \left(\frac{5}{7} A\right)^2 \text{ i } 8\Omega = 4W$$

W drugim przypadku

$$I_2 = \frac{nE}{\frac{R}{2} + nr} = \frac{10V}{2\Omega + 6\Omega} = \frac{5}{4} A$$

$$P_1 = I_1^2 \text{ i } R_1 = I_1^2 \text{ i } 2R = \left(\frac{5}{4} A\right)^2 \text{ i } 2\Omega = 3W$$

Łącząc równoległe spirale otrzymaliśmy mniejszą moc. Jak wyjaśnić ten paradoks?

Wyjaśnienie paradoksu.

W przypadku baterii sposób dołączenia spirali wpływa na napięcie, jakie jest przyłożone do zewnętrznej części obwodu (spirali). Jeśli spirale połączymy szeregowo to do spirali przyłożone jest napięcie

$$U_1 = I_1 \cdot 2R = \frac{5}{7} \text{ A} \cdot 8\Omega \approx 6\text{V}$$

W przypadku połączenia równoległego wynosi ono

$$U_2 = I_2 \cdot \frac{R}{2} = \frac{5}{4} \text{ A} \cdot 4\Omega = 2,5\text{V}$$

Ponieważ napięcie sieci zasilającej mieszkania wynosi 230 V i jest jednakowe w obydwu połączeniach spirali większa ilość ciepła wydzieli się przy równoległym połączeniu spiral. Ponieważ wzór na moc możemy zapisać następująco

$$P = I \cdot U = \frac{U^2}{R_z}$$

Przy jednakowym napięciu U zasilania spiral większa moc wydzieli się przy mniejszym R_z które ma miejsce dla połączenia równoległego spiral.

Paradoks do rozwiązania.

1. W chwili, kiedy pojazd posiadał prędkość $v_0 = 10\text{m/s}$, kierowca zaczął hamować i pojazd poruszał się ruchem jednostajnie opóźnionym aż do zatrzymania się. Z jakim przyspieszeniem przebędzie drogę 8 m w 2 s?

Rozwiązanie

Z zależności $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$

obliczając a otrzymujemy $a = -6 \frac{m}{s^2}$

z zależności $a = \frac{v - v_0}{t}$

otrzymujemy $a = -5 \frac{m}{s^2}$

a z zależności $a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s}$

otrzymujemy $a = -6,25 \frac{m}{s^2}$

Jak wyjaśnić sprzeczność otrzymanych wyników?

dokończenie ze str. 30

Jednak uwzględnienie potrzeb matematyki w naukach przyrodniczych powinno być brane pod uwagę, co jest realizowane w wielu krajach np. w USA. Pospiech [16] stwierdził, że włączenie strukturalnej wiedzy matematycznej do fizyki na etapie szkoły podstawowej ma bardzo

2. Regulując ilość podawanego paliwa do silnika rakiety, można uzyskać siłę ciągu równą sile ciężkości rakiety. W tym przypadku, jeśli nie ma wiatru, raketa wisi nieruchomo nad powierzchnią Ziemi. Ale raketa wyrzuca produkty spalania nadając im pewien pęd mechaniczny, a sama nie otrzymuje zwróconego przeciwnie równego pędu. Wynika z tego, że w tym przypadku nie stosuje się zasada zachowania pędu. Jak wyjaśnić ten paradoks?
3. Kulę ziemską można uważać za gigantyczny statek kosmiczny poruszający się wokół Słońca. Dlatego wszystkie przedmioty na powierzchni Ziemi powinny być nieważkie w stosunku do sił grawitacji Słońca, Księżyca i innych ciał niebieskich. Wiadomo jednak, że przyływy morza powoduje przyciąganie Księżyca. Jak wyjaśnić ten paradoks?
4. Jeśli silnie dmuchniemy na tłący się węgiel, to on rozpała się silniej, a jeśli silnie dmuchniemy na palącą się świecę, to ona gaśnie. Jak wyjaśnić ten paradoks?
5. Woda w naczyniu zamarza pod normalnym ciśnieniem w temperaturze 0°C . Jeśli wodę rozbijemy na bardzo małe krople, to może być ona ochłodzona do -40°C . Jak wyjaśnić ten paradoks?
6. Prąd elektryczny w metalach polega na uporządkowanym ruchu swobodnych elektronów. Swobodne elektrony poruszają się między dodatnimi jonami tworzącymi sieć krystaliczną metalu, zderzają się z nimi przekazując im swój pęd, który uzyskały do momentu zderzenia. Dlaczego przewodnik metalowy, przez który płynie prąd nie wykazuje działania sił mechanicznych w kierunku ruchu elektronów? Jak wyjaśnić ten paradoks?
7. Przy szeregowym łączeniu źródeł SEM (ogniów, akumulatorów itp.) zwiększa się SEM baterii, a przy łączeniu równoległym zmniejsza się jej opór wewnętrzny. W obydwu przypadkach powinno się zwiększyć natężenie prądu jakie daje bateria. W obwodzie źródła o SEM E_1 przepływa prąd I . Do niego dołączamy raz szeregowo a drugi raz równolegle drugie źródło o SEM E_2 . W wyniku tego w obydwu przypadkach od takiej baterii otrzymano prąd mniejszy od prądu z jednego źródła SEM. Jak wyjaśnić ten paradoks?

Surowiec Czesław
Dębica

duży wpływ na sukces uczniów w szkole średniej. Powrót w polskich programach nauczania do nauczania fizyki w klasach VII i VIII stanowi doskonałą okazję do wcielenia idei korelacji fizyki z matematyką.

Andrzej Sokółowski

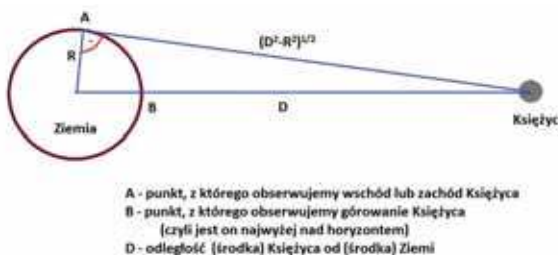
LITERATURA

- [1] Uhdén, O., Karam, R., Pietrocola, M., & Pospiech, G. (2012). Modelling mathematical reasoning in physics education. *Science & Education*, 21(4), 485-506.
- [2] Redish, E. F. (2006). Problem solving and the use of math in physics courses. *arXiv preprint physics/0608268*.
- [3] Sherin, B. L. (2001). How students understand physics equations. *Cognition and instruction*, 19(4), 479-541.
- [4] Walsh, L. N., Howard, R. G., & Bowe, B. (2007). Phenomenographic study of students' problem solving approaches in physics. *Physical Review Special Topics-Physics*.
- [5] Domert, D., Airey, J., Linder, C., & Kung, R. L. (2012). An exploration of university physics students' epistemological mindsets towards the understanding of physics equations. *Nordic Studies in Science Education*, 3(1), 15-28.
- [6] Elby, A., & Hammer, D. (2010). Epistemological resources and framing: A cognitive framework for helping teachers interpret and respond to their students' epistemologies. *Personal epistemology in the classroom: Theory, research, and implications for practice*, 409-434.
- [7] Yeatts, F. R., & Hundhausen, J. R. (1992). Calculus and physics: Challenges at the interface. *American Journal of Physics*, 60, 716-721.
- [8] Ceuppens, S., Deprez, J., Dehaene, W., & De Cock, M. (2018). Design and validation of a test for representational fluency of 9th grade students in physics and mathematics: The case of linear functions. *Physical Review Physics Education Research*, 14(2), 020105.
- [9] Hestenes, D. (2003). Oersted Medal Lecture 2002: Reforming the mathematical language of physics. *American Journal of Physics*, 71(2), 104-121.
- [10] Cui, L., Rebellow, N. S., & Bennett, A. G. (2006, February). College students' transfer from calculus to physics. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 818, No. 1, pp. 37-40). AIP.
- [11] Adams, W. K., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Dubson, M., Finkelstein, N. D., & Wieman, C. E. (2006). NewA new instrument for measuring student beliefs about physics and earning physics: the Colorado Learning Attitudes about Science Survey. *Physical Review Special Topics, Physics Education Research*, 2, 010101.
- [12] Bagno, E., Berger, H., & Eylon, B. S. (2008). Meeting the challenge of students' understanding of formulae in high-school physics: a learning tool. *Physics Education*, 43(1), 75.
- [13] Pietrocola M. (2008) Mathematics as structural language of physical thought, in *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*, Vol. 2, edited by Vicentini M. and Sassi E. (ICPE).
- [14] Sokółowski A. (2012) Enhancing Interpretation of Natural Phenomena through a Mathematical Apparatus. A Proposal of an Interactive Unit in Optics, *International Journal for Mathematics Teaching & Learning*, 13, 3, 399.
- [15] Sokółowski A. (2019) Wykorzystanie rozumowania matematycznego do analizy równoległego połączenia oporników, *Fizyka w Szkole*, nr1/2019 str. 32-35.
- [16] Pospiech, G. (2008). Mathematical constructs in the physical reality. *Interdisciplinary Educational Research in Mathematics and its Connections to the Arts and Sciences*, S, 233-240. General Conclusions Adams, WK, Perkins, KK, Podolefsky, N, S, Dubson, M., Finkelstein, ND, & Wieman, C.

Prosta metoda szacowania odległości do Księżyca

Roman **Bochanysz**, Ludwik **Lehman**

Dzięki możliwości fotografowania Księżyca niemal każdy może w bardzo łatwy sposób wyznaczyć – lub przynajmniej oszacować – odległość do niego. Trzeba tylko wykonać dwa zdjęcia Księżyca: podczas jego wschodu (lub zachodu) i górowania. Ponieważ patrzymy na Księżyc z powierzchni obracającej się Ziemi, odległość do niego zmienia się. Główną ideę pomiaru wyjaśnia rysunek nr 1.



Rysunek 1

Zauważamy, że górowanie Księżyca obserwujemy z mniejszej odległości niż jego wschód (lub zachód). Wobec tego tarcza Księżyca na zdjęciu wykonanym w sytuacji B powinna być **większa** niż w sytuacji A.

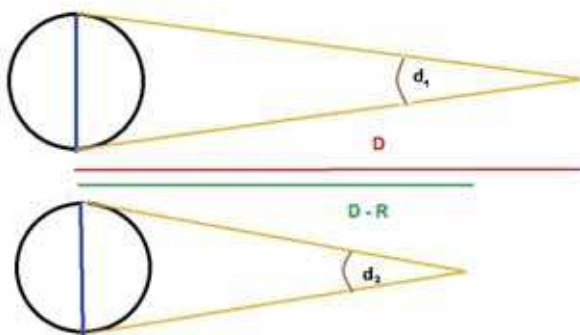
Jak korzystając z tego faktu wyznaczyć w możliwie prosty sposób odległość do Księżyca? Przede wszystkim założmy, że **D** jest dużo większe od **R** czyli promienia okręgu zataczanego przez nas dookoła osi ziemskiej. Wobec tego możemy przyjąć, że:

$$(D^2 - R^2)^{1/2} \approx D \quad (1)$$

Przyjmijmy zatem, że w punkcie A robimy zdjęcia Księżyca z odległości **D**, a z punktu B z odległości **D-R**.

Ta sama średnica Księżyca (niebieska na rysunku 2) jest widziana z punktu A pod kątem d_1 , a z punktu B pod kątem d_2 . Zatem:

$$d_2 \cdot (D - R) = d_1 \cdot D$$



Rysunek 2

Po prostych przekształceniach:

$$\frac{D}{R} = \frac{d_2}{d_2 - d_1} \quad (2)$$

Powyższy wzór daje prosty sposób wyznaczania odległości do Księżyca. Łatwo zauważyć, że kąty możemy wyrazić w dowolnych – byle takich samych – jednostkach. Zatem wystarczy na obu wykonanych zdjęciach zmierzyć średnicę Księżyca np. w pikselach lub w centymetrach i wstawić wyniki do wzoru (2).

Przedyskutujmy warunki i sensowność tej metody. Przede wszystkim, jaka musi być minimalna rozdzielczość, by otrzymać sensowny wynik? Otóż **teoretycznie** każde zdjęcia dadzą interesujący wynik. Jeśli rozdzielczość jest zbyt mała, by zmierzyć różnicę widomych średnic, to dostajemy dolne oszacowanie odległości. Przypuśćmy, że na obu zdjęciach średnica Księżyca rozciąga się na 50 pikseli. Zatem $d_2 \approx d_1$ i możemy przyjąć, że $d_2 - d_1 < 1$. Wtedy ze wzoru (2) otrzymujemy:

$$\frac{D}{R} \geq 50$$

To bardzo ważny wynik potwierdzający słuszność założenia (1).

Trzeba jednak uwzględnić niepewność (oznaczymy ją Δd) pomiaru średnicy Księżyca na zdjęciach. Sensowny wynik dostaniemy ze wzoru (2) tylko wtedy, gdy:

$$\Delta d < d_2 - d_1$$

Jak najlepiej zastosować opisaną metodę? Rzecz jasna najprościej wykonać zdjęcia w czasie pełni. Czy wszystko jedno, w jakim kierunku mierzymy średnicę obrazu Księżyca? Otóż nie! Wskutek refrakcji atmosferycznej obraz wschodzącego (zachodzącego) Księżyca będzie spłaszczony – średnica zmierzona w pionie będzie wyraźnie mniejsza od tej zmierzonej w poziomie. Efekt ten jest widoczny gołym okiem, jeśli tylko uważnie się przyjrzeć. Wobec tego należy mierzyć średnicę w kierunku **poziomym**.

Czy zdjęcia muszą być wykonane tego samego dnia? Niekoniecznie, choć to najbardziej wskazane. Ponieważ nasz naturalny satelita obiega Ziemię po elipsie – jego widoma wielkość zmienia się w ciągu miesiąca i to znacznie bardziej niż w opisany tu sposób! Wykonując wiele zdjęć w ciągu miesiąca można łatwo to sprawdzić. Jest to piękny prosty sposób potwierdzenia cyklicznych zmian odległości do Księżyca.

Niestety, nie możemy przyjąć, że **R** to promień Ziemi. Rysunek 1 jest silnym uproszczeniem. Nie jesteśmy na równiku. Choć wokół osi ziemskiej poruszamy się po okręgu, to nie leży on w płaszczyźnie rysunku 1! Jednak metoda pozostaje poprawna, jeśli przyjmiemy, że **R** jest po prostu *zmienną* odległości do Księżyca. W okresie między równonocą jesienną a wiosenną można przyjąć w przybliżeniu, że $R \approx 4000$ km. W okresie wiosenno-

Lp.	Data zdjęcia	Wysokość nad horyzontem	Rozmiar zdjęcia	Odczytana średnica w pikselach	Średni pomiar serii zdjęć
1	2018-01-30 23-32-18	56° (S)	4608x3456	971	971,6
2	2018-01-30 23-32-20		4608x3456	972	
3	2018-01-30 23-32-22		4608x3456	973	
7	2018-01-31 05-44-12	13° (W)	4608x3456	947	951
8	2018-01-31 05-46-53		4608x3456	952	
9	2018-01-31 05-46-56		4608x3456	954	
10	2018-03-01 17-47-44	6,5° E	4608x3456	965	964,5
11	2018-03-01 17-54-49		4608x3456	964	
12	2018-03-02 00-07-06	47,5° (S)	4608x3456	984	985
13	2018-03-02 00-07-10		4608x3456	986	

-letnim Księżyc w pełni jest widoczny nad horyzontem stosunkowo krótko, dlatego też zmiany odległości są mniejsze. Bardzo wiele konkretnych informacji (włącznie z aktualną odległością Księżyca od miejsca obserwacji) można znaleźć w darmowej aplikacji *Stellarium*.

Zdjęcia znajdują się pod adresem; <http://lo2.nazwa.pl/obserwatorium/moon/>

Obliczona na podstawie tych pomiarów wartość dla pełni styczniowej 2018 wynosi **D = 47,6**.

Warto też przyjrzeć się wynikom wykonanym podczas kolejnej pełni (marzec 2018), które dają **D = 48,04**.

Roman Bochanysz
Ludwik Lehman
Głogów, woj. dolnośląskie

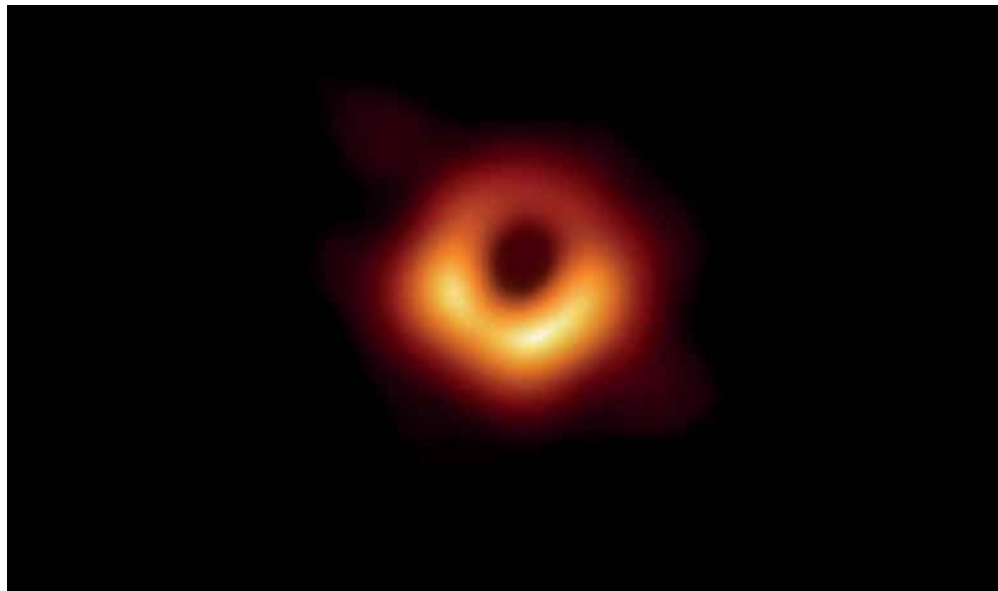
Pierwsze zdjęcie czarnej dziury

10 kwietnia br. wielkie światowe agencje doniosły, że po raz pierwszy w historii udało się wykonać zdjęcie olbrzymiej czarnej dziury. Dziura ta znajduje się w centrum galaktyki o nazwie Messier 87. Słynne zdjęcie zamieszczamy obok.

Dziura jest naprawdę okazała. Jej masa wynosi 6,5 miliarda mas Słońca. Na szczęście jest dość daleko, bo 55 milionów lat świetlnych od Ziemi.

Już pierwszy rzut oka na powyższe zdjęcie ujawnia pewien fakt. Sfotografowano nie tyle samą dziurę, bo jak sfotografować coś, co nie świeci a materię wokół niej. Jak podały agencje sfotografowano ją za pomocą teleskopu EHT. Można by zadać sobie pytanie, gdzie znajduje się ten teleskop? Otóż takiego teleskopu nie ma. Takim mianem określa się zespół wielu skoordynowanych radioteleskopów rozmieszczonych na całej kuli ziemskiej. Jeśli skoordynujemy ich pracę, to otrzymamy efekt jakbyśmy dokonywali obserwacji za pomocą wielkiego radioteleskopu o średnicy równej średnicy kuli ziemskiej.

Teraz czas na kolejną refleksję. Jeśli to jest wielki pseudo-radioteleskop, to zdjęcie pokazuje nam zdję-



Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Black_hole_-_Messier_87_crop_max_res.jpg.

cie okolicy czarnej dziury w falach radiowych a nie widzialnych. Czyli pokazana na obrzeżach czarnej dziury materia wcale nie jest złocista. Jej kolor jest wynikiem obróbki komputerowej fotografii. Równie dobrze można by naszą obwódkę pomalować np. na zielono.

O ile ważność osiągnięcia nie ulega wątpliwości, to same doniesienia

prasowe na jej temat przypominają trochę słynny dialog z radia Erewań:

Czy to prawda, że w Moskwie na Placu Czerwonym rozdają samochody?

Tak, to prawda, tylko nie w Moskwie a w Leningradzie, nie na Placu Czerwonym a na Placu Lenina, nie samochody, a rowery i nie rozdają tylko kradną.



Druga część naszego artykułu poświęcona jest zaprezentowaniu dwóch przykładowych obliczeniowych zagadnień, które związane są ze strukturą naszej gwiazdy oraz opisem fizycznym zjawisk zachodzących wewnątrz Słońca.

W pierwszej części Naszego artykułu opublikowanego na łamach Fizyki w Szkole z Astronomią (nr 2/2019) przedstawione zostały najistotniejsze informacje o Słońcu. Dodatkowo w artykule tym przedstawiliśmy bardzo prostą (szkolną) metodę opracowania fotografii tarczy Słońca.

Na samym wstępie naszego artykułu ponawiamy nasz apel o przestrzeganie niezbędnych zasad bezpieczeństwa podczas obserwacji Słońca.

Uwaga:

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.

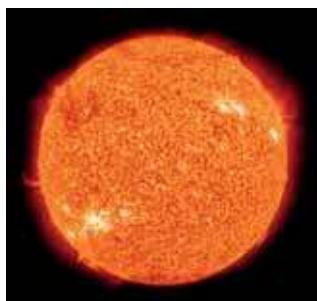


Foto. 1. Obraz tarczy Słońca – fotografia została wykonana w dalekim ultrafiolecie (Foto. NASA-SDO).

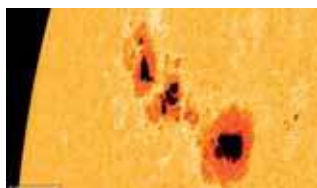


Foto. 2. Układ grup i plam słonecznych – fotografie z września 2011 roku (Foto. NASA-SDO).

Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski

Bardzo serdecznie zachęcamy do samodzielnego zmierzania się z postawionymi problemami. Jeżeli pomimo wielu prób Czytelnik nie jest w stanie samodzielnie rozwiązać postawionego w zagadnieniu problemu naukowego, wtedy powinien uważanie przeanalizować przykładowe rozwiązanie przedstawione przez autorów.

Na samym początku naszych dalszych rozważań musimy przypomnieć kilka najbardziej istotnych wiadomości dotyczących budowy i ewolucji gwiazd, które zostaną wykorzystane w zadaniach rachunkowych.

Od niemalże początku XX wieku wiadomo, że gwiazdy to olbrzymie kule gazowe, które znajdują się w stanie równowagi trwałej. Na podstawie licznych obserwacji



Foto. 3. Fotografia tarczy Słońca wykonana przy użyciu teleskopu słonecznego Coronado oraz kamery monochromatycznej. Na fotografii widoczna jest granulacja powierzchni Słońca oraz pochodnie słoneczne (foto. wykonana w Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy Techniczno – Przyrodniczej Uniwersytetu Rzeszowskiego).

wiadomo, że pomiędzy tymi obiektami występują pewne globalne różnice. Związane są one przede wszystkim z ich masą, promieniem, jasnością absolutną oraz temperaturą efektywną.

Głównym zadaniem dla astronomów zajmujących się strukturą wewnętrzną gwiazd jest zbudowanie modelu struktury wnętrza gwiazdowych, który uwzględniałby wyjaśnienie i odtworzenie zjawisk fizyko-chemicznych zachodzących w ich wnętrzu. Procesy te mają decydujący wpływ na wspomniane już parametry globalne. Rozważając nowy model danej gwiazdy należy uwzględnić odpowiednie prawa fizyczne, które opisują promieniowanie oraz dany stan materii. Zależności te możemy przedstawić w postaci równań matematycznych. Tworzone nowe modele stanowią więc rozwiązanie wspomnianych równań przy uwzględnieniu odpowiednich założeń i warunków brzegowych.

Symetria sferyczna

Kulistość gwiazdy jest jedną z najczęściej zakładanych charakterystyk kształtu tych ciał niebieskich. Kluczową rolę w opisie kształtu gwiazd odgrywają siły przyciągania grawitacyjnego. Rozkład tych sił jest jednakowy we wszystkich kierunkach i to one w głównej mierze są odpowiedzialne za symetryczny kształt danej gwiazdy. Jednakże możliwe są odstępstwa od tego założenia, które mogą być konsekwencją rotacji gwiazdy czy też złożonego pola magnetycznego. Pomijając ten fakt i zakładając, że rozkład materii we wnętrzu gwiazdy charakteryzuje się symetrią radialną możemy zapisać równanie określające masę materii gwiazdowej $\Delta M(r)$, która znajduje się w bardzo cienkiej sferze o promieniu r i grubości Δr :

$$\Delta M(r) = 4\pi r^2 \rho(r) \Delta r, \quad (1)$$

gdzie $\rho(r)$ oznacza gęstość materii gwiazdowej.

Przechodząc do nieskończenie małych przyrostów $\Delta M(r)$ i Δr otrzymamy następujące równanie:

$$\frac{dM(r)}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r). \quad (2)$$

W ostateczności wzór na całkowitą masę gwiazdy przyjmuje więc postać:

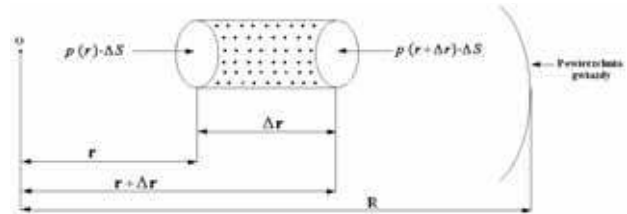
$$M(R) = \int_0^R 4\pi r^2 \rho(r) dr. \quad (3)$$

Równowaga hydrostatyczna

Załóżmy, że mamy do czynienia z tzw. gwiazdą stacjonarną – to znaczy taką, dla której jej jasność oraz promień są stałe. Oczywiście gwiazdy ulegają czasowej ewolucji, która jednak trwa dla takich gwiazd jak Słońce kilka lub kilkanaście miliardów lat. Dlatego założenie stacjonarności gwiazdy wydaje się rozsądne dla gwiazd tzw. ciągu głównego (np. Słońca), które na przestrzeni rzędu kilku miliardów lat nie zmieniają swoich parametrów fizycznych. Przyjmujemy więc, że wewnętrzna struktura gwiazdy w miarę upływu czasu nie zmienia się. Koniecznym

warunkiem takiego stanu rzeczy jest znikanie sumy sił, które działają na materię w każdym punkcie rozważanej gwiazdy. Oznacza to, że gwiazda znajduje się w stanie równowagi hydrostatycznej.

Rozpatrzmy pewien elementarny walec o powierzchni podstawy ΔS i wysokości Δr (rys. 1).



Rys. 1. Siły działające wewnątrz gwiazdy na elementarny walec zawierający materię gwiazdową. Centrum gwiazdy oznaczone jest jako O. Dolna podstawa walca znajduje się w odległości r od centrum gwiazdy, a R jest promieniem gwiazdy. Ze względu na rzeczywiste rozmiary gwiazd na rysunku nie zachowano skali ich wielkości.

Ze względu na symetrię radialną siły działające na pobocznice walca znoszą się natomiast siły działające na dolną i górną podstawę walca są różne. Parcie materii gwiazdowej na dolną podstawę rozważanego walca jest równe $p(r)\Delta S$, a na górną podstawę wynosi $p(r+\Delta r)\Delta S$. Ponieważ ciśnienie $p(r)$ w gwieździe rośnie wraz głębokością więc wypadkowa tych dwóch sił parcia ΔF skierowana jest na zewnątrz gwiazdy.

Na podstawie powyższych rozważań otrzymujemy następujące równanie:

$$\Delta F = [p(r) - p(r+\Delta r)]\Delta S. \quad (4)$$

Ponieważ rozważany walec jest w równowadze więc powyższa wypadkowa sił parcia musi być równoważona przez siłę grawitacji gwiazdy działającą na niego. Stąd wynika, że:

$$\Delta F = \Delta m g(r) = \Delta S \Delta r \rho(r) g(r), \quad (5)$$

gdzie: Δm oznacza masę zawartą w walcu, a $g(r)$ jest przyspieszeniem grawitacyjnym we wnętrzu rozważanej gwiazdy. Ponieważ masa walca może być wyrażona następująco:

$$\Delta m = \rho(r) \Delta S \Delta r, \quad (6)$$

wiec w oparciu o powyższe równania uzyskamy następujący związek:

$$\frac{p(r) - p(r+\Delta r)}{\Delta r} = g(r)\rho(r). \quad (7)$$

Przechodząc do przyrostów Δr nieskończenie małych otrzymujemy:

$$-\frac{dp(r)}{dr} = g(r)\rho(r). \quad (8)$$

W podręcznikach fizyki dowodzi się, że przyspieszenie grawitacyjne wewnątrz kuli jednorodnej lub kuli o radialnym rozkładzie gęstości (takim, jaki jest w gwieździe) pochodzi nie od masy całej kuli, ale tylko masy kuli o promie-

niur, która jest odległością rozpatrywanego walca od środka gwiazdy. Dlatego równanie (8) możemy zapisać jako:

$$\frac{dp(r)}{dr} = -\frac{GM(r)}{r^2} \rho(r). \quad (9)$$

Dodatkowo warto zauważyć, że w ogólności wartość ciśnienia $p(r)$ jest sumą wszystkich rodzajów ciśnień. Otrzymane równanie zwane jest równaniem równowagi hydrostatycznej gwiazdy i pełni bardzo ważną rolę w teorii struktur gwiazdowych.

W dalszej części tego artykułu w oparciu o przedstawione powyżej równania zaprezentujemy prostą metodę oszacowania ciśnienia p_c w centrum Słońca oraz jego średniej temperatury T_{sr} .

Zadanie 1.

Przyjmując za znane następujące stałe: stałą grawitacji G , oraz masę M_s i promień R_s Słońca oszacować wartość ciśnienia p_c w jego centrum.

Rozwiązanie:

Z treści zadania wiadomo, że następujące stałe wynoszą odpowiednio:

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}, M_s \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}, R_s = 6.960 \cdot 10^8 \text{ m}.$$

Chcąc oszacować wartość ciśnienia w centrum Słońca wykorzystamy w tym miejscu wyprowadzone równanie równowagi hydrostatycznej (9) oraz równanie (2):

$$dp(r) = -\frac{GM(r)}{r^2} \rho(r) dr. \quad (1.1)$$

Z równania (1) wynika, że:

$$\rho(r) dr = \frac{dM(r)}{4\pi r^2}. \quad (1.2)$$

Otrzymaną zależność $\rho(r) dr$ (daną wzorem 1.2) podstawiamy do równania (1.1):

$$dp(r) = -\frac{GM(r)}{r^2} \rho(r) dr = -\frac{GM(r)}{r^2} \cdot \frac{dM(r)}{4\pi r^2} = -\frac{GM(r)dM(r)}{4\pi r^4}. \quad (1.3)$$

Uzyskaną zależności (1, 3) scałkujemy obustronnie:

$$\int_p^0 dp(r) = -\int_0^{R_s} \frac{GM(r)dM(r)}{4\pi r^4}. \quad (1.4)$$

Zauważmy, że po prawej stronie równania (1.4) występują stałe, które nie zależą od drogi całkowania, i dlatego można je wyłączyć przed znak całki, jednocześnie wykonamy całkowanie lewej strony tego równania:

$$-p = -\frac{G}{4\pi} \int_0^{R_s} \frac{M(r)dM(r)}{r^4}, \quad (1.5)$$

czyli

$$p = \frac{G}{4\pi} \int_0^{R_s} \frac{M(r)dM(r)}{r^4}. \quad (1.6)$$

W tym momencie pojawia się trudność z obliczeniem całki po prawej stronie równania, ponieważ nie znamy jawnej zależności $M(r)$. Wynika to z faktu, że nie znamy jawnej zależności gęstości materii gwiazdowej $\rho(r)$. Jednak celem naszych rozważań nie jest obliczenie dokładnej wartości ciśnienia w centrum Słońca lecz tylko jej oszacowanie. Ponieważ jest spełniona oczywista zależność: $0 \leq r \leq R_s$, wówczas zależność (1.6) przyjmuje następującą postać:

$$p \geq \frac{G}{4\pi} \int_0^{R_s} \frac{M(r)dM(r)}{R_s^4}. \quad (1.7)$$

Wtedy możemy formalnie wyłączyć mianownik wyrażenia podcałkowego przed znak całki:

$$p \geq \frac{G}{4\pi R_s^4} \int_0^{M_s} M(r) dM(r), \quad (1.8)$$

Ponieważ w wyrażeniu podcałkowym nie występuje jawnie r możemy zatem relację (1.8) wyrazić następująco:

$$p \geq \frac{G}{4\pi R_s^4} \int_0^{M_s} M dM, \quad (1.9)$$

Wobec tego w relacji (1.9) po jego prawej stronie zostaje nam do policzenia elementarna całka względem zmiennej M . Po wykonaniu tych obliczeń otrzymujemy:

$$p \geq \frac{GM_s^2}{8\pi R_s^4}. \quad (1.10)$$

Na końcu w oparciu o relację (1.10) oszacujemy ciśnienie p_c w centrum Słońca. Podstawiając powyższe zależności do równania (1.10) otrzymujemy:

$$p = \frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot (2 \cdot 10^{30})^2}{8\pi \cdot (6.960 \cdot 10^8)^4} = 4.52 \cdot 10^{13} \text{ Pa}.$$

Dodatkowo w celu formalnego sprawdzenia naszych rozważań wykonajmy jeszcze analizę na jednostkach:

$$[p] = \left[\frac{\frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot \frac{\text{kg}^2}{1}}{\frac{\text{m}^4}{1}} \right] = \left[\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \right] = \text{Pa}.$$

Można również uzyskany wynik ciśnienia wyrazić w jednostkach pochodnych np. w atmosferach fizycznych wówczas mamy, że ciśnienie w środku Słońca wynosi

$$p_s = 4.52 \cdot 10^{13} \text{ Pa} \approx 0.5 \cdot 10^9 \text{ atm}.$$

Odpowiedź:

Poszukiwana wartość ciśnienia w środku Słońca wynosi $0.5 \cdot 10^9$ atmosfery fizycznej.

Zadanie 2.

W oparciu o przedstawione w pierwszej części równania wewnętrznej struktury gwiazdy oszacować średnią temperaturę dla Słońca. W obliczeniach przyjąć za znane: wartość stałej grawitacji G , masę M_s i promień R_s Słońca oraz uniwersalną stałą gazową R_g .

Rozwiązanie:

Z treści zadania wynika, że następujące stałe wynoszą odpowiednio:

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}, M_s \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}, R_s = 6.960 \cdot 10^8 \text{ m}, R_g = 8.31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}.$$

Średnią wartość temperatury T_{sr} Słońca o masie M_s wyznaczamy korzystając z zależności:

$$T_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i M_i}{M_s}, \quad (2.1)$$

gdzie: T_i oznacza temperaturę małego elementu masy Słońca ΔM_i . Sumowanie rozciągnięte jest na całą masę Słońca M_s . Korzystając z definicji całki oznaczonej zależność (2.1) możemy zapisać w postaci:

$$T_{sr} = \frac{1}{M_s} \cdot \int_0^{M_s} T dM. \quad (2.2)$$

Ponieważ Słońce jest gwiazdą ciągu głównego, tak więc jego materię możemy traktować jako gaz niezdegenerowany tzn. taki, który możemy opisać równaniem stanu gazu doskonałego. Wobec tego słuszne jest następujące równanie:

$$pV = n R_g T. \quad (2.3)$$

W równaniu (2.3) poszczególne symbole oznaczają: p – ciśnienie gazu, V – objętość, n – liczbę moli gazu, R_g – uniwersalną stałą gazową, a T jest temperaturą bezwzględną.

Powyższe równanie (2.3) jest równaniem Clapeyrona lub równaniem stanu gazu doskonałego, które określa związek pomiędzy trzema podstawowymi parametrami termodynamicznymi tj. temperaturą, ciśnieniem oraz objętością gazu. Równanie to możemy zapisać jako:

$$pV = \frac{m}{\mu_{sr}} R_g T. \quad (2.4)$$

W relacji (2.4) m oznacza masę gazu, a μ_{sr} jest jego średnią masą molową.

Dokonując elementarnych przekształceń z równania (2.4) możemy wyznaczyć temperaturę gazu:

$$T = \frac{\mu_{sr}}{R_g} \cdot \frac{p(r)}{\rho(r)}. \quad (2.5)$$

Dodatkowo w tym miejscu korzystamy z zależności na całkowitą masę materii gwiazdowej (równanie 2), która znajduje się w sferze o promieniu r i grubości dr .

$$dM = dM(r) = 4\pi r^2 \rho(r) dr, \quad (2.6)$$

Wartość tej masy dM postawiamy do zależności (2.2) i jednocześnie korzystając z zależności (2.5) otrzymujemy:

$$T_{sr} = \frac{1}{M_s} \cdot \int_0^{M_s} T dM = \frac{1}{M_s} \cdot \int_0^{R_s} \frac{\mu_{sr}}{R_g} \cdot \frac{p(r)}{\rho(r)} \cdot 4\pi r^2 \rho(r) dr. \quad (2.7)$$

W celu uproszczenia obliczeń zakładamy, że μ_{sr} jest takie samo w całej objętości gwiazdy. Wtedy dokonując prostych przekształceń uzyskujemy:

$$T_{sr} = \frac{4\pi \mu_{sr}}{M_s R_g} \cdot \underbrace{\int_0^{R_s} p(r) \cdot r^2 dr}_A \quad (2.8)$$

Występującą całkę w równaniu (2.8) obliczymy wykonując tzw. całkowanie przez części. Wobec tego skorzystamy w tym miejscu ze znanej formuły występującej w analizie matematycznej:

$$\int u v' = u v - \int u' v dr, \quad (2.9)$$

$$\text{gdzie: } u = p(r), u' = \frac{dp(r)}{dr}, v' = r^2, v = \frac{r^3}{3}.$$

Wobec tego nasza całka została przekształcona do następującej postaci:

$$A = \int_0^{R_s} p(r) \cdot r^2 dr = \frac{p(r)r^3}{3} \Big|_0^{R_s} - \int_0^{R_s} \frac{dp(r)}{dr} \cdot \frac{r^3}{3} dr. \quad (2.10)$$

$$\text{Warto zauważyć, że wyrażenie } \frac{p(r)r^3}{3} \Big|_0^{R_s} = 0,$$

ponieważ na powierzchni gwiazdy dla $r = R$ ciśnienie $p(r)$ znika, natomiast w centrum $r^3 = 0$.

W równaniu (2.10) po jego prawej stronie pochodną ciśnienia gazu gwiazdowego względem promienia obliczymy stosując w tym miejscu równanie równowagi hydrostatycznej (równanie 9). Dlatego równanie (2.10) przyjmuje następującą postać:

$$A = 0 - \frac{1}{3} \int_0^{R_s} - \frac{G M(r)}{r^2} \rho(r) r^3 dr, \quad (2.11)$$

lub

$$A = \frac{1}{3} \int_0^{R_s} \frac{G M(r)}{r} \rho(r) r^2 dr. \quad (2.12)$$

Z równania (2) wynika, że

$$\rho(r) r^2 dr = \frac{dM(r)}{4\pi}, \text{ wobec tego otrzymujemy:}$$

$$A = \frac{1}{3} \int_0^{R_s} \frac{G M(r)}{r} \cdot \frac{dM(r)}{4\pi} = \frac{G}{12\pi} \int_0^{R_s} \frac{M(r) dM(r)}{r}. \quad (2.13)$$

W równaniu (2.13) pojawia się ten sam problem co w zadaniu 1, jeśli chodzi o znajomość kształtu funkcji $M(r)$. Postępując w analogiczny sposób równanie (2.13) zostanie sprowadzone do następującej relacji:

$$A \geq \frac{G}{12\pi} \int_0^{R_s} \frac{M(r) dM(r)}{R_s} = \frac{G}{12\pi R_s} \int_0^{M_s} M dM = \frac{G}{12\pi R_s} \cdot \frac{M_s^2}{2} = \frac{G M_s^2}{24\pi R_s}. \quad (2.14)$$

Korzystając z równania (2.8) oraz relacji danej zależności (2.14) możemy oszacować średnią temperaturę materii słonecznej:

$$T_{sr} \geq \frac{4\pi \mu_{sr}}{M_s R_g} \cdot A = \frac{4\pi \mu_{sr}}{M_s R_g} \cdot \frac{G M_s^2}{24\pi R_s} = \frac{G M_s}{6 R_g R_s} \cdot \mu_{sr}. \quad (2.15)$$

Zauważmy, że w równaniu (2.15) pojawił się czynnik μ_{sr} , który oznacza średnią masę cząsteczkową materii słonecznej, która zależy od składu chemicznego rozważanego ośrodka. Masę tą definiujemy jako:

$$\mu_{sr} = \frac{\rho_{sr}}{N_c}, \quad (2.16)$$

gdzie ρ_{sr} oznacza średnią gęstość materii słonecznej, N_c jest całkowitą ilością molekuł, które występują w jednostce objętości.

Zgodnie z powszechnie przyjętym modelem budowy Słońca najobfitszymi pierwiastkami są wodór i hel. Ponieważ wodoru w Słońcu jest znacznie więcej niż helu (masowa zawartość wodoru wynosi około 72.7% całkowitej masy Słońca, a masowa zawartość helu wynosi odpowiednio około 26.2%, a cięższych pierwiastków jest około 1.1%). Naszym celem jest oszacowanie średniej temperatury materii słonecznej a nie jej ścisłe wyznaczenie wartości. Dlatego dla uproszczenia rozważań przyjmujemy, że Słońce zawiera tylko wodór i hel.

Załóżmy, że x, y oznaczają odpowiedni stosunek masy wodoru, helu do całkowitej masy Słońca.

Dlatego zachodzi następująca relacja:

$$x + y = 0.727 + 0.262 \approx 1. \quad (2.17)$$

Całkowitą liczbę molekuł w jednostce objętości N_c możemy wyrazić poprzez przyjęty skład chemiczny gwiazdy:

$$N_c \approx N_1(x) + N_2(y). \quad (2.18)$$

W zależności (2.18) poszczególne symbole oznaczają:

$N_1(x)$ – ilość molekuł powstałą w wyniku rozpadu wodoru, $N_2(y)$ – ilość molekuł powstałą w wyniku rozpadu helu. Zakładamy, że wszystkie atomy są całkowicie zjonizowane. Wówczas możemy przyjąć, że zachodzą następujące reakcje:



Z przedstawionej powyżej reakcji (2.18a) wynika, że z każdego atomu wodoru powstają dwie cząstki – elektron i proton. W przypadku każdego atomu helu (reakcja 2.18b) powstają trzy cząstki – dwa elektrony i cząstka α .

W kolejnym kroku naszych rozważań musimy wyznaczyć liczbę cząstek znajdujących się w jednostce objętości materii gwiazdowej. Z naszych wcześniejszych rozważań wynika, że masa wodoru w 1m^3 równa jest: $x \cdot \rho_{sr}$. Jeżeli m_0 oznacza masę atomu wodoru, to w objętości jednostkowej będzie się znajdowało $x \cdot \rho_{sr} \cdot m_0^{-1}$ atomów wodoru. Zauważmy, że w wyniku jonizacji każdego atomu wodoru (reakcja 2.18a) otrzymujemy dwie cząstki, wówczas w każdym m^3 materii gwiazdowej znajduje się $2 \cdot x \cdot \rho_{sr} \cdot m_0^{-1}$ cząstek powstałych podczas jonizacji atomów wodoru. Postępując analogicznie stwierdzimy, że w jednostce objętości znajduje się $3/4 \cdot y \cdot \rho_{sr} \cdot m_0^{-1}$ cząstek pochodzących z jonizacji atomów helu (czynnik 4 w mianowniku wynika z tego, że masa atomu helu jest w przybliżeniu równa 4 masom wodoru).

Wobec powyższych założeń całkowitą liczbę molekuł w jednostce objętości możemy wyrazić jako:

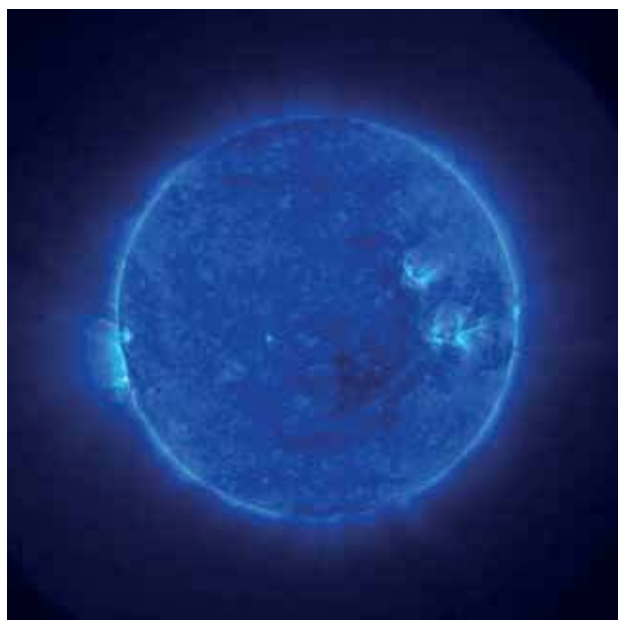


Foto. 5. Fotografia tarczy Słońca – zdjęcie wykonane w skrajnym ultrafiolecie (foto. NASA).

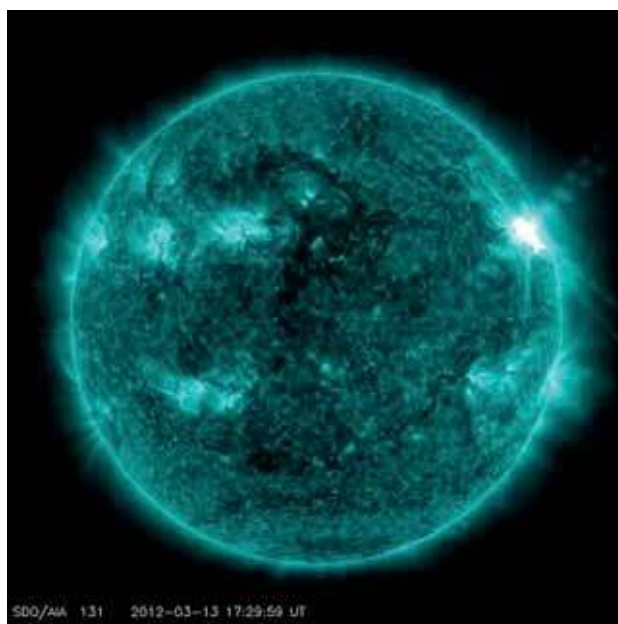


Foto. 6. Rozblyski widoczne na powierzchni Słońca, które są związane z burzą geomagnetyczną (Foto. NASA).

$$N_c = 2 \cdot x \cdot \frac{\rho_{sr}}{m_0} + \frac{3}{4} \cdot y \cdot \frac{\rho_{sr}}{m_0} = \frac{\rho_{sr}}{m_0} \left(2 \cdot x + \frac{3}{4} \cdot y \right) \quad (2.19)$$

Uwzględniając równania (2.16) oraz (2.19) otrzymujemy:

$$\mu_{sr} = \frac{\rho_{sr}}{N_c} = \frac{\rho_{sr}}{\frac{\rho_{sr}}{m_0} \left(2 \cdot x + \frac{3}{4} \cdot y \right)} = \frac{m_0}{\left(2 \cdot x + \frac{3}{4} \cdot y \right)}. \quad (2.20)$$

Otrzymane równanie określa średnią masę cząsteczkową. Załóżmy, że $m_0 = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, (należy pamiętać o tym, że rozpatrujemy wodór w postaci atomowej a nie cząsteczkowej), wówczas równanie (2.20) możemy zapisać następująco:

$$\mu_{\text{sr}} = \frac{1}{\left(2 \cdot x + \frac{3}{4} \cdot y\right)} \quad (2.21)$$

Pamiętając o tym, że: $x + y \approx 1$, zależność (2.21) przyjmuje następującą postać:

$$\mu_{\text{sr}} = \frac{1}{2 \cdot \underbrace{(x+y)}_{\approx 1} - \underbrace{\left(\frac{5}{4} \cdot y\right)}_{\varepsilon > 0}} \approx \frac{1}{2 - \varepsilon}, \quad (2.22)$$

gdzie: $\varepsilon = \frac{5}{4} \cdot y \approx 0.33 \rightarrow \varepsilon > 0$.

Wówczas możemy zapisać, że:

$$\mu_{\text{sr}} = \frac{1}{2 \cdot 1 - 1.25 \cdot 0.262} \approx 0.6 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

W chwili początkowej narodzin gwiazdy przyjmujemy, że składa się ona tylko z wodoru, dlatego na podstawie równania (2.22) mamy:

$$\mu_{\text{sr}} = \frac{1}{2} \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

W dalszym toku ewolucji w gwieździe pojawia się hel i dlatego $y > 0$, co powoduje, że

$$\mu_{\text{sr}} > \frac{1}{2} \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Oznacza to, że w trakcie ewolucji gwiazdy masa cząsteczkowa materii gwiazdowej wzrasta.

Na samym końcu wykorzystując podane w treści zadania dane liczbowe wyznaczmy poszukiwaną średnią wartość temperatury dla Słońca:

$$T_{\text{sr}} \geq \frac{6.67 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{6.831 \cdot 6.960 \cdot 10^8} \cdot \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} = 1.92 \cdot 10^6 [\text{K}]$$

Postępując analogicznie jak w zadaniu 1 przedstawiamy analizę na jednostkach:



Foto. 7. Gwałtowny wyrzut materii ze Słońca - eksplozja na Słońcu w dniu 31.08.2012 roku (Foto. NASA).

$$\begin{aligned} [T] &= \left[\frac{\frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{mol}}} \right] = \left[\frac{\frac{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}{\text{mol} \cdot \text{s}^2}}{\frac{\text{J} \cdot \text{m}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \right] = \left[\frac{\frac{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}{\text{mol} \cdot \text{s}^2} \cdot \frac{\text{mol} \cdot \text{K}}{\text{J} \cdot \text{m}}}{\frac{\text{m}^2 \cdot \text{kg}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{K}}{\text{N} \cdot \text{m}}} \right] = \\ &= \left[\frac{\frac{\text{m} \cdot \text{kg}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{K}}{\text{N}}}{\frac{\text{m} \cdot \text{kg}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{K}}{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \right] = \left[\frac{\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{K}}{1}}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{\text{m}}} \right] = \text{K} \end{aligned}$$

Odpowiedź.

Poszukiwana wartość średniej temperatury dla Słońca jest równa $1.92 \cdot 10^6 \text{ K}$.

Uwaga:

Otrzymana wartość temperatury dla Słońca mieści się w przedziale możliwych dopuszczalnych temperatur, z których najniższa to temperatura fotosfery wynosząca około $6\,000 \text{ K}$, a najwyższa w jądrze słonecznym wynosząca około $15 \cdot 10^6 \text{ K}$.

dr Marcin Wesolowski^{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] M. Kubiak, 1994, Gwiazdy i materia międzygwiazdowa. Astrofizyka, PWN Warszawa
- [2] J. S. Stodółkiewicz, 1978, Astrofizyka ogólna z elementami geofizyki, PWN Warszawa
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Sun>

Pierwsze sondy w obserwacji Słońca

Pierwszymi satelitami przeznaczonymi do obserwacji Słońca a w szczególności wiatru słonecznego były satelity z serii Pioneer. Pierwszy z nich został wystrzelony w 1965 roku. Sondy 6,7,8 nadal pracują.

Kolejnymi sondami przeznaczonymi do badania Słońca były Helios A i Helios B. Było to wspólne przedsięwzięcie amerykańsko-niemieckie z tym, że zaangażowanie niemieckie w przedsięwzięcie ponad dwukrotnie przewyższało amerykańskie. Celem misji było badanie pola magnetycznego Słońca, jak też wiatru słonecznego.

Sondy zostały wystrzelone w roku 1974 i 1976. Nadal pozostają na orbicie okołosłonecznej choć już nie pracują.

Apollo Telescope Mount był kosmicznym teleskopem przeznaczonym do obrazowania Słońca w dziedzinie światła widzialnego, czyli po prostu do fotografowania Słońca. Pracował w latach 73-74.

Solar Maximum Mission to kolejny teleskop do badania Słońca. Pracował w latach 1980-1990 z przerwami spowodowanymi awariami.



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?

Anna Janeczek

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 rozwiązać.

Powody opuszczenia ziemi

Skupmy się na Ziemi. Myślę, że poważną zagwozdką, również dla mnie, kiedy zaczynałam interesować się tą tematyką, jest powód opuszczenia naszej planety. Przecież żyje nam się tutaj dobrze, co prawda z roku na rok coraz bardziej odczuwalne są zmiany klimatu – obserwujemy na zmianę powodzie i susze, topnienie lodowców do tego smog, wirusy, ale nadal jest dobrze.

Zastanówmy się jaka jest przyczyna tych problemów? Za zmiany klimatu odpowiedzialna jest wysoka emisja gazów cieplarnianych, czyli, m.in. dwutlenku węgla, który prowadzi do podwyższenia temperatury. Gazy wydzielają się na skutek spalania węgla i ropy w piecach, jako spaliny samochodowe oraz z zakładów przemysłowych stosujących różne środki chemiczne. My nazywamy to smogiem, który jako kolejny łańcuch zależności, powoduje kumulację chorób zakaźnych. Poza tym często słyszymy o przeludnieniu, szczególnie w Chinach, chociaż może nie zbyt duża liczba ludzi jest tutaj problemem, ale fakt, że

wolimy zamieszkiwać duże, zatłoczone już miasta, pozostawiając wiele terenów wolnych i opuszczonych. Do tego dochodzą spory polityczne i religijne, które z roku na rok (a nawet z miesiąca na miesiąc) stają się coraz bardziej niebezpieczne. Lepiej nie będę się zagłębiać w ten temat. Ale spokojnie, nie tylko nasza autodestrukcyjna natura jest winna zmianom klimatu. Naukowcy spierają się także o wpływ erupcji wulkanów oraz zmian w atmosferze Słońca na – dla odmiany – ochłodzenie klimatu. Zatem, aby ratować Ziemię i ludzkość, może być konieczna adaptacja na innej planecie.

Wszystkie niezgodności dotyczące klimatu wynikają z niewystarczającej wiedzy na temat Ziemi, ponieważ, mimo ogromnego postępu cywilizacji i technologii nadal nie wiemy wszystkiego. Stąd, kolejnym powodem, dla którego powinniśmy opuścić naszą planetę jest zwyczajna ludzka ciekawość i chęć eksploracji Kosmosu. Każdy lot, zarówno załogowy jak i bezzałogowy, przybliży nas do odkrycia tej tajemnej wiedzy, bo jest to, jak powiedział Neil Armstrong, „jeden mały krok dla człowieka, ale wielki skok dla ludzkości”.

Mamy Międzynarodową Stację Kosmiczną (ISS), która jest swoistym laboratorium w Kosmosie. Były tam przeprowadzane eksperymenty dotyczące między innymi: spalania różnych materiałów w tamtejszych warunkach czy wpływu długiej podróży kosmicznej na geny i metabolizm człowieka, poprzez analizę włosów. Dodatkowo

w Kosmosie działają liczne satelity i sondy, np. sztuczny satelita Jowisza, w ramach misji Juno, którą kieruje NASA.

Takie wyprawy i każde kolejne doświadczenie pozwalają również udoskonalać i tworzyć nowe technologie, które wynoszą ludzkość coraz dalej. Jest to przede wszystkim inspiracja dla nowych pokoleń, które marzą o karierze w każdej sferze nauki: medycynie, inżynierii, biotechnologii i fizyki oraz kontynuacji badań nad Wszechświatem, ale też dla tych, którzy na pytanie „kim chcesz zostać, kiedy dorosniesz?” kompletnie nie znają odpowiedzi, nawet kiedy dorosłość jest już teraz.

Dlaczego nie Wenus?

Analizując Układ Słoneczny, bardziej oczywistym wyborem planety na kolonizację byłaby Wenus, ponieważ znajduje się bliżej Ziemi niż Mars. W najbliższym położeniu Wenus i Ziemię dzieli około 40 mln km, natomiast Mars jest oddalony od Ziemi o około 56 mln km. Są to wartości mierzone w momencie najmniejszych odległości między planetami, a różnice wynikają z faktu, że poruszają się one po eliptycznej orbicie z różnymi prędkościami. Stąd, najdłuższa droga do Wenus i Marsa, kiedy znajdują się po przeciwnej stronie Słońca niż Ziemia, to odpowiednio 261 i 401 mln km według NASA.

Mimo tego, że Wenus jest bardzo podobna do Ziemi pod względem wielkości i masy, nie można przeoczyć faktu, że jest ona drugą planetą licząc od Słońca, więc temperatura (średnio 462°C) nie pozwala ludzkości na przetrwanie. Dodatkowo gruba i gęsta atmosfera, złożona w większości z dwutlenku węgla, czyni Wenus najbardziej gorącą planetą w Układzie Słonecznym. To zdecydowanie nie są sprzyjające ludzkiej naturze warunki.

Warunki na Marsie

Aby zrozumieć jakim wyzwaniem dla człowieka jest funkcjonowanie na Czerwonej Planecie, ważne jest wyobrażenie i porównanie do życia na Ziemi w każdym aspekcie.

Grawitacja

Grawitacja jest siłą, jaka przyciąga obiekty do siebie. Pole grawitacyjne jest więc zależne od wielkości obiektów, które się przyciągają, stąd, im większy obiekt, tym siła grawitacyjna jest większa. Mars jest dwa razy mniejszy od Ziemi po względem wielkości i gęstości, dlatego grawitacja także działa z mniejszą siłą, konkretnie, jest to 3,71 m/s² (Ziemia – 9,81 m/s²). Idąc dalej tym tropem, zakładając, że pewien obiekt będzie na naszej planecie ważył 100 kg, to ten sam przedmiot, na Marsie, będzie miał wartość ciężkości około 38 kg.

Atmosfera

Atmosfera na powierzchni Marsa jest jedną z głównych przyczyn jego małej gościnności. Składa się głównie z dwutlenku węgla, częściowo z argonu i jedynie domieszkami azotu i tlenu. Jest ona bardzo cienka, w porównaniu z atmosferą ziemską jest to około 0,7%, co sprawia, że na planecie panuje niskie ciśnienie, około 6 hPa, w zależności od pory roku. Mimo tego, udaje jej się utrzymać chmury i wiatr.

Atmosfera ma za zadanie zatrzymywać ciepło na powierzchni planety, a więc także podtrzymywać życie, natomiast jej cienka warstwa jest przyczyną niskich temperatur oraz wysokiego poziomu promieniowania słonecznego. Co ciekawe, z badań wynika, że była ona kiedyś tak gruba jak na Ziemi. Przyczyną jej zaniku są najprawdopodobniej burze piaskowe, które są charakterystycznym zjawiskiem dla Marsa. Miały one zwyczajnie „wywiać” atmosferę zmieszaną z pyłem.

Pogoda

Ustaliliśmy już, że na Marsie jest zimno, ale co to znaczy? Planeta jest nachylona do osi pod kątem 25,19°, podobnie do Ziemi (23,44°), z czego wynika, że można tam zaobserwować, różniące się długością, ale nadal, cztery pory roku. Przyczyną tej różnicy jest wydłużona elipsa orbity, po której porusza się Mars. Zatem wiosna trwa siedem miesięcy, lato i jesień po sześć miesięcy i zima cztery miesiące. Stąd, rok marsjański trwa około 1,88 roku ziemskiego, a doba – dokładnie 24 godziny, 39 minut i 35,244 sekund. Temperatura waha się od +20°C w lato do -125°C w zimę. W nocy, średnia temperatura to około -70°C, a na powierzchni pojawia się mróz, który paruje z nastaniem dnia.

Podobnie jak na naszej planecie, na Marsie obserwujemy czapy lodowe na biegunach. W trakcie lata zmniejszają one swoją powierzchnię – dwutlenek węgla paruje do atmosfery, pozostawiając lód wodny. Innym ciekawym zjawiskiem jest śnieg powstały właśnie z zamarzniętego dwutlenku węgla, spadający w czasie marsjańskiej zimy. Natomiast nie obserwuje się tam deszczu, ponieważ jest zbyt zimno i sucho, więc powierzchnia planety przypomina wyjątkowo mroźną pustynię.

Wracając do burz piaskowych, pod względem adaptacji, są one jednym z najważniejszych czynników marsjańskiego klimatu. Występują głównie wiosną i latem. Według jednej z teorii, są one tam tak intensywne, ponieważ cząsteczki „piasku” występującego na powierzchni, pochłaniają światło słoneczne, generując ciepło. Kiedy ciepło od cząsteczek zderza się z zimną atmosferą, tworzy się wiatr, który nasilając się, podnosi drobinki z powierzchni coraz bardziej intensywnie, co obserwuje się jako burzę piaskową. Bywają one bardzo rozległe i mogą trwać kilka miesięcy. Niebezpieczne są nawet dla robotów aktualnie się tam znajdujących.

Powierzchnia

Mars ma średnicę około dwa razy mniejszą niż Ziemia, czyli 6,794 tysięcy km. Powierzchnia jest bardzo zróżnicowana – od wysokich gór, w tym wulkanów z pozostało-



Widoczne bieguny na powierzchni Marsa



Porównanie średnicy Ziemi i Marsa

ściami po ich erupcji, do głębokich, kilkukilometrowych kanionów i licznych kraterów.

Nazwę „Czerwona Planeta”, zawdzięcza dużej zawartości żelaza w powierzchniowym pyłe („piasku”), która utlenia się, a inaczej – koroduje, stąd rdzawo czerwony kolor.

Woda

Woda na powierzchni Marsa jest głównym tematem spekulacji odnośnie tego jakie warunki na Marsie istniały wcześniej, zanim ludzie mieli możliwość jego eksploracji oraz teoretycznego życia obecnie. Jednak warunki nie pozwalają na to, żeby woda była obecna w stanie ciekłym. Również wspomniane wcześniej czapy lodowe składają się z zamrożonego dwutlenku węgla jako „suchy lód” i, być może, wody. Badania, wykonane przez łaziki wskazują też na to, że woda ciekła może płynąć głębiej pod powierzchnią lodu. Potwierdzają to także badania europejskiej sondy, która wykryła obszar cieczy o wielkości około 20 km.

Wiele wskazuje na to, że w czasie, gdy warstwa atmosfery była gruba, tak jak na Ziemi, płynęła woda w postaci rzek i oceanów. Szczególną uwagę w tej kwestii przyciągają kratery, które mogły być uformowane jedynie przez ciecz.

PORÓWNANIE		
	Ziemia	Mars
średnica	12,756 tys. km	6,794 tys. km
masa	6×10^{24} kg	$6,4169 \times 10^{23}$ kg
siła ciężkości	$9,81 \text{ m/s}^2$	$3,71 \text{ m/s}^2$
ciśnienie	1013 hPa	6 hPa
rok astronomiczny	12 miesięcy	23 miesiące



Kratery z lodem wodnym

Terraformowanie

Jak widać, planety różnią się od siebie znacząco i jest wiele naturalnych barier, które podczas kolonizacji Marsa, trzeba będzie pokonać. Tutaj pojawia się pomysł terraformowania, czyli nic innego jak upodobnienie Marsa do Ziemi w taki sposób, aby człowiek mógł funkcjonować bez wsparcia „z zewnątrz”. Niemożliwe? Nie dla każdego. Naturalne uformowanie całej planety zajęłoby kilka tysięcy lat, ale warto spróbować.

Problemy, którymi na pewno trzeba by się zająć są: podniesienie temperatury, uformowanie grubszej atmosfery i jakżeby inaczej, wytworzenie wody pitnej. To wszystko załatwia duża ilość dwutlenku węgla, którego, jak mogłoby się zdawać, na Marsie nie brakuje. Jednak z badań wynika, że to i tak by nie wystarczyło. Pytanie więc brzmi: skąd go wziąć?

Jednym z pomysłów NASA jest wytworzenie brakującego na Marsie pola magnetycznego w postaci tarczy, która osłoni planetę przed promieniowaniem i zatrzyma atmosferę. Pole magnetyczne, chroniące przed wiatrami słonecznymi, z czasem pozwoliłoby odbudować atmosferę, a co za tym idzie, zwiększyć ciśnienie atmosferyczne i temperaturę na powierzchni planety. Z kolei zwiększenie temperatury doprowadzi do topnienia lodowych czap i emisji tak potrzebnego dwutlenku węgla i szczególnie, wody w postaci cieczy.

Generator pola magnetycznego miałby znajdować się pomiędzy Słońcem a Marsem w tak zwanym punkcie Lagrange’a – L1, aby pole chroniło go przed promieniowaniem. Amerykańska Agencja Kosmiczna proponuje także wykorzystanie ogromnych luster skierowanych w stronę biegunów, które mają odbijać promienie słoneczne i w ten sposób nagrzewać planetę. Problemem jest ich przewiezienie, więc lustra trzeba wykonać z materiałów dostępnych na powierzchni docelowej planety.

Najbardziej kontrowersyjnym pomysłem jest idea Elona Muska, założyciela firmy SpaceX, który zakłada zrzućenie, z odpowiedniej wysokości, bomb termojądrowych, które wytworzyłyby wystarczająco dużo energii, aby stopić czapy lodowe na biegunach. Przy czym podkreśla, że nie chodzi o bombardowanie planety, ale wybuchy nad jej powierzchnią. Jednak metoda ta spotyka się z opiniami, że mogłoby to wywołać przeciwny efekt – jeszcze bardziej oziębic Marsa, ponieważ wybuch uniósłby lód razem z pyłem, tworząc lodową „koldrę” w atmosferze.

Równie ekstremalną metodą jest odpowiednie ukierunkowanie asteroidów zawierających amoniak. Pomyślowcy – Robert Zubrin i Christopher McKay – sugerują, że asteroidy napędzone silnikiem rakietowym, uderzając w powierzchnię Marsa z odpowiednio dużą prędkością, wytworzyłyby taką ilość energii, która jest zużywana na Ziemi w ciągu dziesięciu lat. Amoniak składa się w dużej części z azotu, który w połączeniu z tlenem, stworzyłby atmosferę, w której można oddychać bez wspomagania.

Ciekawe rozwiązanie zaproponował także popularny astronom Carl Sagan. Według niego, wyłożenie na powierzchni Czerwonej Planety ogromnych połaci



Terraformowanie Marsa

czarnych materiałów, mogłyby to być ciemne rośliny lub pył pochodzący z księżyców Marsa – Fobos i Deimos, zatrzymałyby ciepło słoneczne i stopiły lód.

Można też stworzyć zupełnie nowe mikroorganizmy, stworzone z różnych genów, które mogłyby przetrwać na Marsie i samoczynnie go terraformować. Pomysł ten wyszedł z amerykańskiej Agencji Zaawansowanych Projektów Badawczych w Obszarze Obronności (DARPA) i zakłada właśnie sztuczne hodowanie roślinności, alg lub innych organizmów.

Jednak w lipcu 2018 r. roku, NASA ostudziła zapał entuzjastów wykorzystania dwutlenku węgla już istniejącego na Marsie, publikując wyniki badań, które stwierdzają, że nie jest to możliwe z wykorzystaniem aktualnych możliwości technologicznych. Pomimo tego, że gaz ten można znaleźć w czapach lodowych, skałach oraz jest głównym składnikiem atmosfery, nie ma tam wystarczającej ilości dwutlenku węgla, aby ogrzać planetę. Według badań, ta ilość wystarczy jedynie na potrojenie objętości atmosfery, co, i tak, będzie czyniło ją 2% naszej atmosfery i podniesie temperaturę o najwyżej 10°C (średnia temperatura to -70°C). Więc nadal jest to zbyt mało, aby ludzie mogli chodzić po Marsie bez jakiegokolwiek zabezpieczenia.

Problemy techniczne

Oprócz problemów wywodzących się z warunków panujących na planecie, drugą stroną misji są problemy techniczne przedstawione poniżej.

Komunikacja z Ziemią

Komunikacja odbywa się przez satelity, które Mars już posiada, tak też komunikują się łaziki Curiosity i Opportunity. Sygnał wychodzący od jednego z łazików tra-

fia do satelity, a satelita przekazuje go do anteny na Ziemi. Jednak typowa rozmowa nie jest możliwa, ponieważ przez dystans, występują znaczne opóźnienia w odbiorze sygnału na drugim końcu. Są to opóźnienia od 3 do 22 minut.

Można stwierdzić, że satelity ratują sytuację, w której Ziemia i Mars znajdują się w koniunkcji, czyli w dokładnej prostej linii ze Słońcem pomiędzy nimi. Zagadnienie komunikacji z Ziemią oraz jego rozwiązanie jest bardzo dobrze przedstawione w filmie „Marsjanin” Ridley’a Scott’a.

Podróż

Podróż na Marsa trwałaby około 9 miesięcy. Jednak wszystko zależy od trafienia w czasie na odpowiednie położenie Ziemi i Marsa względem siebie. Nie jest to tak oczywiste i łatwe do obliczenia, ponieważ orbity obydwu planet nie są idealnie kołowe. Teoretycznie najdogodniejsza pozycja planet jest wtedy, gdy Mars znajduje się jak najbliżej Słońca, a w tym samym momencie Ziemia jest w punkcie najbardziej oddalonym od Słońca. Jest to dystans 54,6 mln km, jednak nigdy się tak nie zdarzyło. Rekordowy wynik to 56 mln km. Stąd misja musi zacząć się dokładnie w momencie, kiedy Mars będzie w odpowiednim położeniu, a takie okno startowe, według obliczeń pojawia się co 26 miesięcy. W uproszczeniu, jest jedna szansa na dwa lata, aby rozpocząć misję na Marsa, która ma największe szanse na powodzenie.

Są też pomysły na przyspieszenie lotu do prędkości bliższych prędkości światła. Można to osiągnąć poprzez lasery, wykorzystujące energię fotonów, a także żagle pokątnych rozmiarów. To umożliwiłoby dotarcie do Marsa w zaledwie trzy dni. System ten nosi nazwę DEEP-IN (Directed Propulsion for Interstellar Exploration).

Jak to możliwe? Cząstki światła, odbijając się od danego przedmiotu powodują jego niewielkie pchnięcie, a dodatkowe żagle nadają rozpędu obiektowi. W próżni i bez oporu, prędkość spowodowana popchnięciem nie spada, więc główny problem pojawia się w momencie hamowania. Chociaż z prędkością nie można też przesadzić, bo przy zbyt dużej wartości, statek kosmiczny nie wszedłby w orbitę Marsa, ale z jej kontrolą pomysł jest jak najbardziej wykonalny.

Wpływ promieniowania i grawitacji na zdrowie człowieka

Bez zabezpieczenia zdrowia astronautów i eksploratorów Marsa nie ma możliwości wyruszenia w tak długą podróż i jego kolonizacji. Największymi zagrożeniami w tej kwestii są promieniowanie słoneczne i niska grawitacja. Promieniowanie słoneczne jest poważnym zagrożeniem, przede wszystkim dlatego, że nie wiemy dokładnie jaki ma ono wpływ na ludzkie komórki i tkanki, ponieważ różni się ono od promieniowania na Ziemi, gdyż Ziemię osłania pole magnetyczne i atmosfera.

Trudno jest również stwierdzić, czy będą to komplikacje widoczne natychmiast, czy skutkujące w późniejszym okresie życia. Właściwie każda komórka może być zniszczona przez promieniowanie, więc nie wiadomo czego

można się spodziewać. Jednak badania NASA skupiają się na nowotworach oraz zaburzeniach systemu nerwowego lub krwionośnego. Jednym ze skutków mogą być zmiany w DNA. Chociaż może nie tyle zmiany, ile zniszczenia w jego strukturze. Jak wiemy, komórki mogą się same odnawiać, ale jeśli napromieniowanie doprowadzi do ich deformacji lub mutacji, w dużych ilościach, mogą one stać się przyczyną nowotworu. To dotyczy także komórek mózgowych, tylko w tym przypadku skutkiem jest zaburzenie systemu nerwowego lub zaniki pamięci. Przypuszczenia dotyczą też uszczerbków w systemie krążeniowym – serce, tętnica lub komórki w żyłach.

Przebywającym na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS) astronautom, badanym pod względem wpływu braku grawitacji na ich ciała, stwierdzono zanik kości (osteoporoza) i mięśni. Stąd korzystanie z „siłowni” znajdującej się na pokładzie ISS jest jednym z zadań i częścią pracy astronautów.

Nurtującym pytaniem jest więc czy przebywając w marsjańskim środowisku przez długi okres i adaptując się do niego, fizycznie i psychicznie, człowiek byłby w stanie potem przeżyć na Ziemi, jeśli miałby tu w ogóle wrócić...

Wymienione czynniki mają wpływ na zdrowie fizyczne człowieka, jednak nie można pominąć zagadnienia kondycji psychicznej. Zmiana otoczenia, długie przebywanie w ciasnym pomieszczeniu z innymi osobami, brak prywatności, brak rozmów z bliskimi, są to również zagrożenia, które wystawiają marsonautów na próbę, mają wpływ na przebieg misji, a także tworzą nieodwracalne zmiany w psychice człowieka.

Eksploracja Marsa

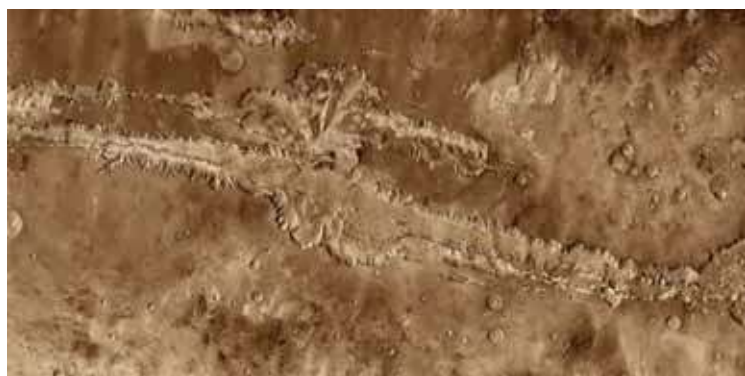
Początki

Wszystkie te informacje możemy gromadzić i studiować dzięki licznym misjom i wyprawom (bezzałogowym) na Czerwoną Planetę. Odkrywanie Marsa wcale nie jest nowym tematem, ponieważ pierwsze wyprawy są datowane już na lata sześćdziesiąte, kiedy rozpoczęły się wyścigi radzieckich misji Marsnik oraz amerykańskich – Mariner. Niestety, pierwsze z nich zakończyły się niepowodzeniem. Pierwszą udaną misją był jednak Mariner 4. Ten statek kosmiczny w 1965 roku wysłał do ziemskiej centrali NASA 21 zdjęć Marsa. Później jego sukces powtórzyły także Mariner 6 i 7. Co ciekawe, wszystkie zdjęcia pokazywały powierzchnię Marsa, jakoby była podobna do Księżyca, tzn. obsiana kraterami, co dało o nim mylne wyobrażenie.

Równoległe ze Stanami Zjednoczonymi, marsjańskie podróże odbywał Związek Radziecki, którego pierwszym osiągnięciem, w 1971 roku, był lądownik, Mars 3. Jednak na powierzchni Marsa przetrwał tylko kilkanaście sekund.

Ale to Mariner, spędzając prawie rok na orbicie Marsa, pokazał nam jak naprawdę wygląda planeta, ujawniając burze piaskowe, wulkany oraz słynny ogromny kanion, jak go później nazwano, Valles Marineris.

W latach siedemdziesiątych NASA dalej świeciło triumfy, wysyłając Vikinga 1 oraz 2 – pary orbiterów



Valles Marineris

i lądowników. One pierwsze, przez kilka lat, badały powierzchnię i atmosferę. Jedno z ciekawszych odkryć dowodzi, że niektóre meteoryty, znalezione na Ziemi, pochodziły właśnie z Marsa.

Kolejną misją był Mars Global Surveyor, stacjonujący na Marsie od 1996 roku. Jego zadaniem, zakończonym zresztą sukcesem, było stworzyć mapę planety. Przy okazji, znaleziono wiele powierzchniowych śladów wody, która miała tam płynąć w przeszłości. Niestety w 2006 roku stracono z nim kontakt.

Inżynierskie innowacje w lądowniku Pathfinder oraz łaziku Sojourner, przerosły wszelkie oczekiwania pod względem czasu trwania misji. Marsa zwiedzały aż kilka miesięcy. Pathfinder jako pierwszy wykorzystał poduszki powietrzne do lądowania, co ochroniło go przed wstrząsami i twardym lądowaniem na powierzchni. Natomiast Sojourner był pierwszym pojazdem na Czerwonej Planecie.

Historia eksploracji Marsa sprawia wrażenie samych sukcesów, jednak poza wymienionymi misjami, było dużo więcej prób, które zwyczajnie do niego nie dotarły lub stracono z nimi kontakt.

Przełomowa era

Wiek XXI rozpoczął satelita Mars Odyssey, który znajduje się na orbicie Marsa od 2001 roku i tym samym jest najdłużej działającym urządzeniem w historii eksploracji tej planety. Jego zadaniem jest wspomaganie łazików znajdujących się na powierzchni, ale także prowadzi swoje badania. Między innymi zbadał poziom promieniowania na niskiej orbicie Marsa, co pomoże określić ryzyko zagrożenia zdrowia marsonautów. Poza tym wyznaczył cząsteczki i minerały jakie gromadzą się, tworząc powierzchnię Marsa oraz pomógł w odszukaniu wody w postaci lodu.

Przyszedł czas na działa Europejskiej Agencji Kosmicznej. Satelita Mars Express razem z lądownikiem Beagle 2 (nazwa Beagle 2 była inspirowana statkiem Charles'a Darwin'a, którym płynął, kiedy tworzył teorię ewolucji) wyruszyli 2003 roku, jednak Beagle stracił kontakt z Ziemią jeszcze przed lądowaniem. Mars Express zdołał przelecieć blisko księżycy Phobos, co przybliżyło do poznania jego pochodzenia. Innymi osiągnięciami są odkrycie zawartości metanu w atmosferze Marsa oraz przede wszystkim znalezienie możliwych



Opportunity

pokładów wody pod czapami lodowymi na południowym biegunie. Poza tym Mars Express jest wyposażony w jedno z najlepszych kamer, robiące zdjęcia bardzo wysokiej jakości. Misja jest planowana aż do roku 2020, ponieważ satelita ma wspierać kolejne przedsięwzięcie ESA, czyli nowego satelitę i nie wykluczone, że także łazika o nazwie ExoMars.

2003 rok był także przełomowy dla NASA, które wykorzystało budżet, wysyłając na Marsa dwa łaziki - Spirit i Opportunity. Głównym zadaniem Spirit było znaleźć dowody na jakikolwiek rodzaj wcześniejszej egzystencji. Bardzo szybko po lądowaniu znalazł ślady, które wpisują się w hasło przewodniczące misjom „Following the water” (podążając za wodą). Były to ślady węglanów i hematytu (tlenek żelaza II), które mogą znajdować się jedynie w środowisku, w którym jest dostęp do wody). Spirit ma na koncie także sukces innego rodzaju - jako pierwszy łazik „wspiął się” na szczyt na obcej planecie. W 2010 roku łazik utknął w powierzchniowych piaskach i stracono z nim kontakt, jednak należy przyznać, że mechanizm był bardzo wytrzymały, ponieważ w trakcie misji jedno z kół przestało działać, a mimo tego Spirit pracował jeszcze cztery lata.

Jego bliźniak, Opportunity potwierdził obecność hematytu w innym, odległym miejscu. Podążając za wodą, znalazł też kolejne minerały w skałach - siarczany, kryształy, chlor, brom. W jego przypadku również nie obyło się bez piaskowych przygód, bowiem łazik utknął na około miesiąc, po czym zdołał się wydostać, jednak stracił sprawność w jednym z kół, co nie przeszkodziło mu w dalszych działaniach. Dla łazików poważne zagrożenie stanowią, wspomniane już wielokrotnie, burze piaskowe, ponieważ zanieczyszczają one panele słoneczne, których używają do pobierania energii słonecznej. Ich zabrudzenie całkowicie to uniemożliwia. Tak stało się w przypadku Opportunity, z którym stracono kontakt w sierpniu 2018 roku. Jednak NASA nie traci nadziei na jego wielki powrót i wciąż czeka na sygnały.

Kolejnym satelitą na orbicie Czerwonej Planety, od 2006 roku, jest Mars Reconnaissance Orbiter. Znajduje on następne dowody na to, że woda była częścią struk-



Curiosity

tury Marsa w postaci wodorowego lodu pod powierzchnią oraz erupcji wulkanów. W 2014 roku wykonał także zdjęcia komety Comet Siding Spring, która przelatywała obok planety. Szuka on również miejsc, w których może zatrzymać się łazik Curiosity, o którym można przeczytać dalej w tym artykule.

W podobnym czasie na powierzchni wylądował także Phoenix. Łądownik ten badał powierzchnię oraz zbierał informacje przez kilka miesięcy, kończąc misję z sukcesem w 2008 roku.

Curiosity jest przedsięwzięciem największej jak do tej pory skali. Łazik wyróżnia się przede wszystkim rozmiarami (3 m x 2,8 m), waży 900 kg, a jego koła mają średnicę 50,8 cm. Można stwierdzić, że jest to jedyny tego rodzaju samochód terenowy. Wyzwaniem więc było posadzić go bezpiecznie na powierzchni. Zasilany jest radioizotopowym generatorem termoelektrycznym, cokolwiek to znaczy. W skrócie, mechanizm działania takiego silnika jest następujący: jedno złącze termopary znajduje się w pojemniku razem z radioaktywnym paliwem (pluton-238), a drugie przy części chłodzącej. Energia pochodząca z rozpadu radioaktywnego zmienia się w energię termiczną w wyniku zderzenia, tym samym ogrzewając drugi koniec termopary.

To laboratorium na kółkach jest też wyposażone w nowoczesne technologie, które pomagają mu przeprowadzić dokładniejsze badania, ponieważ tym razem NASA skupia się na tym, żeby poruszał się mniej, natomiast zbierał więcej próbek. Jego celem jest między innymi zarejestrować, jak zmieniał się marsjański klimat przez ostatnie lata oraz, co najważniejsze, czy w tym środowisku możliwe jest utrzymanie życia. Do tej pory Curiosity znalazł dodatkowe cząsteczki, które, razem ze znanymi nam już dzięki jego poprzednikom, dają podstawy do twierdzącej odpowiedzi. Obok siarki, azotu, wodoru i węgla są to także fosfor i tlen. Pojazd jest też w stanie rejestrować zmiany pogodowe i atmosferyczne, które pozwolą na przewidzenie warunków w przyszłości. A 5 sierpnia 2018 roku łazik obchodził swoje szóste urodziny na Marsie.

W tym czasie, na orbicie Marsa pojawiły się nowe, międzynarodowe satelity. W 2014 roku zagościł tam

indyjski Mars Orbiter Mission, który ma pozostać do 2020 roku oraz amerykański MAVEN - Mars Atmosphere and Volatile Evolution. Zadaniem MAVEN, jak nazwa wskazuje jest badanie atmosfery i tego w jaki sposób zmieniała się planeta. Natomiast w 2016 roku dołączył do nich ExoMars Trace Gas Orbiter, powstały w wyniku połączenia sił Europejskiej Agencji Kosmicznej i rosyjskiego Roscosmos. Satelita ten bada gazy atmosferyczne Marsa.

Najmłodszym dzieckiem NASA jest InSight, lądownik, który wylądował na marsie 26 listopada 2018 roku. Zabrał ze sobą nanosatelity typu CubeSat, co było pierwszym takim wyczynem, ponieważ do tej pory CubeSat'y dotarły jedynie do ziemskiej orbity. InSight pracuje w miejscu, nie przemieszczając się, bada wnętrze i jądro planety Mars. Urządzenie jest wyposażone w sejsmometr, który będzie mierzył trzęsienia, i parametry ruchów sejsmicznych. W tym projekcie także Polacy maczali swoje ręce - firma Astronika dostarczyła część, której zadaniem będzie wbicie się w powierzchnię na głębokość około 5 metrów i mierzyć będzie zmiany temperatury. Niech moc będzie w nim silna!

Patrząc jeszcze dalej w przyszłość, rok 2020 zapowiada się jako pełen nowych gości na Marsie. Oprócz NASA i ESA planują tam stacjonować Zjednoczone Emiraty Arabskie, Chiny i Japonia.

Dokonania te pokazują, że ludzkość coraz prężniej przygotowuje się na loty załogowe na Marsa, a agencje kosmiczne starają się dowiedzieć jak najwięcej o tej, coraz mniej tajemniczej planecie, aby zminimalizować ryzyko podróży i zagrożenia życia pierwszych marsonautów.

Plany kolonizacji Marsa

Wszystkie kwestie związane z kolonizacją wydają się być jeszcze w bardzo początkowym stadium, dopiero wykonywane są badania, które pozwalają nam poznać planetę. Jednak temat kolonizacji nie cichnie i projekt poparło już kilka, wiodących w sektorze kosmicznym, organizacji. Są to NASA, Roscosmos, Chińska Narodowa Agencja Kosmiczna oraz jednostki prywatne, czyli SpaceX, Mars One, Lockheed Martin czy Boeing.

Mars Semi-Direct

Mars Direct jest uważany za pierwszy realny projekt misji. Zyskał on bardzo dużą popularność i był wielokrotnie przywoływany i modyfikowany głównie przez NASA. Plan Mars Semi-Direct jest jedną z takich modyfikacji, która stała się bazą dla kolejnych idei. Plan misji rozpoczął się od startu bezzałogowej rakiety Ares wraz ze statkiem umożliwiającym powrót na Ziemię oraz narzędziami do produkcji paliwa na miejscu. Lot miałby trwać 180 dni. Jeśli produkcja paliwa się powiedzie, w kolejnym oknie startowym, czyli dwa lata później, ruszyłyby trzy kolejne rakiety: jedna z pomieszczeniami mieszkalnymi i sześcioma pierwszymi kolonizatorami oraz dwie z kolejnymi statkami powrotnymi.

Podczas podróży, miałyby zostać wytworzona sztuczna grawitacja poprzez przyłączenie modułów mieszkal-



Plan kolonizacji Marsa wraz z rakiętą BFR firmy SpaceX

nych do górnej części silnika, co wprowadziłoby je w rotację. Umożliwiłoby to redukcję efektów nieważkości na ludzkie ciało. Załoga spędzi 500 dni na Marsie, badając go i przygotowując do kolonizacji, po czym wróci na Ziemię.

Zaplanowane było kilka takich wypraw w celu upewnienia się, że kolonizacja jest możliwa, a na powierzchni planety znajduje się wszystko, co jest niezbędne do życia. Początkowy plan - Mars Direct przewidywał cztery osoby w załodze i tylko dwie rakiety startujące w drugiej fazie misji. Jest on szeroko opisany w książce „Czas Marsa. Dlaczego i w jaki sposób musimy skolonizować Czerwoną Planetę”, napisanej przez Roberta Zubina i Richarda Wagnera, pomysłodawców projektu.

SpaceX

Do tej pory rakiety wykorzystywane w misjach kosmicznych były jednorazowe i mieściły kilkanaście osób. Myśląc o kolonizacji, trzeba wziąć pod uwagę pieniądze, bo przeciętnego człowieka nie stać na zapłacenie bilionów dolarów za bilet na Marsa. Na tym też skupił się Elon Musk, dyrektor firmy SpaceX i Tesla. Jego założeniem jest wykorzystanie rakiet, które miałyby działać jak samoloty - polecieć na Marsa, zostawić tam ludzi i wrócić na Ziemię po kolejnych. Tak właśnie działać ma rakietą BFR - Big Falcon Rocket, mieszcząca ponad 100 osób, już budowana przez firmę.

Misja, jak przyznaje założyciel, jest bardzo ambitna, ponieważ pierwsze dwie rakiety z ekwipunkiem, na razie bez ludzi, mają lecieć już w 2022 roku. Ich zadaniem będzie też znaleźć najlepsze źródło wody. Następnie, dwa lata później miałyby wylecieć aż cztery takie statki - dwa z kolejną częścią wyposażenia i pozostałe dwa, uwaga, z pierwszymi kolonizatorami. Tyle transportów powinno wystarczyć na przewiezienie materiałów, z których można wybudować fabrykę produkującą paliwo na miejscu, kopalnię oraz cały niezbędny sprzęt do wydobywania wody i uzyskania dwutlenku węgla z atmosfery. Wtedy już zostanie tylko iść za ciosem i dążyć do budowania miast i cywilizacji.

Wracając do rakiety BFR, Mars nie jest jej jedynym przeznaczeniem. We wrześniu 2018 roku, Musk wyjawiał pierwszą osobę, która jako turysta, ma wylecieć w podróż dookoła Księżyca w 2023 roku właśnie tą maszyną. Jest

to Japończyk Yusaku Maezawa, a planuje zabrać ze sobą architektów i malarzy, którzy wykorzystają tę szansę jako inspirację do prac. Ale to nie koniec pomysłów. Skoro mamy już rakiety, wielokrotnego użytku, czemu nie można ich wykorzystać do przemieszczania się z jednego końca Ziemi na drugi w 35 minut? Dokładnie tak przedstawia się plan Musk'a. Myślę, że mogą śmiało to stwierdzić, jednego z najśmielszych ludzi na naszej planecie, a już niedługo, nie tylko na naszej.

Mars One

Drugim prywatnym projektem jest Mars One. W porównaniu z propozycją SpaceX, misja ta jest rozszerzona o własne badania, które mają rozpocząć się w 2022 roku. Mianowicie, ma być to misja próbna, potwierdzająca bezpieczeństwo przelotu i lądowania oraz sposób wydobycia wody. Dwa lata później na marsjańskiej orbicie ma pojawić się satelita ułatwiająca komunikację między Marsem a Ziemią. Następnie pojawi się drugi satelita, a na powierzchni Marsa ma znaleźć się łazik z przyczepą, który znajdzie odpowiednie miejsce do kolonizacji i przygotowuje je do lądowania kolejnych misji, już z ekwipunkiem. Sześć statków, w tym: jeden z drugim łazikiem, dwa z aneksami mieszkalnymi, dwa z wyposażeniem niezbędnym do przetrwania i jeden z zapasami, ma wylecieć już w 2029 roku. Łaziki rozpoczną przygotowania - pobranie i przechowywanie wody, która będzie wyparowywana z gleby oraz część tej wody będzie wykorzystana do produkcji tlenu. Pierwsza załoga postawi stopy na Czerwonej Planecie w 2031 roku, gdzie będą się aklimatyzować, a następnie powitają kolejne dwie grupy osób. W tym samym czasie nadal będą dolatywać kolejne statki z niezbędnym wyposażeniem.

Projekt Mars One

Jest to tylko kilka przykładowych i najpopularniejszych projektów, natomiast wiele pomysłów, z czasów, kiedy myśl o wyprawie na Marsa była odległym marzeniem, można znaleźć też w książkach science-fiction, jak „The Martian Way” Isaac’a Asimov’a czy „The Desolation Road” Ian’a McDonald’a. Poza nimi, warto też zwrócić uwagę na misję Mars Base Camp, propozycję firmy Lockheed Martin, która ma w planach umieścić statek - laboratorium, wraz z sześciuosobową załogą, na orbicie Marsa.

Rosjanie wraz z ESA i Chinami z drugiej strony, zajęli się symulacją kolonizacji w ramach eksperymentu Mars-500, w której brano pod uwagę lot, lądowanie, spacer po powierzchni. Wzięło w niej udział sześć osób, nie tylko kosmonauci, ale także zwykli Ziemianie. Na tą potrzebę został zbudowany cały kompleks, w którym zawarto wszystkie aspekty życia na Marsie. Miało to na celu zbadanie przede wszystkim ludzkiej psychiki.

Oprócz tego eksperymentu, w marsjańskiej tematyce, ESA nie pozostała bez słowa i stworzyła swój program Aurora. Jest to wieloletni program eksploracji Marsa przy pomocy robotów oraz w przyszłości, ludzkich rąk. Lot na Czerwoną Planetę z przystankiem na Księżycu jest jedną z koncepcji organizacji.



Marsjańska moda

Mars jednak wcale nie różni się od Ziemi aż tak, pod jeszcze jednym względem. W jednym i drugim przypadku nie byle jak „wychodzi się na ulicę”. Zmieniają się tylko parametry wyboru stroju codziennego. Projektując kombinezony wykorzystywane przez astronautów zwraca się szczególnie uwagę na szczelność materiału i połączeń (np. pomiędzy rękawami a rękawicami), wytrzymałość na uderzenia i rozerwania, a do tego wszystkiego musi być wygodny. Chociaż może nie do końca wygodny, ale umożliwiający poruszanie się. Poza tym posiada instalacje, które zapewniają odpowiednie ciśnienie, temperaturę i poziom tlenu wewnątrz kombinezonu. Gdyby tak nie było, podczas „spaceru”, organizm astronauty ugotowałby się, dosłownie. Musi on więc chronić przed promieniowaniem, temperaturą, brakiem tlenu i różnymi mikro obiektami latającymi w kosmosie, jak np. mikroasteroidy. Z tych wszystkich czynników składa się napompowany balon, do którego można porównać przedmiot naszej uwagi. Do tej pory astronauta skarżyli się też na rękawice, którymi ciężko jest cokolwiek złapać, bo, tak jak reszta kombinezonu, są napełnione powietrzem. Takie warunki zapewniają materiały, z których jest on wykonany: neopren, gore-tex, dakron i kevlar.

Ale wracając do Marsa, praca tam będzie trudniejsza i bardziej wymagająca niż kosmiczne i księżycowe spacer. Dlatego też kombinezony powinny być lżejsze i bardziej przystosowane do chodzenia czy schylania się, co więcej, powinny bardziej przypominać zwyczajne ubranie, bo zapowiada się na to, że jego użytkownicy spędzą w nim więcej czasu. Tutaj też warunki są nieco odmienne - pył, burze piaskowe i promieniowanie wymagają stworzenia nowej kolekcji. Specjalnie na tę potrzebę NASA przedstawiło, prosto z filmów science-fiction wzięty, skafander Z2. Odnacza się on nie tylko stylem, ale posiada wszystkie niezbędne instalacje i funkcje, jak system wentylacji, który reguluje temperaturę, także w razie przegrzania w czasie pracy oraz czujniki i lokalizator GPS, które, w razie wypadku, poinformują o nim pozostałych członków załogi. Nawet taki skafander kosmiczny, pokazuje jak ważne jest dopracowanie każdego elementu misji.

Co dalej?

Wiemy już jakie są warunki na Marsie, mamy załogę, mamy czym lecieć, mamy nawet skafandry i zapasy. Do-
lecieliśmy na naszą nową Ziemię, rozstawiliśmy sprzęt
wraz z niezbędnymi do życia instalacjami, robimy bada-
nia i... Właśnie, co dalej?

Zastanówmy się jak powstawały miasta dawno, dawno
temu. Zapasy się kiedyś skończą, więc, w miarę możliwo-
ści trzeba wybudować szklarnię i zacząć hodować jadalne
rośliny, znowu przywołując film „Marsjanin”, najłatwiej
byłoby z ziemniakami. Od czegoś trzeba zacząć.

Ludzie wymagają też przywódcy, a więc wybory, co za
tym idzie, trzeba wybrać osoby odpowiedzialne za każ-
dą sferę kolonizacji. Tak powstaje swoisty rząd, a dalej
gospodarka i zanim się obejrzymy mamy już całe mia-
sto i cywilizację, a nawet Internet. Tak, kwestia Internetu
w kosmosie też jest poruszana.

A co ze zwierzętami? One też kiedyś postawią swoje
łapy, łapki, kopyta i inne kończyny na Czerwonej Plane-
cie? W skafandrach? Muszę przyznać, że z niecierpliwo-
ścią czekam na pocztówkę z Marsa, albo chociaż selfie.

Mars w Polsce

W trakcie oczekiwania na relację na żywo z pierwsze-
go lądowania na Marsie, polecam śledzić wydarzenia, od-
bywające się w Polsce, które mają na celu popularyzację
jego eksploracji i kolonizacji. Są to na przykład:

- European Rover Challenge - coroczne zawody ła-
zków konstruowanych przez zespoły studentów z całego
świata. Zadaniem jest prezentacja łoża, sterowanie i po-
branie oraz analiza próbek. Od 2014 roku odbywają się
w Polsce.

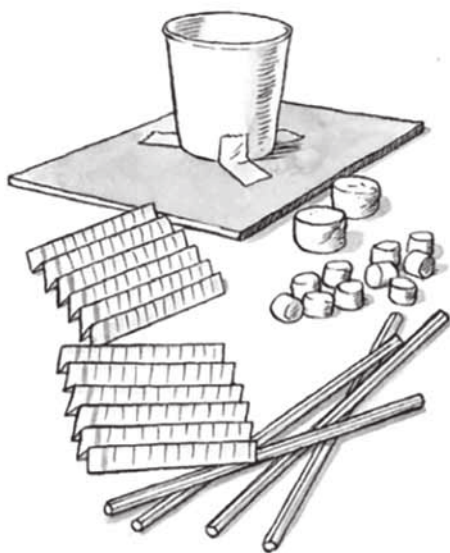


Skafander Z2

- Poland Mars Analogue Simulation 2017 - w miejsco-
wości Rzepiennik Biskupi została utworzona baza symu-
lująca warunki na Marsie, w której, przez dwa tygodnie,
przebywało sześciu naukowców z Puerto Rico, Izraela,
USA, Francji, Hiszpanii i Nigerii. Centrum kontroli misji
znajdowało się w Toruniu. Eksperyment miał na celu psy-
chologiczne przetestowanie wolontariuszy pod względem
ich zachowania w izolacji i marsjańskich warunkach.

Nie pozostało nam nic, tylko patrzeć w górę i czekać,
albo włączyć się w kolonizację Marsa i od wewnątrz oglą-
dać nowy rozdział w historii człowieka. Wybór należy do
każdego z nas.

Anna Janeczek



Bezpieczne lądowanie, czyli budowa lądownika z systemem amortyzującym

Aby bezpiecznie wylądować na Księżycu czy Marsie potrzebny jest bardzo
dobry system amortyzujący wstrząsy i twarde lądowanie. Sprawdź się jako in-
żynier konstruktor i zbuduj własny lądownik!

Potrzebne będą następujące materiały:

- | 2 kawałki kartonu o wymiarach 10x13 cm
- | plastikowy kubeczek
- | 2 kawałki papieru rysunkowego o wymiarach 8x13 cm
- | 4 plastikowe słomki
- | astronauta - z żelkowych pianek lub czegośkolwiek zechcesz
- | taśma

W otwartym kubeczku ma znajdować się astronauta.

Podpowiedź: z kawałków papieru zrób „harmonijki”, które pomiędzy karto-
nami, będą służyły jako amortyzacja.

Trudność polega na tym, że wypuszczając z rąk gotowy lądownik z wysoko-
ści około 1 metra, astronauta nie może wypaść ze statku.

Dobrej zabawy!

W następnym numerze

Zobaczyć osobiście czarnej dziury i przeżyć

Szczególna teoria względności odwołuje się do czwartego wymiaru jakim jest czas. Geometryczne wyobra-
żenie czwartego wymiaru stanowi dla człowieka naturalną trudność, ale czerpanie z pewnych analogii lub
rzutowanie na 3D pozwala ją w pewien sposób rozwiązywać.



Rocznik 2018
teraz 60% taniej

Szczegóły na: www.aspress.com.pl

eprasa.pl/a7c2d382d9

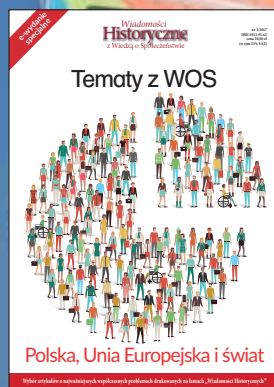
Wydania specjalne

(wersje elektroniczne – pliki PDF)

2018



2017



2016

