

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

358 (LXIII) indeks 35810X Nr 5 wrzesień/październik 2018 CENA 27,50 zł (w tym 5% VAT)

Astronomiczne wydarzenie roku

Zaćmienie Księżyca



RÓWNIA POCHYŁA

– staczanie się ciał
o symetrii cylindrycznej



Kwantowa natura grawitacji

NEWTON i ŚWIATŁO

Elektryczne własności
atmosfery ziemskiej

Wydmy na Ziemi i nie tylko...



Odkrycia w praktyce!



- ✓ Jak i dlaczego działa GPS?
- ✓ Jak wykorzystuje się niezwykle właściwości nanocząstek?
- ✓ Jak się numerycznie prognozuje pogodę?
- ✓ Jak z kwiatów czerpać energię elektryczną?
- ✓ Jak się bada ludzki mózg?
- ✓ Jak fizycy leczą raka?

Wydanie specjalne
w wersji elektronicznej
(plik PDF)

Tylko 15 zł!

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

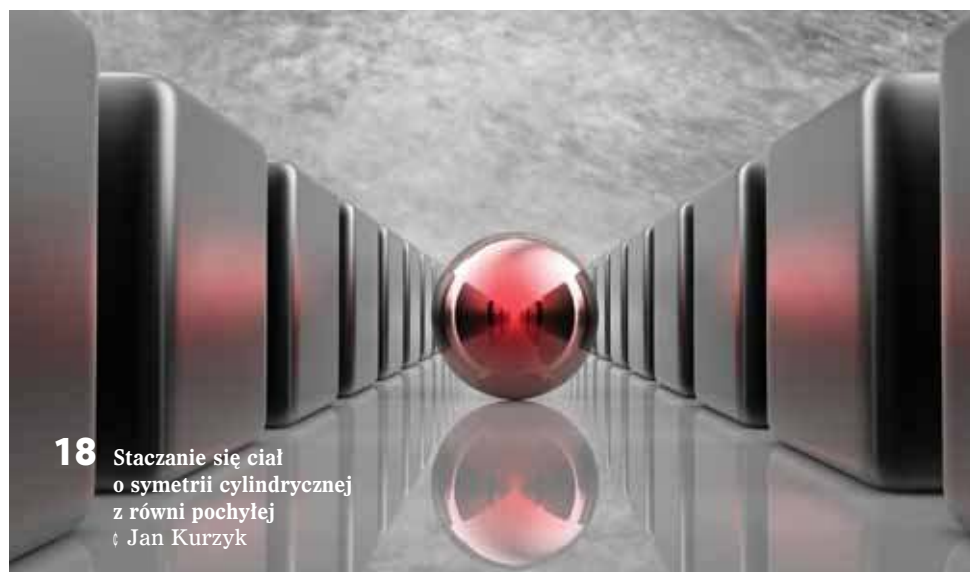
Drodzy Czytelnicy!

Mamy zaszczyt przekazać Państwu piąty numer „Fizyki w Szkole”. Jest to numer jesienny. A to oznacza, że wakacje są już tylko wspomnieniem i nastał czas nauki.

Jednym z najważniejszych problemów procesu dydaktycznego fizyki jest fakt, że fizyka, delikatnie rzecz ujmując, nie jest jednym z najbardziej lubianych przedmiotów. W tym numerze postanowiliśmy się przyjrzeć temu problemowi bliżej. Kwestii poprawy nastawienia uczniów do fizyki poświęcone są aż trzy artykuły. Pierwszy jest to artykuł Piotra Sawińskiego, w którym to autor zajmuje się głównie psychologicznymi aspektami procesu dydaktycznego i kwestiami metodycznymi. Drugi artykuł to artykuł Pani Alicji Szymańskiej, w którym to autorka zwraca uwagę na fakt, że zainteresowanie naukami ścisłymi należy rozbudzać już w wieku kilku lat. Zwraca ona też uwagę na fakt, że fizyka jest nauką eksperymentalną, tak więc kwestia organizowania pokazów na lekcjach fizyki jest niezwykle ważna. Zaprezentowano w tym artykule kilka możliwych do wykonania eksperymentów, które z pewnością będą w stanie wzbudzić zainteresowanie u młodych adeptów fizyki. Trzeci tekst Marcina Brauna zawiera informacje o tym, co w fizyce jest dla uczniów najłatwiejsze.

Oczywiście nie tylko kwestie dydaktyki są obecne w tym numerze. Nie mogło zabraknąć też tematów astronomicznych. Tematyce tej poświęcone są dwa artykuły. Pierwszy – niedawnemu zaćmieniu Księżyca, które to zaćmienie słusznie zostało określone astronomicznym wydarzeniem roku. Drugi artykuł to artykuł Jana Rokity poświęcony najdalszym zakątkom Układu Słonecznego. Numer, który mają Państwo w ręku zawiera też inne treści, tak więc głęboko wierzymy, że każdy znajdzie w nim coś dla siebie. Tradycyjnie życzę Państwu w imieniu całej redakcji miłej lektury.

Redaktor prowadzący
Zbigniew Wiśniewski



18 Staczanie się ciał
o symetrii cylindrycznej
z równi pochyłej
† Jan Kurzyk

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

- 4** Coraz bliżej zbadania kwantowej natury grawitacji
† Marcin Majka
- 6** Izaaka Newtona teoria korpuskularna światła
† Henryk Piersa
- 11** Świat opisany rysunkiem † Józef Szewczyk
- 12** Termodynamika: główne koncepcje i etapy rozwoju. Cz. 2. Energia i entropia
† Alfred Zmitrowicz

Z naszych lekcji

- 17** Co w fizyce jest najłatwiejsze? † Marcin Braun
- 26** Jak poprawić nastawienie do uczenia się fizyki?
† Julian Piotr Sawiński
- 30** Czym skorupka za młodu..., czyli jak uczyć fizyki najmłodszych i trochę starszych
† Alicja Szymańska
- 34** Elektryczne własności atmosfery ziemskiej
† Andrzej Wasiak

Astronomia dla każdego

- 38** Zaćmienie Księżyca 27.07.2018. Astronomiczne wydarzenie roku † Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski, Zenon Sacharczuk
- 42** Wydmny na Ziemi i nie tylko, czyli fizyk na wakacjach
† Zbigniew Wiśniewski



- 46** Poddasze Układu Słonecznego – cz. 1. † Jan Rokita

FIZYKA
w Szkole z Astronomią

NUMER 5 WRZESIEŃ/PAŹDZIERNIK 2018 Nakład 3000 egz. CENA 27,50 zł
3576 (LXI) indeks 35810X ISSN 0426-3383 (w tym 5% VAT)

Komitet redakcyjny Krystyna Jabłońska-Lawńczak, Jerzy Kreiner, Andrzej Majhofer (Przewodniczący Komitetu), Zygmunt Mazur, Andrzej Szymacha, Mirosław Trociuk
Redakcja Zbigniew Wiśniewski (redaktor prowadzący – fizykas@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: Fotolia.

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

Coraz bliżej zbadania kwantowej natury grawitacji

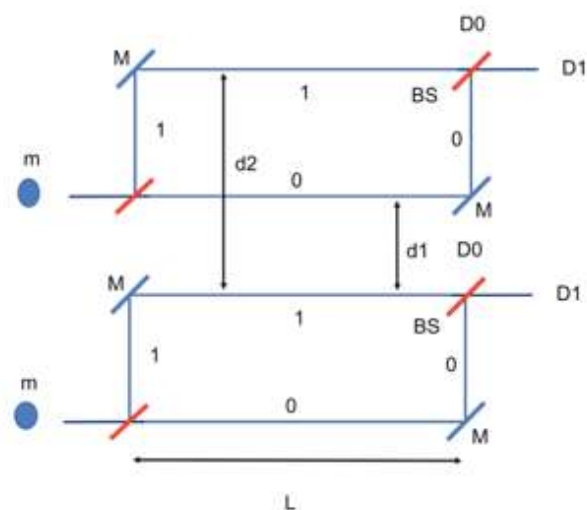
Marcin Majka

Nieuchwytna, pozornie nieistniejąca kwantowa natura grawitacji może wreszcie zostać zademonstrowana eksperymentalnie. Dwie niezależnie pracujące grupy naukowców z Wielkiej Brytanii: pierwsza pod przewodnictwem Chiara Marletto z Uniwersytetu w Oksfordzie oraz druga kierowana przez Sougato Bose z University College London, zaproponowały eksperymenty, które mogą po raz pierwszy ujawnić związek między teoriami mechaniki kwantowej a ogólną teorią względności.

W różnych dziedzinach nauki, mechanika kwantowa oraz ogólna teoria względności Einsteina działają bardzo dobrze, bez względu na to, jakie problemy mają do rozwiązania fizycy. Jednak niektóre wychodzące z nich zasady fizyczne wydają się być zasadniczo niezgodne ze sobą. Lekarstwem na te i inne bolączki ma być zunifikowana teoria kwantowej grawitacji, która stara się połączyć mechanikę kwantową z ogólną teorią względności Einsteina. Największym problemem jest bardzo mała siła z jaką oddziałuje grawitacja w porównaniu do innych sił przyrody. Nawet siła elektrostatyczna pomiędzy dwoma elektronami jest w stanie przewyższyć o kilka rzędów wielkości siłę grawitacji między dwoma obiektami o masie jednego kilograma.

Niemożliwy test

Jak dotąd, teorie dotyczące kwantowej natury grawitacji wydawały się praktycznie niemożliwe do zbadania. Wszystkie teorie począwszy od grawitonów, które przenoszą pole grawitacyjne w podobny sposób jak fotony



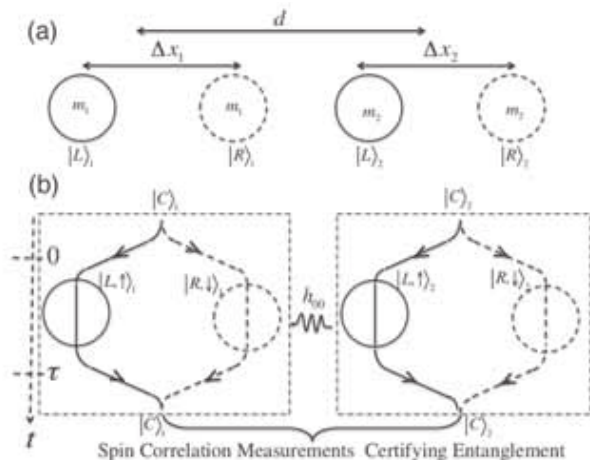
Rys. 1. Układ interferometrów dwóch identycznych mas (m) zaproponowany przez zespół Chiara Marletto. Interferometry mają długość L oraz poszczególne ścieżki oddalone są od siebie o d_1 i d_2 . Oznaczenia: M (mirror) – lustro, BS (beam splitter) – zwierciadło półprzeźroczyste, Di (detector) – detektor wiązki i -tej, gdzie $i = 0, 1$ [2].

pole elektromagnetyczne, skończywszy na teorii strun czy też pętlowej grawitacji kwantowej, pozostają jedynie w sferze spekulacji.

Pierwsze kroki niezbędne do opracowania eksperymentu zbadania grawitacji kwantowej podjął Richard Feynman [1]. Zaproponował on eksperyment myślowy, w którym badana masa jest wprowadzana w stan superpozycji dwóch różnych lokalizacji, a następnie wprowadzana jest w interakcję z polem grawitacyjnym. W wyniku tej interakcji następuje splątanie masy i pola. Gdyby więc

dwa stany przestrzenne masy mogłyby interferować ze sobą, to w konsekwencji, interferencja przywróciłaby z powrotem masie pojedynczy dobrze określony stan położenia przestrzennego. Sprzężenie z polem grawitacyjnym zostałoby w konsekwencji odwrócone, pokazując, że grawitacja jest spójnie sprzężona z badanym układem kwantowym. Feynman miał nadzieję, że ten eksperyment potwierdzi kwantową naturę pola grawitacyjnego.

Zespół prof. Marletto uważa, że zaproponowany przez Feynmana eksperyment nie jest dość dokładny dla takiego subtelного oddziaływania jakim jest grawitacja kwantowa [2]. Naukowcy uważają, że interferencja dwóch stanów przestrzennych masy mogłaby wystąpić nawet w obecności klasycznych pól grawitacyjnych. Zatem, eksperyment Feynmana nie udowodniłby, że masa i pole zostały splątane, chyba, że splątanie można byłoby obserwować bezpośrednio. Dlatego pole grawitacyjne nie musi być skwantowane. Pozostaje pytanie otwarte: jaki dokładnie atrybut mierzonej masy należy zbadać, aby zaobserwować kwantową naturę pola grawitacyjnego?



Rys. 2. Układ dwóch sąsiadujących interferometrów do badania kwantowej natury grawitacji, zaproponowany przez zespół Sougato Bose: (a) Dwie masy znajdujące się obok siebie, będące w superpozycji zlokalizowanych przestrzennie stanów $|L\rangle$ i $|R\rangle$. (b) sąsiadujące interferometry, w których początkowy stan $|C\rangle$ badanych mas jest rozdzielany w zależności od spinów do stanów $|L\rangle$ oraz $|R\rangle$. Ewolucja w ramach wzajemnego oddziaływania grawitacyjnego przez pewien czas τ splata badane masy poprzez nadanie odpowiednich faz składowym superpozycji. To splątanie może wynikać jedynie z wymiany „mediatorów” kwantowych, przy założeniu, że wszystkie oddziaływania poza grawitacyjnym są nieobecne (h_{00} oznacza słabe oddziaływanie grawitacyjne między masami). Splątanie wykazujące skwantowaną grawitację można zweryfikować, mierząc korelację spinów między interferometrami. m_1 i m_2 – badane masy, d – odległość między badanymi masami, Δx_1 i Δx_2 – dystans między stanami przestrzennymi $|L\rangle$ i $|R\rangle$ [3].

Splątanie dwóch mas

Zespoły Bose i Marletto uważają, że ich propozycje stanowią ulepszenie pomysłu Feynmana. Opierają się one na sprawdzeniu, czy masa może zostać splątana z drugą identyczną masą w wyniku działania na nie polem grawitacyjnym. W tym celu obie masy przygotowano przy użyciu dwóch przylegających do siebie, identycznych interferometrów. Urządzenia te są zwykle używane do dzielenia fal świetlnych na osobne wiązki, które następnie mogą ulegać zaburzeniu. Jednak, kiedy

bardzo małe masy zostaną wprowadzone do interferometrów, ich kwantowe funkcje falowe mogą zostać rozdzielone oraz poddane interferencji. Zespół Marletto widzi w tym momencie problem związany z samą naturą eksperymentu. Mianowicie naukowcy uważają, że każdy układ, który ma pośredniczyć w splątaniu dwóch układów kwantowych, sam musi też być kwantowy [2]. Natomiast zespół Bosego w swoim artykule, rozszerza omawiany eksperyment o szczegóły związane z użyciem dwóch stanów spinowych, aby utworzyć przestrzenną superpozycję mas [3].

Oba zespoły zdały sobie sprawę z tego, że jeśli pole grawitacyjne ma prawdziwie kwantowy charakter, to przyciąganie grawitacyjne między dwiema masami spowodowałoby ich splątanie. Jednak ten stan splątania trwałby tak długo aż masy nie opuściłyby interferometrów. Podobnie jak w eksperymencie Feynmana, pierwsza masa może zostać splątana z polem grawitacyjnym. Jednak tu, w przeciwieństwie do eksperymentu Feynmana, nie jest wymagana interakcja z polem grawitacyjnym, dopóki druga masa będzie używana jako „świadek” kwantowych własności pierwszej masy. Pozwoliłoby to udowodnić, że klasyczne pola grawitacyjne nie mogą być odpowiedzialne za interferencję mas.

Niepożądany efekt

Zarówno zespół Bosego jak i Marletto przyznają, że postawione przez nich wyzwania eksperymentalne, w świetle obecnych braków technologicznych, nie dają gwarancji sukcesu. Jeśli eksperymenty nie zostaną przeprowadzone wystarczająco starannie, inne mocniejsze siły, jak Casimira, Van der Waals lub dowolne niechciane interakcje elektromagnetyczne, mogą naśladować pożądane przez badaczy skutki grawitacji, powodując splątanie mas. Równie dobrze badane masy mogą nie ulec splątaniu nawet jeśli przyjmemy, że pole grawitacyjne jest skwantowane. Wszystko dlatego, ponieważ natura grawitacji kwantowej może się okazać jeszcze bardziej subtelniejsza niż przewidują to naukowcy. Oznaczałoby to w konsekwencji, że zaobserwowanie splątania nie byłoby jednoznacznym dowodem na kwantową naturę pola grawitacyjnego. Należy jednak być dobrej myśli, że proponowane przez zespoły Bosego i Marletto eksperymenty udowodnią kwantową naturę pola grawitacyjnego. Z drugiej jednak strony, naukowcy zdają sobie sprawę, że jeżeli ich eksperymenty zadziałają, to nadal nie rozstrzyganą sporu o to, która z wielu konkurencyjnych teorii kwantowej grawitacji jest poprawna.

Marcin Majka

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

LITERATURA

- [1] R. Feynman, in Chapel Hill Conference Proceedings (1957)
- [2] C. Marletto and V. Vedral, Gravitationally Induced Entanglement between Two Massive Particles is Sufficient Evidence of Quantum Effects in Gravity, Phys. Rev. Lett. 119, 240402
- [3] S. Bose, A. Mazumdar, G. W. Morley, H. Ulbricht, M. Toroš, M. Paternostro, A. A. Geraci, P. F. Barker, M. S. Kim, and G. Milburn, Spin Entanglement Witness for Quantum Gravity, Phys. Rev. Lett. 119, 240401



Izaaka Newtona teoria korpuskularna światła

Henryk Piersa

Już Heron z Aleksandrii łączył prostoliniowy ruch światła z najszybciej przebytą drogą. Prawdopodobnie już w starożytności znane było odwzorowanie przedmiotów w zwierciadłach wklęsłych i soczewkach. Około roku 1299 Salvino degli Armati wynalazł okulary¹, natomiast w roku 1621 W. Snell odkrył prawo załamania, a w 23 lata później uzasadnił je teoretycznie R. Descartes. W tym samym czasie P. Fermat sformułował zasadę najkrótszej drogi optycznej.

Wiek XVII należy uznać za okres, w którym intensywnie zaczęła rozwijać się nowożytna fizyka, w tym i optyka. W badanie światła zaangażowali się Fr. Grimaldi (1618-1663), R. Boyle (1627-1691), Ch. Huygens (1629-9165), R. Hooke (1635-1703), O. Römer (1644-1710) i Izaak Newton (1646-1727). Na to stulecie przypadają początki kształtowania się zarówno teorii falowej, jak i korpuskularnej światła. O ile za pierwszą teorią mniej lub bardziej wyraźnie opowiadało się kilku z wymienionych badaczy, teoria korpuskularna jest dziełem jednego uczzonego – Izaaka Newtona. Jego dziełu poświęcony jest ten artykuł.

Teoria ta przedstawiona będzie na podstawie dwu pozycji książkowych: *Newton* Mariana Grotowskiego (trzy części wydane w latach 1932-33) i Sergieja I. Wawilowa *Izaak Newton*, 1952². Grotowski optyce poświęca czwarty rozdział pierwszej części (*Teoria barw*) i rozdział dziewiąty części trzeciej³ (wydanie *Optyki* z Cambridge i Londynu). Wawilow – od rozdziału IV (*Teleskop zwierciadlany Newtona i Towarzystwo Królewskie w Londynie 1668-1672*) do VII („*Optyka*” Newtona). Prace z optyki obydwaj autorzy wkomponowali w życiorys Newtona.

W artykule omówiono prace Newtona z optyki, hasła: eter, światło i barwy światła oraz opisy i próby eksplikacji (na gruncie teorii korpuskularnej) zjawiska interferencji w cienkich płytkach, dyfrakcji i podwójnego załamania światła w kryształach.

Podobnie jak w pracy Grotowskiego, nie podjęto prób oceny przyjmowanych hipotez i przeprowadzanych przez Newtona rozumowań.

Prace Newtona z optyki

Badania doświadczalne z optyki Newton rozpoczął w roku 1666 jako młody uczony. Rezultatem kilkuletnich doświadczeń (pracy eksperymentalnej) był reflektor. W latach 1669-71, Newton prowadził *Wykłady z optyki*. Notatki z *Wykładów* nie ukazały się za życia autora. Jako świeżo przyjęty członek Towarzystwa Królewskiego, w roku 1672 przedłożył pracę *New Theory about Light and Colours*, owoc swoich sześcioletnich badań. *Nowa teoria* nie zawierała całej tematyki *Wykładów*. Praca składała się z dwu części *O załamaniu się promieni świetlnych* i *O pochodzeniu barw*. W pierwszej części autor omawiał związek między wielkością załamania promieni świetlnych a ich barwą, w drugiej części przedstawiał „genezę” barw (51).

W roku 1675 do Towarzystwa Królewskiego Newton przesłał następną rozprawę, *Theory about Light and Colours*, poświęconą opisowi barw powstałych w wyniku interferencji w cienkich płytkach, cienkich warstwach powietrza i płynów.

Po około 30-tu latach, za namową przyjaciół, ukazała się *Opticks, or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflexions and Colours of Light* – swego rodzaju Newtona Principia optyki.

¹ Max von Laue, *Historia fizyki*, Warszawa 1957, s. 54n.

² Marian Grotowski (1882-1951) był profesorem fizyki w Politechnice Warszawskiej w latach 1916-22; w latach 1921-39 w Wolnej Wszechnicy Polskiej; w latach 1946-51 w Uniwersytecie Łódzkim. Jest autorem dwu biografii: *Michał Faraday, jego życie i dzieło*, 1928, *Newton*, Poznań-Warszawa-Wilno-Lublin, cz. I – 1932, cz. II i III – 1933. Sergiej I. Wawilow (1891-1951) rosyjski fizyk, w latach 1920-1939 profesor fizyki w Wyższej Szkole Zootechnicznej w Moskwie; 1929-32 w Uniwersytecie Moskiewskim. Od roku 1932 dyrektor Instytutu Fizyki Akademii Nauk ZSRR. Autor prac z optyki, m.in. fluktuacji światła o natężeniu poniżej wrażliwości oka.

³ Cyfry rzymskie oznaczają część, arabskie – stronę w dziele Grotowskiego. Cyfry arabskie oznaczają też strony w książce Wawilowa. Litera P z cyframi arabskimi (np. P19) oznacza numer pytania w *Optyce* Newtona.

Wawilow określił dzieło jako księgę doświadczeń i hipotez (105). Dwie pierwsze księgi omawiają tematykę prac ogłoszonych w latach 1672 i 1675. W księdze trzeciej omawia autor doświadczenia interferencyjne z wykorzystaniem płytek nieco grubszych niż w doświadczeniach wcześniejszych. Księgę kończy zestaw pytań (tzw. *quaestiones*). Niektóre z tych pytań mają bardzo niewiele albo nic zgoła wspólnego z optyką.

Eter

Podobnie jak inni fizycy, także Newton postulował istnienie eteru. Przypisywał mu wpływ na różne zjawiska fizyczne i chemiczne: utrudnianie oddalania się planet od Słońca i podtrzymywanie jego świecenia. Przypuszczał, że przy pomocy eteru będzie można wyjaśnić oddziaływania elektrostatyczne ładunków, siłę ciężkości, łączenie cząstek w większe ciała i wiele innych zjawisk, wymienionych w liście do R. Boyle'a z 1679 roku (114-115). Nas interesować będą własności eteru, głównie te, które wykorzystywał autor *Optyki* przy eksplikacji zjawisk optycznych.

Według Newtona eter miał być ośrodkiem podobnym do powietrza, tylko rzadszy, niejednorodny i o wiele bardziej sprężysty.

„Podobnie jak powietrze atmosferyczne, składa się z wilgotnego (*phlegmatic*) powietrza zmieszanego z różnymi parami i wyziewami, eter stanowi mieszaninę... wilgotnej (*phlegmatic*) substancji i różnych płynów eterycznych” (I, 130-131).

W pustej przestrzeni jego gęstość miała być większa niż w ciałach materialnych (III, 58)⁴. Zdaniem Newtona, przy zbliżaniu się (w powietrzu) do ciała stałego, gęstość eteru powinna stopniowo wzrastać. O tym wzroście miało znaczyć uginanie się promieni świetlnych w pobliżu przeszkody uginającej (P20). Nie wyjaśnia jednak uczyony, co się dzieje z gęstością eteru na granicy ciała stałego. Czyżby gęstość gwałtownie zmniejszała się do wartości gęstości, charakterystycznej dla ciała stałego?

Podobnie jak powietrze, eter może być pobudzany do drgań. Ponadto, eter posiada takie własności, jak „przyleganie, spójność, a nawet kurczenie mięśni zwierzęcych” (!) (I, 132). O istnieniu eteru miały świadczyć (nazywane „wypływami” – HP.) pola elektryczne, magnetyczne oraz grawitacyjne („zasada powodująca ciężkość”).

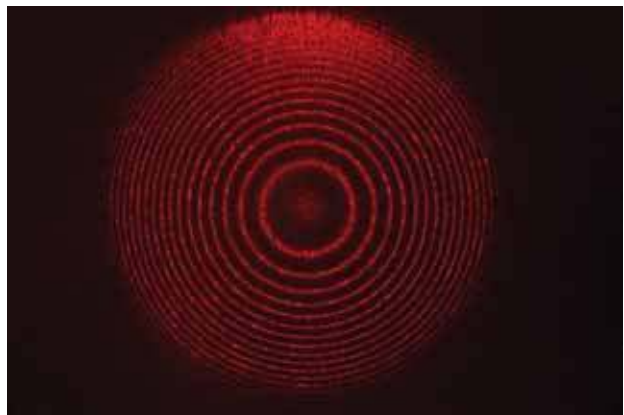
Światło

Według Newtona „Światło... nie jest ani eterem, ani drgającym ruchem eteru, lecz czymś, co na różne sposoby rozchodzi się ze świecącego ciała. Można je uważać... jako ilość niedostrzegalnie małych i szybkich ciałek o rozmaitych kształtach, wysyłanych przez ciało świecące na duże odległości jedno po drugim, ale bez dostrzegalnych przerw i poruszanych przez zasadę ruchu...” (I, 132).

Przemieszczające się w przestrzeni lub w ciałach przezroczystych z niewyobrażalnie dużą prędkością, po to-



Barwy widmowe w tęczy obserwował już człowiek pierwotny



Interferencja laserowa

rach prostoliniowych, cząstki tworzą promienie świetlne. Newton przyjmuje, „że światło składa się z promieni, mogących różnić się między sobą przypadkowymi własnościami, jak wielkość, siła (*force*) lub natężenie (*vigour*)” (I, 35).

Uczony utrzymuje „..., że światło i eter są czymś różnym, ale wzajemnie na siebie oddziałującym. Światło poruszając się w eterze o niejednakowej gęstości, doznaje uderzenia w kierunku rzadszego eteru”.

Owe oddziaływania ciałek z eterem wzbudza w nim drgania, czyli zagęszczenia i rozrzedzenia. Proces ten przemieszcza się „...od jednej powierzchni cienkiej płytki do drugiej” (I, 133). Jednak przemieszczające się drgania to podłużne⁵ fale eteru. Dodajmy, że według Newtona, prędkość tej fali jest większa niż prędkość propagacji promienia. Powyższe ustalenia pozwalają badaczowi wyjaśnić zjawiska odbicia i załamania światła na granicy dwu ośrodków.

„Te promienie świetlne, które padają na zagęszczony eter, są natychmiast odbijane, te zaś, które padają na część rozrzedzoną lub na przerwę między drganiami, są przepuszczane” (I, 133).

Tyle informacji podaje Newton na temat zjawisk załamania i odbicia promieni świetlnych na granicy dwu ośrodków. Nie ma wzmianki o rządzących tymi zjawiskami prawach. A przecież prawo załamania odkrył W. Snell

⁴ „...gęstość (eteru – HP.) jest większa w przestrzeniach otwartych..., pozbawionych powietrza i gęstszych ciał, mniejsza zaś w porach wody, szkła... i innych ciał stałych” (P19).

⁵ Ch. Huygens, a nawet T. Young, do roku 1817, przypisywali światłu falę podłużną.

już w roku 1621, a teoretycznie uzasadnił je R. Kartezjusz w roku 1644.

Barwy światła

Barwy widmowe w tęczy obserwował już człowiek pierwotny, wytworzone sztucznie w „podługnym szkłe trójkątnym”, obserwował i próbował wyjaśnić Marek Antoni Dominis (ok. 1611 r.)⁶. Kilkadziesiąt lat później dyspersją światła białego w pryzmacie badał czeski optyk Jan Maria Marci. Wyniki swych doświadczeń przedstawił w pracy „*Thumantias*”⁷. W drugiej połowie XVII wieku światło, barwy i tęczę badał Franciszek Maria Grimaldi. Marci sformułował nawet pewne wnioski, które powtórzył później Newton. Oto one:

„...różne rodzaje barw są częściami o różnym załamaniu”, „ta sama barwa nie może być różnego załamania ani różne barwy o załamaniu tym samym” (I, 112).

Badania doświadczalne z optyki rozpoczął Newton jako 19-letni uczonek. Przeprowadzał eksperymenty z załamaniem i rozszczepianiem światła w pryzmacie. Badał także zachowanie promieni monochromatycznych w pryzmacie, mieszał barwy widmowe w światło białe. Badał barwy tęczy (głównej i wtórnej), zbudował teleskop.

W *Nowej Teorii*, a później w *Optyce*, rezultaty swych poszukiwań zawarł w 13 twierdzeniach. Pierwsze trzy, w skróconej formie, brzmią:

1. „Barwy światła nie ukazują się ... dzięki zmianom światła, których doznaje ono załamując się lub odbijając od ciał przyrody, lecz są pierwotnymi, przyrodzonymi cechami światła” (55).
2. „Jednemu i temu samemu stanowi załamania odpowiada zawsze jedna i ta sama barwa i odwrotnie. Najmniej załamują się barwy czerwone, najwięcej fioletowe. Promienie pośrednich barw załamują się w stopniu średnim” (55-56).
3. „Barwa i stopień załamania... nie mogą ulec zmianie, ani przez załamanie się, ani przez odbicie od ciał”.

Twierdzenia 4-8 dotyczą barw prostych i złożonych, mieszania barw widmowych w światło białe oraz światło złożone o przewadze natężenia jednej z barw prostych, np. niebieska barwa siarki, żółta barwa świecy. Następne twierdzenia orzekają o barwach tęczy, o wygaszaniu światła o barwach prostych, np. niebieskiej, przepuszczanej przez filtr czerwony.

Ostatnie, trzynaste twierdzenie głosi, że „...przyczyna barw znajduje się nie w ciałach, lecz w świetle” (I, 117). Jest to skrócone powtórzenie twierdzenia 1 i 2.

Powyższe twierdzenia uzupełnimy wypowiedziami z *Optyki*:

„Różną łamliwość i ... barwę światła można wyjaśnić przyjmując, że promienie świetlne składają się z ciałek różnej wielkości, z których mniejsze wzbudzają fiolet, najsłabszą... z barw, najłatwiej odchylaną przez płaszczyzny łamiące... i z których pozostałe, w miarę jak stają się

większe i większe, tworzą... barwy – niebieską, zieloną, żółtą i czerwoną i coraz trudniej są odchylane” (III, 69).

W tej wypowiedzi istotna jest, wspomniana już hipoteza „o różnej wielkości ciałek”, a więc złożone z różnej wielkości ciałek promienie barwne posiadają różną „newtonowską łamliwość” i różny kolor.

Interferencja w cienkich płytkach

Newton zamiast nazwy „interferencja” używał zwrotu „barwy cienkich płytek”. Omawiane zjawisko opisane jest w *Teorii światła i barw* oraz w *Optyce*.

Badania tego zjawiska prowadził pod wpływem odkrycia Hooke’a. Jak przekonamy się, Newton zbadał je bardzo dokładnie. Do tego celu wykorzystał układ złożony z cienkiej szklanej płytki i płasko-wypukłej soczewki i dużym promieniu krzywizny, później – płytki miki. Obserwował prążki interferencyjne w świetle białym i monochromatycznym, odbitym i przechodzącym przez układ. Najpierw wykorzystywał światło białe, później monochromatyczne. Oddajmy głos Newtonowi:

„Odbicie lub przepuszczanie światła zależy przede wszystkim od grubości płytek. Jeżeli położymy wypukłe szkło na równej płytce, to różne grubości zawartych między nimi warstw powietrza będą w takim stosunku, jak kwadraty odległości danej warstwy od miejsca zetknięcia płytki (i soczewki – HP.); stąd wynika, że przepuszczone i odbite światło ujawni się w kolejno zmieniających się pierścieniach dookoła miejsca zetknięcia. W świetle jednorodnym (monochromatycznym – HP.) powstają zatem jasne i ciemne pierścienie, których promienie będą w pewnym stosunku do grubości tej warstwy i długości fali. Ponieważ czerwone i żółte światło wzbudza w eterze fale o innej wielkości, niż niebieskie i fioletowe, to również i pierścienie barwne będą przy tych barwach mieć różne średnice, przy niebieskiej – najmniejsze, przy czerwonej – największe, i dzięki temu odbiciu również białe światło słoneczne rozłoży się na barwne pierścienie”.

Dalej autor stwierdza, że jeżeli zamiast powietrza między płytkami będzie płyn (np. woda), promienie okrężnych prążków będą mniejsze (I, 134). Ostatnie zdanie przytacza Newton także w *Optyce*.

W przeciwieństwie do jakościowych badań Hooke’a, Newton przeprowadził badania ilościowe. Dokonał pomiarów średnic pierwszych sześciu prążków. Obliczył grubości warstw powietrza w miejscach, gdzie tworzyły się prążki interferencyjne. Mając te dane, mógł wyznaczyć promień krzywizny soczewki. Znając średnice sześciu prążków, Newton znalazł prawidłowość, zgodnie z którą stosunki kwadratów średnic kolejnych prążków jasnych tworzą postęp arytmetyczny o liczbach 1, 3, 5, 7, 9, 11, natomiast dla prążków ciemnych – ten sam postęp o liczbach 2, 4, 6, 8, 10, 12.

Po doświadczeniach ze światłem białym Newton przeprowadził badania nad światłem monochromatycznym.

⁶ Na przełomie X i XI wieku załamanie i rozszczepianie światła białego badał uczonek muzułmański; por. Kazimierz Mikulski, Rok 2015 Międzynarodowym Rokiem Światła”, *Fizyka w Szkole*, Nr 1, s. 29-30.

⁷ Tytuł urobiony od greckiego słowa *thaumadzō* (θαυμάζω) – podziwiam (I, 112).

W tym przypadku poszukiwał stosunków grubości warstw powietrza na styku dwu kolejnych barw. Badacz przeprowadził dwie serie pomiarów. Jedną dla pięciu barw: czerwonej, żółtej, zielonej, niebieskiej i fioletowej, drugą – dla siedmiu barw, uwzględniając jeszcze barwę pomarańczową (między barwą czerwoną i żółtą) oraz barwę indygo (między barwą niebieską i fioletową). Za Grotowskim (I, 138) przytaczamy wyniki pomiarów drugiej wersji doświadczeń.

Grubości warstw powietrza w miejscach, „...gdzie się tworzą kolejne pierścienie na granicy siedmiu barw... są do siebie w stosunku takim, jak pierwiastki sześciennne z kwadratów ośmiu długości strun oktawy C, D, E, F, G, A, B, c, to znaczy, jak pierwiastki sześciennne z kwadratów liczb 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{6}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{9}{5}$, $\frac{1}{2}$ ”

Dyfrakcja światła

Inspirację do badania dyfrakcji światła dla Newtona stanowiły także doświadczenia Hooke’a i wcześniejsze doświadczenia Grimaldiego. Badania autora *Optyki* były w zasadzie powtórzeniem doświadczeń Grimaldiego, choć bardziej wnikliwe i dokładniej opisane. Jak przy każdym doświadczeniu, autor podaje opis stosowanej aparatury: rozmiary otworu w okiennicy – 0,6 mm, odległość od otworu do przeszkody uginającej – 12 stóp, średnicę włosa ludzkiego jako przeszkody uginającej – 0,09 mm i odległość od przeszkody do ekranu – 4 cale ($\approx 9,16$ cm).

Na ekranie, po obydwu stronach obrazu włosa oglądał badacz trzy barwne prążki ugięciowe, zabarwione na niebiesko od strony obrazu i na czerwono po stronie zewnętrznej. Na początku włos był umieszczony w powietrzu, później między dwiema płytkami szklanymi. W obydwu przypadkach obraz ugięciowy był taki sam (97). Eksperymentator powtarzał doświadczenie z wiązkami monochromatycznymi. Wraz ze zmianą barwy użytego światła, zmieniały się odległości pomiędzy prążkami dyfrakcyjnymi.

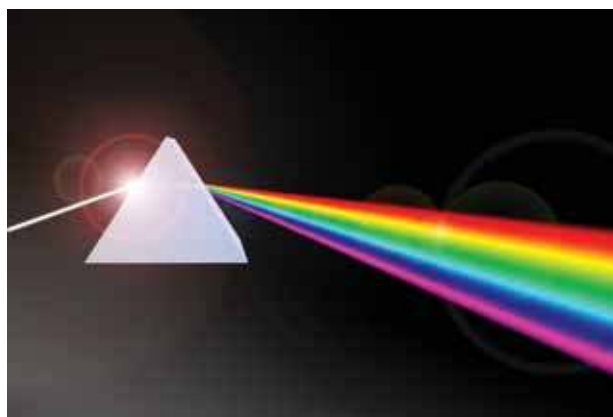
Poza przytoczonymi zdaniem, Newton nie mógł nie dodać o przyczynach ugięcia światła. Postawił więc kilka pytań:

„Czy uginanie się światła nie jest wywołane przez siłę, z jaką ciała działają na światło, i czy »działanie to nie jest silniejsze w najmniejszych odległościach«. Czy zabarwienie prążków dyfrakcyjnych nie jest wywołane niejednakowym uginaniem promieni różnej łamliwości” (III, 51).

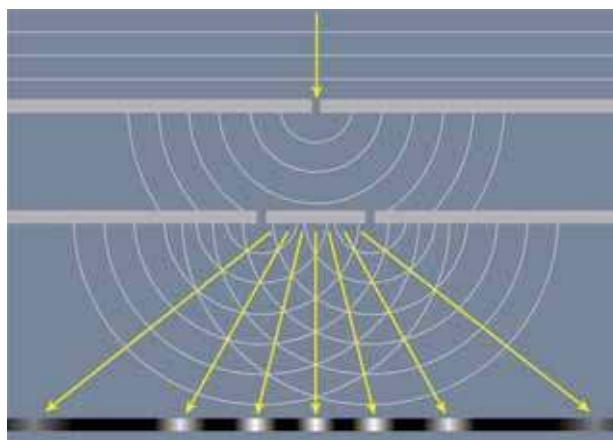
Dodajmy, że choć Newton nazwiska Hooke w *Optyce* nie wymienia, to jednak jego doświadczenie z dyfrakcją na ostrzu noża przeprowadził.

Podwójne załamanie światła

Odkryte w roku 1661 przez E. Bartholina i wyjaśnione, na gruncie falowej teorii światła, przez Ch. Huygensa zjawisko podwójnego załamania w kryształach szpatu islandzkiego, sprawiło Newtonowi duży kłopot. Autor *Optyki* błędnie określił kierunek propagacji promienia nadzwyczajnego (III, 64). Następnie, po stwierdzeniu, że własność



Załamanie światła na pryzmacie



Obraz dyfrakcji i interferencji



Mikrokryształy w świetle spolaryzowanym

podwójnego załamania posiada również kryształ górski, w pytaniu 25. opisuje Newton doświadczenie z dwoma kryształami, ustawionymi jeden za drugim w taki sposób, że „odpowiadające sobie płaszczyzny były równoległe”. Doświadczenie to potwierdza tezę, że „różnica w załamaniach obydwu promieni... jest związana z istnieniem »początkowej różnorodności promieni świetlnych«, która sprawia, że »pewne promienie stale się załamują w sposób zwykły, inne zawsze w sposób niezwykły«”.

„Różnorodność promieni” jeszcze wyraźniej uwidoczniła się w doświadczeniu opisanym w pytaniu 26.

„Gdy płaszczyzny prostopadłego załamania⁸ drugiego

⁸ Wyrażenia „płaszczyzny równoległe”, „płaszczyzny prostopadłego załamania” czy „płaszczyzny kryształu” oznaczają płaszczyzny naturalnej łamliwości kryształów.

kryształu tworzą kąt prosty z takimi samymi płaszczyznami pierwszego kryształu, promienie załamane zwyczajnie w pierwszym kryształach załamują się przy przejściu przez drugi kryształ nadzwyczajnie, promienie zaś, przechodzące z nadzwyczajnym załamaniem przez kryształ pierwszy, w drugim kryształach załamują się zwyczajnie” (III, 63).

Z ostatniego zdania Newton wyciąga wniosek: „Różnorodność promieni... polega... na różnym położeniu promieni względem płaszczyzn prostopadłego załamania, gdyż ten sam promień, zależnie od swego położenia względem płaszczyzn kryształu, załamuje się to w sposób zwyczajny, to znów nadzwyczajny: (III, 63).

Przy ustawieniu prostopadłym płytek, autor wspomina o obrocie drugiej płytki względem pierwszej o kąt prosty. Temu obrotowi towarzyszy zmiana natężenia wiązek. Jednakże ten aspekt zjawiska podwójnego załamania badacza nie interesuje.

Pytanie 26 kończy autor *Optyki* dodatkową charakterystyką promienia świetlnego:

„Istnieje więc pewna symetria w promieniu świetlnym, która nas zmusza do rozróżnienia w każdym promieniu świetlnym czterech boków lub ćwierci, z których dwie przeciwległe nadają promieniowi zdolność niezwykłego załamania, dwie inne w tym samym położeniu pozwalają na załamanie zwykłe”.

Opisaną charakterystykę Wawilow nazywa „polaryzacją promienia świetlnego” (100). Te własności promieni wykorzystał w roku 1809 Stefan Ludwik Malus do urobienia terminu „polaryzacja” (III, 64).

Ponownie o eterze

W swoim długim okresie twórczości naukowej, Newton miał wątpliwości odnośnie hipotezy o istnieniu eteru. Jak pisze Wawilow, w pierwszym anglojęzycznym wydaniu *Optyki*, autor nie wspomina o eterze. W tłumaczeniu na język łaciński (1706 r.) występuje z krytyką tej hipotezy. W wydaniach anglojęzycznych z lat 1717 i 1721, pytania 18-25 raczej pozytywnie traktują ową hipotezę, zaś trzy następne pytania „...zawierają argumenty przeciw istnieniu eteru” (102-3).

* * *

Po wprowadzeniu różnych korekt przez późniejszych badaczy, teoria Newtona obowiązywała aż do początku XIX wieku. Odkrycia M. Plancka, A. Einsteina i innych uczonych z początku XX stulecia spowodowały, że według fizyków teoria korpuskularna jest równie ważna jak, także skorygowana, teoria falowa.

Henryk Piersa
Foto Fotolia:

LITERATURA

- [1] Marian Grotowski, *Newton*, Poznań-Warszawa-Wilno-Lublin, cz. I, 1932, cz. II i III, 1933.
- [2] Siergiej I. Wawilow, *Izaak Newton*, Warszawa 1952.
- [3] Max von Laue, *Historia fizyki*, Warszawa 1957.

Co w fizyce piszczy

Kolejny postęp w konstrukcji czapki niewidki

Jednym z naczelných zadań technologii metamateriałów jest skonstruowanie znanej nam z dziecięcych bajek, w tym z Harego Potera, peleryny niewidki. Należy jednak pamiętać, że taka peleryna powinna działać nie tylko w zakresie fal widzialnych, lecz również w zakresie fal podczerwonych. Wydaje się, że naukowcom, po wielu próbach udało się ten cel osiągnąć. Skonstruowali bowiem ultralekką, cienką powłokę opartą o czarny krzem. Materiał ten charakteryzuje się strukturą jeżopodobną. Z jego powierzchni wystaje bowiem wiele cienkich igieł, które zaginają promieniowanie emitowane przez obiekt tak, że nie może ono przejść na jej drugą stronę. Zastosowania wojskowe takiego materiału są oczywiste.

Źródło: Mohammad J. Moghimi, Guangyun Lin, Hongrui Jiang. Broadband and Ultrathin Infrared Stealth Sheets. *Advanced Engineering Materials*, 2018; DOI: 10.1002/adem.201800038

Zbigniew Wiśniewski
Europejska Uczelnia w Warszawie

W następnym numerze:

Siła słabych oddziaływań. Kobieta strona fizyki.

Aleksandra Mielewczyk-Gryń i Marcin Zaród

W średniowieczu dostęp do nauki był praktycznie zamknięty dla kobiet. Większość uczonych należała do kleru i to osoby duchowne tworzyły obraz świata przedstawiany ludziom. Kobietom szczególnie trudno w tym okresie było rozwijać się naukowo, czy nawet nauczyć się czytać. Tylko kobiety wysokiego statusu miały taką możliwość, ale nawet im bardzo trudno było uzyskać wystarczająco silną pozycję, aby w jakikolwiek sposób to wykorzystywać. W średniowiecznej historii próżno szukać naukowiec, nie wykluczone, że istniały, kryły się w męskich przebraniach czy próbowały dokonywać odkryć wraz z mężami czy też braćmi. Dużo więcej wiemy natomiast to późniejszych stuleciach i tak już w wieku XVII możemy natrafić na wiele wybitnych postaci, o jednych wiemy niewiele a o drugich znacznie więcej.

Świat opisany rysunkiem

Fakt, żyjemy w epoce cywilizacji obrazkowej. Telewizja, Internet, smartfony przyciągają uwagę, zwłaszcza dzieci i młodzieży w nie-spotykanym dotąd stopniu. Gry, filmy, fotografie zajmują nam coraz więcej czasu i nie wiadomo jakie będą tego skutki, bo przecież jakieś będą.

Ale czy to coś nowego? Z pewnością skalą z jaką produkuje się dziś obraz jest trudna do ogarnięcia. Kilka lat temu szacowano, że obejrzenie filmów umieszczanych jednego dnia na kanale YouTube zajęłoby człowiekowi 9 lat. Dziś pewnie jest to kilkanaście lat.

Ale czy przez swoją masowość obraz zyskał na znaczeniu? Czy kilka linii nakreślonych przez Talesa, Pitagorasa, Kopernika, Newton, Einsteina nie są ważniejsze od wszystkich filmików na YouTube, zdjęć na Instagramie, Facebooku? Czy teledysk „Despacito”, który 21 września br. miał 5,5 mld wyświetleń wnosi coś do skarbnicy wiedzy?

Książka „Fizyka w rysunkach” Dona S. Lemonsa, emerytowanego profesora fizyki w Bethel College w North Newton w USA, autora podręczników i publikacji naukowych, z pewnością nie jest skierowana do tych, którzy poza smartfonem niczego nie widzą, choć autor bardzo by chciał, aby była zrozumiała dla uczniów, ich rodziców a nawet dziadków.

Kluczem do zrozumienia świata jest wiedza, a wiedza rodzi się z ciekawości, z chęci poznania i opisanie świata, zrozumienia praw nim rządzących. Czasem problem łatwiej opisać, rozwiązać, jeśli go zwizualizujemy, czyli przedstawimy w postaci rysunku, schematu.

Do czego człowiekowi potrzebny jest cień drzewa? Większość z nas się nie zastanawia nad takimi pytaniami – ile osób odpoczywa dziś w cieniu drzewa? I nie o odpoczynek chodzi, ale o wykorzystanie zjawiska cienia do różnych obliczeń. Tak przynajmniej zrobił Tales z Miletu, który zauważył, że jeśli obok drzewa postawimy kijek, to, jeśli jego cień będzie

równy wysokości kijka, to i cień drzewa będzie równy jego wysokości. Tak zrodziła się zasada geometrycznego pomiaru zwana obecnie triangulacją.

Początki odkryć, zwłaszcza w starożytności polegały na obserwacjach zjawisk w otaczającej przyrodzie, we Wszechświecie i intelektualnej próbie ich wyjaśnienia. Filozofowie wykorzystywali do tego dostępne środki, ale ostateczne zwycięstwo zapewniał geniusz umysłu. Dopiero później przyszedł czas na eksperymenty, badania i naukowe potwierdzenia stawianych też.

Wyobraźmy sobie, jak dziś można by zmierzyć obwód kuli ziemskiej mając zwykłą miarkę, niekoniecznie metrową. A Eratostenes żyjący w III

wieku p.n.e to potrafił. Obserwował cień, jaki dają promienie słońca wpadające do głębokiej studni w Aleksandrii i oddalonej o 5000 stadionów (ówczesna grecka miara – 1 stadion od 158 m do 185 m). W Aleksandrii słońce w zenicie wpadało do studni pod kątem $1/50$ okręgu (ok. 7 stopni), a w Syene – cienia nie ma. Największym problemem było zmierzenie odległości między tymi miejscowościami. Niektóre źródła podają, że prosił przewodników karawan, które przemierzały wędrowały między tymi miastami, inne mówią, że miał dostęp do zapisków mierniczych, którzy dokonywali pomiarów po wylewach Nili. W każdym razie obliczył obwód Ziemi z dokładnością godną podziwu, a jego metoda pomiaru używana jest do dnia dzisiejszego.

Każde odkrycie, wynalazek opisany jest w sposób ciekawy, zrozumiały. Autor przy wyborze tematów kierował się zasadą „to, co można narysować i zobaczyć” co, jak sam przyznaje, faworyzowało starsze tematy. Ale wśród 51 esejów znajdują się też takie, jak efekt cieplarniany i bozon Higgsa. Niektóre tematy odpadły, bo pojęć nie dało się zilustrować – czarna dziura, chaos, splatanie i fale grawitacyjne. Autor wierzy, że i na nie przyjdzie kolej.

Współczesna nauka ma do dyspozycji olbrzymie centra naukowo-badawcze z najpotężniejszym CERN w Szwajcarii, gdzie pracuje ponad 8 tys. naukowców z 500 instytucji naukowych z całego świata a ich narzędziem jest akcelerator cząstek Wielki Zderzacz Hadronów. Tam odkryto mezon i bozon, tam opracowano standard stron internetowych www. Rozmiar tego centrum ukazuje też drogę jaką przeszła fizyka przez wieki, od rozważań filozofów po zaplanowane badania naukowe. I warto przeczytać tę książkę by sobie to uświadomić.

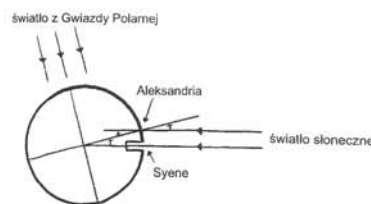


PWN, Rok wydania 2018

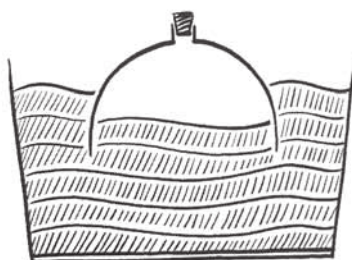
Triangulacja (600 p.n.e.)



Rozmiar Ziemi (225 p.n.e.)



Empedokles odkrywa powietrze (450 p.n.e.)



Józef Szewczyk

Termodynamika: główne koncepcje i etapy rozwoju, część 2.

Energia i entropia

James Clerk Maxwell (1831-1879) wyróżnił trzy etapy rozwoju nauki o cieple: etap pierwszy to odkrycie termometru, etap drugi to pomiar ilości ciepła za pomocą kalorymetru, etap trzeci to badanie relacji między cieplnymi i mechanicznymi własnościami substancji co jest przedmiotem badań termodynamiki.



Alfred Zmitrowicz

Pierwsze osiągnięcia termodynamiki można zestawić następująco [1, 3]. W wiekach od XIII do XVII grono badaczy i odkrywco w podejmowało próby skonstruowania *perpetuum mobile* tj. maszyn i urządzeń wykonujących ruch wiecznie trwający, bez dostarczania energii z zewnątrz. Leonardo da Vinci odkrył, że nie ma ruchu wiecznego (1498 r.), praca nie może brać się z niczego (*ex nihilo*). Zdefiniowano zasadę o niemożności istnienia *perpetuum mobile*. Współcześnie wiemy, że *perpetuum mobile* jest sprzeczne z zasadą zachowania energii.

Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796-1832) w 1824 r. jako pierwszy sformułował teorię maszyn cieplnych, tj. opisał zamknięty cykl przemian fazowych w płynach, którego wynikiem jest wytworzenie pewnej ilości pracy [1,3]. Zauważył, że silnik cieplny wykonuje pracę kosztem doprowadzonego ciepła, określił sposób obliczania sprawności silnika cieplnego. Wyniki badań zawarł w książce o tytule (w tłumaczeniu na polski) *O poruszającej mocy ognia i o maszynach odpowiednich do rozwijania tej mocy*, Paris 1824 r., Rys. 10. Benoît Paul Émile Clapeyron (1799-1864) w 1834 r. podał wykres cyklu Carnota w postaci zamkniętej krzywej w dwuwymiarowym kartezjańskim układzie współrzędnych ciśnienie-objętość. Wykres opisuje przemianę pracy w ciepło i ciepła w pracę.

Julius Robert von Meyer (1814-1878) wprowadził pojęcie równoważnika ciepła i przeprowadził próby

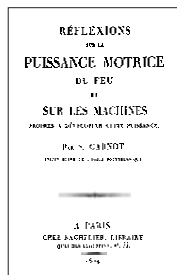
wyznaczenia jego wartości. James Prescott Joule (1818-1889), stwierdził, że jednakowa ilość pracy produkuje zawsze tę samą ilość ciepła. Skonstruował przyrząd, w którym mieszkadło (koło z łopatkami) było zanurzone w naczyniu z cieczą, ruch mieszkadła wywoływały opadające w dół obciążniki, ciepło tworzyło się przez tarcie wewnętrzne (lepkość) poruszającej się cieczy (mieszanej cieczy), Rys. 11. Joule wyznaczył wartość mechanicznego równoważnika ciepła

$$1 \text{ cal} = 4,1860 \text{ J}$$

Opublikował na ten temat artykuł pt. *On the mechanical equivalent of heat*, Philosophical Transactions Royal Society (London), 1850 r.

Thomas Young (1773-1829) wprowadził pojęcie „energii”. Gustav Coriolis (1792-1843) jako pierwszy określił pojęcie „pracy”. Jean-Victor Poncelet (1788-1867) wprowadził nazwę „pracy” oraz równoważność pracy i „siły żywej” (*vis viva* Leibniza) tj. energii; jest to prawo przekształcenia pracy.

Herman von Helmholtz (1821-1894) przyczynił się do sformułowania zasady zachowania energii (1847). William John Macquorn Rankine (1820-1872) pierwszą zasadę termodynamiki (prawo zachowania energii) zdefiniował następująco: „suma wszystkich energii (potencjalnej i aktualnej) we Wszechświecie jest niezmienną”. Nazwał połowę „siły żywej” energią kinetyczną (albo aktualną), potencjał sił wewnętrznych nazwał energią potencjalną, sumę tych energii nazwał energią całkowitą (albo energią). Opublikował artykuł pt. *On the general*



Rys. 10. Strona tytułowa, Sadi Carnot, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Paris 1824 r., źródło: Wikipedia.



Rys. 12. Strona tytułowa, Robert Röntgen, *Die Grundlehre der mechanischen Wärmetheorie, nebst einer Beschreibung der wichtigeren Heissluft-, Gas- und Dampf-Maschinen und Anwendungen jener Lehren zur Berechnung der Leistungsfähigkeit dieser Maschinen...*, Jena 1871 r., w zbiorach Biblioteki Gdańskiej PAN.



Rys. 13. Strona tytułowa, Ernst Mach, *Die Prinzipien der Wärmelehre. Historisch-Kritisch entwickelt*, Leipzig 1900 r., w zbiorach Biblioteki Gdańskiej PAN.

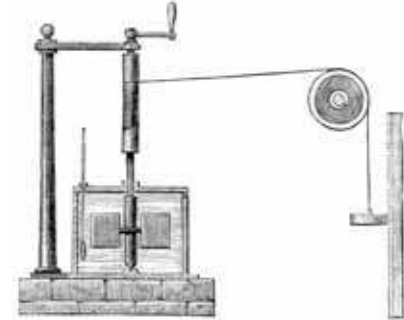


Foto 10. Instrument do skraplania gazów Olszewskiego i Wróblewskiego, w zbiorach muzeum Uniwersytetu Jagiellońskiego.

law of transformation of energy, Philosophical Magazine, 1853 r.

Wiliam Thomson (później Lord Kelvin) (1824-1907) w 1848 r. odkrył istnienie zera bezwzględnego (-273,15 stopni Celsjusza). W 1850 r. sformułował Pierwszą a w 1854 r. drugą zasadę termodynamiki. Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822-1888) w 1854 r. podał drugą zasadę termodynamiki w następującej postaci: „ciepło nie może przechodzić od ciała zimniejszego do gorętszego samorzutnie, to znaczy bez zmian w otoczeniu”. W 1865 r. wprowadził pojęcie entropii do drugiej zasady termodynamiki i zapisał to tak: „entropia Wszechświata tylko wzrasta” lub „entropia Wszechświata dąży do pewnego maksimum, wciąż rosnąc”. Pierwszą zasadę termodynamiki sformułował następująco: „energia Wszechświata jest stała”. Można przyjąć, że pierwszą i drugą zasadę termodynamiki odkryli: William Rankine, Rudolf Clausius oraz William Thomson (Lord Kelvin), nie umniejsza to wkładu innych badaczy. James Clerk Maxwell w 1871 r. podał zerową zasadę termodynamiki: „jeśli układ A jest w równowadze termodynamicznej z dwoma innymi B i C, wtedy B i C są w równowadze termodynamicznej między sobą”.

Josiah Willard Gibbs (1839-1903) był pionierem termodynamiki mieszanin obejmującej również roztwory i stopy. Mieszaniny są wieloskładnikowymi substancjami materialnymi stosowanymi między innymi w chemii. Wprowadził pojęcia energii wewnętrznej i potencjału chemicznego dla mieszanin. Przyczynił się do powstania termodynamiki chemicznej. Wydał rozprawę na ten temat pt. *On the equilibrium of heterogeneous substances*, w „Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences”, 1876 i 1878 r. Gibbs był jednym z twórców mechaniki statystycznej. Wyniki badań zawarł w książce pt. *Elementary principles in statistical mechanics, developed with especial reference to the rational foundation of thermodynamics*, New York 1902 r. Pierre-Maurice-Marie Duhem (1861-1916) wniósł wkład do termodynamiki chemicznej (1886 r.).

Stosowane współcześnie równanie Gibbsa-Duhema opisuje zmiany potencjału chemicznego (termodynamicznego) składników mieszanin. Jego książką jest *Traité d'énergétique ou de thermodynamique générale*, Paris 1911 r. Johannes Diderik van der Waals (1837-1923), noblista z fizyki w 1910 r., zajmował się kinetyczno-molekularną teorią gazów i cieczy. Współcześnie mamy równanie stanu gazu rzeczywistego van der Waalsa oraz oddziaływania międzycząsteczkowe van der Waalsa. W teorii zjawisk kapilarnych odkrył związek napięcia powierzchniowego z termodynamicznym równoważnikiem stanu. Opublikował rozprawę o tytule (w tłumaczeniu na polski) *Teoria termodynamiczna włoskowatości, w założeniu stałej zmiany gęstości*, „Verhand. Kon. Akad. V Wetensch. Amst.”, 1893 r. Constantine Caratheodory (1873-1950) był pionierem aksjomatyzacji termodynamiki za pomocą metod geometrycznych. Wydał artykuł pt. *Untersuchungen über die Grundlagen der Thermodynamik*, Mathematische Annalen, 1909 r.

Wilhelm Friedrich Ostwald (1853-1932) i inni (np. P. Duhem) głosili pogląd filozoficzny nazwany energetyzmem, według którego wszystkie zjawiska można interpretować za pomocą energii. Do głównej rangi wysunęli pojęcie energii i prawo zachowania energii. Zwolennicy energetyzmu byli przeciwnikami istnienia atomów i cząsteczek. Krytykami energetyzmu byli L. Boltzmann i E. Planck, zarzucali pominięcie faktu odwracalności i nieodwracalności procesów przyrodniczych, z których większość jest nieodwracalna.

Warto zwrócić uwagę na wkład jaki wnieśli do termodynamiki badacze pochodzących z Gdańska i Pomorza. Spis gdańskich i pomorskich badaczy rozpoczyna się od Daniela Gabriela Fahrenheita (1686-1736), który urodził się w Gdańsku, jego wkład do nauki o cieple opisano w cz. 1 artykułu. Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822-1888) urodził się w Koszalinie, zmarł w Bonn, jest autorem drugiej zasady termodynamiki. Walther Hermann Nernst (1864-1941) urodził się w Wąbrzeźnie, zmarł w Niwicy (wieś w powiecie Żary, województwo lubuskie), był noblistą z chemii w 1920 r. Sformułował trzecią zasadę termodynamiki mówiącą o nieosiągalności temperatury zera bezwzględnego (1906 r.).

Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (1868-1951) urodził się w Królewcu, zmarł w Monachium, studiował na Uniwersytecie Albertyna w Królewcu, w 1891 r. otrzymał doktorat tego uniwersytetu, pracował w Getyndze, Clausthal, Aachen i Monachium. Wniósł wkład w teorię budowy atomu. Opublikował wielotomową monografię na temat fizyki teoretycznej, pt. *Vorlesungen über theoretische Physik*, tom 5 dotyczy termodynamiki, Band 5: *Thermodynamik und Statistik*, Wiesbaden 1952. Z zagadnień inżynierskich zajmował się teorią smarowania hydrodynamicznego.

Ernst Heinrich Wilhelm Schmidt (1892-1975) w latach 1925-1937 był prof. zw. techniki cieplnej (niem. *Wärmelehre*) w Wyższej Szkole Technicznej w Gdańsku (TH Danzig), poprzednicze Politechnice Gdańskiej. Następnie pracował w Brunzwicku i Monachium, zajmował się termodynamiką silników rakietowych. W termodynamice stosowana jest liczba Schmidta (Sc), tj. bezwymiarowa liczba podobieństwa odnosząca się do zjawisk dyfuzji

$$Sc = \frac{\nu}{D}$$

gdzie, ν lepkość kinematyczna płynu, D współczynnik dyfuzji. Dotyczy to przepływów np. mieszanin wieloskładnikowych, w których zachodzi dyfuzja jednego ze składników. Procesy dyfuzyjne opisane jednakową wartością tej liczby przebiegają podobnie; Sc dla cieczy wynosi około 1000, Sc dla gazów około 1. Schmidt sformułował drugą zasadę termodynamiki następująco: „w żaden sposób nie można odwrócić procesu, w którym ciepło powstaje w wyniku tarcia”.

W zbiorach Biblioteki Gdańskiej PAN zachowały się książki z termodynamiki wydrukowane w wieku XIX, Rys. 12, Rys. 13.

Początki termodynamiki w Polsce

Światową karierę zrobili badania Zygmunta Wróblewskiego i Karola Olszewskiego, którzy jako pierwsi w niskich temperaturach skroplili powietrze i jego składniki (1883 r.): tlen, azot, tlenek węgla, Foto 10 [1]. Ponadto w niskich temperaturach uzyskali w postaci ciał stałych następujące gazy: azot, tlenek węgla i dwusiarczki węgla. Publikacje zawierające wyniki badań ukazały się we Francji i Niemczech: *Sur la liquéfaction de l'oxygene et de l'azote, et sur la solidification de sulphure du carbone et l'alcool*, Comptes Rendus l'Academie des Sciences, 1883 r.; *Über die Verflüssigung des Stickstoffs und des Kohlenoxydes*, Monatshefte für Chemie und verwandte Teile anderer Wissenschaften, 1883 r.



Foto 11. Zygmunt Wróblewski, źródło: Wikipedia.

Zygmunt Florenty Wróblewski (1845-1888) urodził się w Grodnie, zmarł w Krakowie, (Foto 11). W Grodnie w dawnym kościele jezuitów (obecnie katedrze grodzieńskiej) zachowały się do naszych czasów tablice poświęcone pamięci Edwarda, Stanisława, Witolda i Zygmunta Wróblewskich zawierające krótkie opisy ich zasług. Tablica Zygmunta Wróblewskiego ma następującą treść „Ś.P. ZYGMUNT WRÓBLEWSKI DOKTOR FILOZOFII PROFESOR WSZECHNICZY JAGIELLOŃSKIEJ W KRAKOWIE 1845-1888”. Zygmunt Wróblewski brał udział w powstaniu styczniowym i z tego powodu był zesłany na 6 lat na Syberię do Tomsku. Przed zesłaniem był więziony w budynkach dawnego klasztoru jezuitów obok katedry w Grodnie. Zapisał się na studia w Kijowie przed wybuchem powstaniem. Po powrocie z zesłania studiował za granicą w Berlinie i Heidelbergu. Stopień doktora filozofii uzyskał w Monachium (1874). Odbył studia uzupełniające we Francji i Anglii. W Paryżu kupił sprzęt doświadczalny, który udoskonalił i wykorzystał w pracy na Uniwersytecie Jagiellońskim (od 1882). Zajmował się badaniami właściwości gazów i metali w niskich temperaturach.



Foto 12. Karol Olszewski, źródło: Wikipedia.

Karol Stanisław Olszewski (1846-1915) urodził się w Broniszowie Tarnowskim, zmarł w Krakowie, (Foto 12). Studiował na uniwersytetach w Krakowie i Heidelbergu, pracował na stanowisku profesora na Uniwersytecie Jagiellońskim (od 1876). W 1894 r. dokonał skroplenia argonu i badał jego własności.

Ulepszył aparaturę do skraplania gazów. Cieszył się uznaniem w międzynarodowym środowisku naukowym.

Marian Smoluchowski (1872-1917), urodził się w Vorder-Brühl (wioska niedaleko Wiednia), zmarł w Krakowie, (Foto 13). W latach 1880-1890 uczył się w wiedeńskiej szkole średniej Theresianum. Na studia na Uniwersytecie Wiedeńskim (1880-1894) został przyjęty od razu na 3 rok. W Wiedniu jednym z wykładowców był Josef Stefan, znany ze słynnego prawa Stefana-

Boltzmana. W 1885 r. obronił doktorat na temat badań sprężystości materiałów miękkich (wosku i parafiny). Na Sorbonie w laboratorium prof. Gabriela Lippmanna badał promieniowanie cieplne (1895-1896). W Glasgow u lorda Kelvina zajmował się wyładowaniami elektrycznymi w gazach (1896-1897). W Berlinie u prof. Emila Wartburga badał przewodnictwo cieplne gazów rozrzedzonych (1897). Kierował katedrą fizyki teoretycznej na Uniwersytecie Lwowskim (1899-1913) i katedrą fizyki doświadczalnej na Uniwersytecie Jagiellońskim (1913-1917). W czerwcu 1917 r. został wybrany na rektora UJ, zmarł 5 września 1917 r. było to 5 dni po objęciu urzędu. Rok 2017 był ogłoszony Rokiem Smoluchowskiego w związku z setną rocznicą jego śmierci.



Foto 13. Marian Smoluchowski, źródło: Wikipedia.

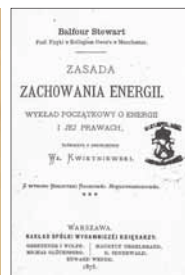
Smoluchowski jest uważany za klasika fizyki statystycznej i termodynamiki. Był jednym z czołowych przedstawicieli molekularno-kinetycznego kierunku badań materii, zainicjował teorię procesów stochastycznych. Miał znakomite osiągnięcia w interpretacji ruchów Browna, podał matematyczny (probabilistyczny) opis ruchów Browna (obok Einsteina). Pionierskie były prace dotyczące statystycznej interpretacji drugiej zasady termodynamiki (obok Boltzmana), napisał artykuły o ograniczeniach ważności drugiej zasady termodynamiki oraz prace dotyczące teorii cieplnej fluktuacji gęstości (fizyka molekularna). Opublikował 100 prac w językach niemieckim, francuskim i polskim, które są do dziś cytowane przez badaczy z różnych dziedzin nauki. Pierwszą pracę naukową opublikował jeszcze w trakcie studiów, dotyczyła tłumienia wewnętrznego (lepkości) w cieczach.

Władysław Natanson (1864-1937) urodził się w Warszawie, zmarł w Krakowie, kształcił się na uniwersytetach w Warszawie, Petersburgu, Dorpacie i Cambridge, był profesorem na Uniwersytecie Jagiellońskim kierownikiem katedry fizyki matematycznej. Doktorat uzyskał w Dorpacie w 1888 r. na podstawie rozprawy (w tłumaczeniu na polski) pt. *O teorii kinetycznej zjawiska Joule'a*. Zajmował się: kinetyczną teorią gazów, termodynamiką procesów nieodwracalnych, hydromechaniką płynów lepkich, teorią promieniowania i optyką. Natanson był jednym z pierwszych badaczy procesów nieodwracalnych, napisał artykuł pt. *O prawach zjawisk nieodwracalnych*, Rozprawy Wydz. Mat.-Przyr. Akademii Umiejętności, 1896 r. Uogólnił zasadę Hamiltona na termokinetykę procesów nieodwracalnych tzw. „zasada termokinetyczna”. W 1890 r. opublikował w Warszawie książkę pt. *Wstęp do fizyki teoretycznej* zawierającą rozdział pt. *Zasady termodynamiki*. Był znakomitym wykładowcą i autorem doskonale opracowanych podręczników fizyki, (Rys. 17).

W zbiorach bibliotek krakowskich zachowały się pierwsze książki w języku polskim z termodynamiki będące tłumaczeniami z angielskiego Rys. 14, Rys. 15, oraz pierwsze podręczniki polskich autorów Rys. 16, Rys. 17.



Rys. 14. Strona tytułowa, John Tyndall, Ciepło jako rodzaj ruchu, Kraków 1873 r., w zbiorach Biblioteki AGH.



Rys. 15. Strona tytułowa, Balfour Stewart, Zasady zachowania energii. Wykład początkowy o energii i jej prawach, Warszawa 1873 r., w zbiorach Biblioteki Jagiellońskiej.



Rys. 16. Strona tytułowa, Jan Śniechowski, Mechaniczna teoria ciepła, Paryż 1877 r., w zbiorach Biblioteki Jagiellońskiej.



Rys. 17. Strona tytułowa, Władysław Natanson, Wiadomości z nauki fizyki dla seminariów nauczycielskich, Lwów 1901 r., w zbiorach autora.



Rys. 11. Przyrząd do pomiaru mechanicznego równoważnika ciepła z eksperymentu Joule'a 1843 r., źródło: Wikipedia.

Klasyczna termodynamika płynów (gazów i cieczy) – termodynamika procesów odwracalnych w płynach

Do podstawowych pojęć klasycznej termodynamiki płynów należą: układ termodynamiczny (otwarty, izolowany, zamknięty) czyli wyodrębniona część materii za pomocą umownie poprowadzonej granicy, parametry stanu układu (temperatura, ciśnienie, objętość), wielkości intensywne mierzone lokalnie (temperatura, ciśnienie, gęstość), wielkości ekstensywne mierzone dla całego układu (objętość, energia wewnętrzna, entropia), przemiany termodynamiczne czyli procesy w których ulegają zmianie parametry stanu układu, równania stanu układu, itp. [1,3,4,8,10]. Modelami płynów są: gaz doskonały, ciecz idealna, płyny ściśliwe, lepkie, newtonowskie i inne.

Tabela 1. Podstawowe zmienne termodynamiczne modeli płynów (parametry stanu).

V	objętość	są to zmienne modeli dowolnego płynu w jego dowolnym stanie
p	ciśnienie	
T	temperatura absolutna	
U	energia wewnętrzna	
S	entropia	

Zmienne termodynamiczne płynów przedstawiono w Tabeli 1. Podstawowymi funkcjami termodynamicznymi i ich zmiennymi są: $U(S,V)$ energia wewnętrzna Clausiusa, $A(T,V)$ energia swobodna Helmholtza, $G(T,p)$ entalpia swobodna Gibbsa, $H(S,p)$ entalpia. Termodynamicy uważają, że matematyczna definicja „punktu” oraz termodynamiczna definicja „stanu” są do siebie podobne, dostrzegają oni pewną analogię. Równaniem stanu nazywa się każdą zależność (funkcję) między ciśnieniem, objętością i temperaturą

$$f(p, V, T) = 0$$

Narzędziami służącymi do badań układów termodynamicznych są zasady termodynamiki będące uogólnieniem wyników obserwacji dotyczących zachowania się makroskopowych ilości substancji. Zerowa

zasada termodynamiki mówi o warunku równowagi termodynamicznej między trzema układami A, B i C. Równowaga termodynamiczna oznacza, że wszystkie parametry układu (temperatura, ciśnienie, gęstość) są stałe w każdej chwili czasu i mają jednakową wartość dla wszystkich miejsc w przestrzeni zajmowanej przez układ.

Pierwsza zasada termodynamiki jest prawem zachowania energii i mówi, że ilość energii jest stała. Energia nie może być zniszczona, może tylko przekształcać się z jednej formy w drugą np. na ciepło lub pracę. Dlatego ciepło dostarczone do układu zostaje przekształcone na zwiększenie energii wewnętrznej U i wykonanie pracy tj.

$$dQ = dU + pdV$$

gdzie, dQ ciepło dostarczone do układu, dU praca wykonana przez układ. Energia wewnętrzna substancji pdV jest to energia zgromadzona w układzie będącym w stanie równowagi, w przypadku gazu jest to energia kinetyczna chaotycznie zderzających się cząsteczek.

Druga zasada termodynamiki definiuje prawo wzrostu entropii oraz wprowadza rozróżnienie między odwracalnymi i nieodwracalnymi procesami termodynamicznymi. W klasycznej termodynamice entropię S definiuje równanie Gibbsa tj.

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

Wtedy drugą zasadę termodynamiki zapisuje się w postaci nierówności

$$dS - \frac{dQ}{T} \geq 0$$

W przypadku procesów odwracalnych jest to równość, w przypadku procesów nieodwracalnych jest to nierówność. Energia cieplna ma ilość (mierzoną w kaloriach) i jakość (określaną przez entropię).

Trzecia zasada termodynamiki definiuje właściwości układów w niskich temperaturach. W sformułowaniu Nersta (1906 r.) mówi o nieosiągalności temperatury zera bezwzględnej. W sformułowaniu Plancka (1912 r.) mówi, że entropia dowolnego układu zmierza do zera gdy temperatura zmierza do zera bezwzględnej.

Przejście układu z jednego stanu do drugiego nazywa się procesem lub przemianą. Niektóre procesy mają specjalne nazwy. Proces izotermiczny odbywa się przy stałej temperaturze. Proces izobaryczny zachodzi przy stałym ciśnieniu. Proces adiabatyczny zachodzi w układach izolowanych cieplnie (brak wymiany ciepła z otoczeniem). Proces izochoryczny ma miejsce przy stałej objętości. Proces izoentropowy jest przy stałej entropii.

Ważnym z inżynierskiego punktu widzenia procesem jest obieg Carnota, czyli odwracalna przemiana cykliczna realizowana za pomocą substancji roboczej (gazu lub pary wodnej) i dwóch zbiorników ciepła o różnych temperaturach [10]. Przemiana ta polega na cyklicznym sprężaniu i rozprężaniu substancji roboczej np. gazu w naczyniu zamkniętym tłokiem, pobieraniu ciepła ze zbiornika o wyższej temperaturze i oddawaniu ciepła do zbiornika o niższej temperaturze.

Generalnie, obiegi termodynamiczne polegają na wykonanych kolejno kilku przemianach, po odbyciu których substancja robocza wraca do początkowego stanu równowagi. Substancja robocza akumuluje, przenosi i oddaje ciepło w sposób odwracalny. Obiegi termodynamiczne są powszechnie stosowane w technice, np. obiegi turbin parowych i gazowych, obiegi chłodnicze i pomp ciepła, obiegi tłokowych silników spalinowych, obiegi silników turbogazowych i turbospalinowych, obiegi siłowni cieplnych i innych urządzeń technicznych.

W równaniach klasycznej termodynamiki płynów nie występuje czas t jako zmienna, nie występują również współrzędne położenia cząsteczek substancji w przestrzeni (nie ma układu współrzędnych). W termodynamice klasycznej procesy odwracalne mają quasi-statyczny przebieg (przebiegają bardzo powoli) i są traktowane jako ciągi stanów równowagi.

Termodynamika procesów nieodwracalnych w płynach

Według klasycznej termodynamiki procesów odwracalnych określenie ciśnienia, temperatury, gęstości i innych funkcji termodynamicznych płynów w stanach nierównowagowych może być niejednoznaczne. W klasycznej termodynamice równowagowej nie występuje zmienna czasowa, natomiast procesy nierównowagowe wymagają czasu jako zmiennej, gdyż przebiegają w skończonym czasie. Z tego powodu termodynamika procesów nierównowagowych w płynach wprowadza kilka nowych założeń.

Aby móc badać ewolucję w czasie stanu układu, który podlega procesowi nieodwracalnemu wprowadza

się „postulat równowagi lokalnej”, tj. zakłada się, że można określić wystarczająco małe podukłady (elementy objętości), w których panuje lokalna równowaga. Przy tym założeniu nie trzeba brać pod uwagę czasu, gdyż procesy przebiegają poprzez nieprzerwany ciąg stanów równowagi, zakłada się istnienie tzw. „kontinuum” stanów równowagi.

Aby uzyskać pełny opis ewolucji w czasie układu definiuje się „uogólnione siły termodynamiczne” i „uogólnione strumienie termodynamiczne” dla różnych zjawisk fizycznych i ustala się związki między nimi. Uogólnione strumienie powstają pod wpływem różnych czynników, które wyraża się za pomocą gradientów, np. strumień przepływającego płynu powstaje pod wpływem gradientu ciśnienia, strumień ciepła wywołany jest gradientem temperatur, strumień dyfuzji zależy od gradientu potencjału chemicznego, itp. W liniowej teorii procesów nieodwracalnych zakłada się, że uogólnione strumienie są liniowymi funkcjami wszystkich uogólnionych sił, tzw. relacje wzajemności Onsagera (1931 r.). Lars Onsager (1903-1976) był noblistą z chemii w 1968 r. Liniowe równania fenomenologiczne dla dwóch strumieni i dwóch sił mają następującą postać

$$\begin{aligned} J_1 &= L_{11}X_1 + L_{12}X_2 \\ J_2 &= L_{12}X_1 + L_{22}X_2 \end{aligned}$$

gdzie L_{ij} są współczynnikami fenomenologicznymi. Postuluje się, że relacje między uogólnionymi siłami a uogólnionymi strumieniami spełniają warunki symetrii. Wtedy macierz współczynników fenomenologicznych jest symetryczna. Postulat ten nazywa się **czwartą zasadą termodynamiki**. Dla procesów w obszarach dalekich od stanu równowagi wprowadza się nieliniowe relacje $J_i = f(X_j)$ tzn. nieliniowe funkcje „strumienie-siły”.

Przy rozpatrywaniu procesów nieodwracalnych stosuje się lokalne sformułowanie drugiej zasady termodynamiki. Zmianę entropii zawartej w elementarnej objętości spowodowanej wymianą entropii z otoczeniem (doprowadzeniem lub odprowadzeniem entropii) oraz wytworzeniem (produkcją) entropii wewnątrz rozpatrywanej objętości opisuje się równaniem

$$dS = dS_e + dS_w$$

Składnik reprezentujący produkcję entropii może być przedstawiony jako suma iloczynów uogólnionych sił i uogólnionych strumieni termodynamicznych.

Alfred Zmitrowicz

Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk

LITERATURA

- [1] A.K. Wróblewski, *Historia fizyki*, PWN, Warszawa 2006.
- [2] S.C. Brown, *Rumford fizyk niezwykły*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1966.
- [3] I. Müller, *A history of thermodynamics: The doctrine of energy and entropy*, Springer, Berlin Heidelberg 2007.
- [4] K. Hutter, Y. Wang, *Fluid and thermodynamics*, vol. 1,2,3, Springer International Publishing Switzerland, 2016, 2018.
- [5] K. Wilmański, *Thermomechanics of continua*, Springer, Berlin Heidelberg 1998.
- [6] C. Truesdell, *Sześć wykładów nowoczesnej filozofii przyrody*, PWN, Warszawa 1969.
- [7] C. Truesdell, *Rational thermodynamics*, Springer, New York 1984.
- [8] J. Kestin, Local-equilibrium formalism applied to mechanics of solids, *International Journal of Solids and Structures*, vol. 29, no. 14-15, 1992, p. 1827-1836.
- [9] J. Taler, P. Duda, *Rozwiązywanie prostych i odwrotnych zagadnień przewodnictwa cieplnego*, WNT, Warszawa 2003.
- [10] J. Badur, *Pięć wykładów ze współczesnej termomechaniki płynów*, Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 2005.
- [11] W. Nowacki, *Termosprężystość*, PWN, Warszawa 1960; *Thermoelasticity*, Pergamon Press, Oxford 1962.
- [12] P. Perzyna, *Termodynamika materiałów niesprężystych*, PWN, Warszawa 1978.
- [13] M. Fremond, *Non-smooth thermomechanics*, Springer, Berlin 2002.
- [14] M. Amiri, M.M. Khonsari, On the thermodynamics of friction and wear – a review, *Entropy*, vol. 12, no. 5, 2010, p. 1021-1049.

Co w fizyce jest najłatwiejsze?

Marcin Braun

Najlepsza odpowiedź na to pytanie brzmi – „zależy dla kogo”? Jeśli jednak chcemy się przekonać, które działy najrzadziej sprawiają trudności uczniom w *skali całego kraju*, możemy zajrzeć do wyników egzaminów gimnazjalnych. Co prawda gimnazja właśnie są likwidowane, ale wnioski powinny zachować aktualność także po reformie, gdyż podstawa programowa dla szkoły podstawowej w niewielkim stopniu różni się od tej dla gimnazjum. Chciałbym tutaj przedstawić wyniki takiego zestawienia¹.

Okazuje się, że najczęściej pojawiały się zadania z kinematyki, właściwości materii (gęstość, ciśnienie, siła wyporu) oraz z elektryczności i magnetyzmu. Pozostałe działy występowały zbyt rzadko, aby miało sens liczenie średniej.

Wyniki przedstawiłem w tabeli – w procentach podany jest poziom wykonania, czyli odsetek poprawnych odpowiedzi². Przy nazwie działu podana jest średnia poziomów dla poszczególnych zadań.

And the winner is...

Który dział jest najłatwiejszy? Bezkonkurencyjnie kinematyka! Średni poziom wykonania to 69%. Drugie w kolejności są właściwości materii – 53% (niezależnie od tego, czy wliczymy dwa zadania, w których wykorzystano wiadomości zarówno z tego działu, jak i z nauki o cieple). Elektryczność i magnetyzm nie wypadają szczególnie gorzej – 48%.

Czy może akurat z kinematyki wybrano szczególnie proste zadania? Rzut oka na arkusze pozwala stwierdzić, że na ogół nie – uczniowie musieli nie tylko wykonywać obliczenia, ale posługiwać się wykresami

Kinematyka	69%
13/2012	73%
13/2013	61%
13/2014	60%
13/2015	73%
13/2016	86%
13/2017	58%
Właściwości materii	53%
17/2012	40%
18/2013	71%
17/2014	55%
15/2015	61%
17/2016	47%
15/2014 (+ ciepło)	39%
16/2015 (+ ciepło)	69%
15/2017	30%
16/2017	63%
Elektryczność i magnetyzm	48%
15/2012	39%
16/2012	42%
14/2013	46%
16/2014	49%
18/2014	51%
17/2015	41%
16/2016	48%
17/2017	59%
18/2017	56%

(zarówno $s(t)$, jak i $v(t)$) oraz tabelami (znów zarówno $s(t)$, jak i $v(t)$). Po prostu kinematyka nie sprawia większych trudności. Nawet najtrudniejsze zadania z tego działu mają lepszy poziom wykonania niż średnia dla właściwości materii.

Na dobrą sprawę nie ma w tym nic dziwnego. Kinematyka opisuje ruch ciał, a więc zjawisko znane uczniom od lat z codziennej obser-



Fot. Fotolia

wacji. Również z pomiarem drogi i czasu, a także prędkości, dzieci i młodzież mają do czynienia na co dzień. A kto widział cząsteczki albo ciśnienie?

Skąd więc się bierze powtarzana dość często opinia, że kinematyka jest trudna? Można przypuszczać, że pochodzi ona z czasów, gdy w tym dziale pojawiały się bardzo skomplikowane zadania wymagające przekształcania wzorów, podstawiania z jednego wzoru do drugiego itd. Takich zadań dawno już nie ma, ale opinia pozostała. I to tak uparczywa, że wielu autorów podręczników celowo przesuwają kinematykę do dalszych rozdziałów. Jak widać, nie ma to obecnie uzasadnienia. Chyba że ktoś chce uczyć mechaniki jak w latach siedemdziesiątych – tylko że nie jest to ani celowe, ani nawet możliwe przy obecnym programie matematyki.

Możemy więc, jak dzieje się to najczęściej na całym świecie, bez obaw zaczynać rozważania fizyczne od najprostszego i najpowszechniejszego zjawiska – ruchu ciał.

Marcin Braun jest autorem podręcznika „To jest fizyka” dla szkoły podstawowej oraz książek do zakresu podstawowego i rozszerzonego szkół ponadgimnazjalnych („Odkryć fizykę”, „Zrozumieć fizykę”).

¹ Wzięłem pod uwagę egzaminy z lat 2012–2017, czyli odkąd prowadzony jest odrębny egzamin z przedmiotów przyrodniczych, a jednocześnie – odkąd obowiązuje ostatnia podstawa programowa dla gimnazjum. W roku 2018 egzamin już się odbył, ale w chwili, gdy to piszę, nie ma jeszcze sprawozdania CKE, które pozwoliłoby poznać wyniki dla poszczególnych zadań.

² Ogólnie: poziom wykonania to średnia liczba punktów. Ponieważ w przypadku egzaminu przyrodniczego za każde z zadań można dostać 0 lub 1 punkt, poziom rozwiązania jest równy odsetkowi poprawnych odpowiedzi.



Staczanie się ciał o symetrii cylindrycznej z równi pochyłej jest jednym z klasycznych zagadnień dynamiki ruchu obrotowo-postępowego. Wnioski, jakie wynikają z otrzymywanych rozwiązań są bardzo nieintuicyjne i zaskakujące. Jeśli zwróci się na nie uwagę, to wiele osób przyjmuje je z niedowierzaniem.

Staczanie się ciał o symetrii cylindrycznej z równi pochyłej

Jan Kurzyk

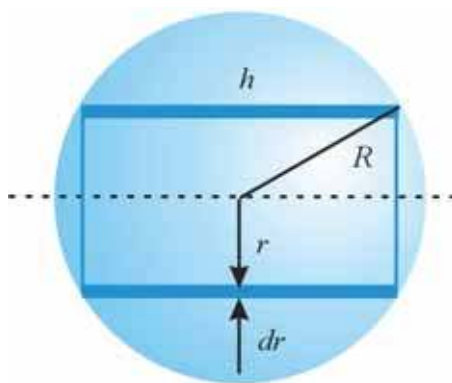
Moment bezwładności ciała o symetrii cylindrycznej

Przez ciało o symetrii cylindrycznej będę rozumiał bryłę sztywną, której symetria jest złożeniem symetrii płaszczyznowej z obrotem o dowolny kąt wokół osi symetrii prostopadłej do płaszczyzny symetrii [1]. Przy czym chodzi nie tylko o kształt, ale również rozkład gęstości. Nasze rozważania ograniczę do ciał jednorodnych. Wówczas gęstość jest stała w całej objętości wypełnionej materiałem, z którego zbudowane jest ciało i symetria dotyczy tylko kształtu ciał. Oczywiście nie mam tu na myśli kształtu zewnętrznego. Na przykład inaczej będzie się zachowywać pełna kula, a inaczej piłka.

Moment bezwładności I jednorodnego ciała o symetrii cylindrycznej względem osi obrotu będącej osią symetrii (obrotowej) możemy wyliczyć ze wzoru

$$I = \int_V r^2 \rho dv = 2\pi\rho \int_0^R r^3 h(r) dr,$$

gdzie r jest odległością od osi obrotu, ρ jest gęstością materiału, z którego wykonano ciało (w naszych rozważaniach stałą w całej objętości V) i $h(r)$ długością ciała (czasami sumą długości poszczególnych fragmentów) mierzoną równoległe do osi obrotu w odległości od niej (patrz rysunek 1 dla kuli).



Rysunek 1. Schemat podziału kuli na nieskończenie cienkie elementy objętościowe dv w kształcie cylindrów.

Na przykład dla jednorodnej kuli o masie m i promieniu R mamy (patrz rysunek 1)

$$I = 4\pi\rho \int_0^R r^3 (\sqrt{R^2 - r^2}) dr.$$

Stąd po prostych rachunkach dostajemy

$$I = \frac{2}{5} mR^2.$$

Generalnie dla ciał o symetrii cylindrycznej moment bezwładności bryły względem osi symetrii (obrotowej) możemy zapisać wzorem

$$I = bmR^2$$

gdzie m jest masą ciała, R jego promieniem rozumianym jako odległość od osi symetrii punktów ciała najbardziej oddalonych od tej osi (te punkty mają styczność z podłożem podczas toczenia się ciała), a b bezwymiarowym współczynnikiem. W naszych rozważaniach ograniczymy się do ciał jednorodnych typu: kula, walec, sfera (cienkościenna powłoka kulista; w praktyce chodzi o bryłę typu piłka) i cienkościenny cylinder (w praktyce chodzi o cienkościenną rurę dowolnej długości, w szczególności cienkościenny pierścień). Dla tych czterech wymienionych typów brył współczynnik jest zależny jedynie od typu ciała. Wartości tych współczynników podano w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości parametrów b oraz momentów bezwładności czterech jednorodnych ciał: kuli, walca, cienkościennej powłoki kulistej i cienkościnnego cylindra.

Typ ciała	Wartość parametru b	Moment bezwładności względem osi symetrii
Kula	$\frac{2}{5}$	$\frac{2}{5}mR^2$
Walec	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}mR^2$
Cienkościenna powłoka kulista	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}mR^2$
Cienkościenny cylinder	1	mR^2

W doświadczeniu opisanym niżej użyłem również innej bryły o symetrii cylindrycznej. Jej kształt przedstawia rysunek 2.



Rysunek 2. Jedno z ciał użytych podczas doświadczenia.

Bryła ta składa się z 7 współśrodkowych walców, trzech dużych i czterech mniejszych. Znajdźmy współczynnik b tego ciała. Niech masa bryły wynosi m , a promień większych walców R . Oznaczmy łączną masę mniejszych walców przez m_1 , a ich promień przez R_1 . Zaś łączną masę większych walców oznaczmy przez m_2 . Wówczas moment bezwładności tej bryły względem głównej osi symetrii jest równy

$$I = \frac{1}{2}m_2R^2 + \frac{1}{2}m_1R_1^2.$$

Zapiszmy to wyrażenie następująco

$$I = \frac{1}{2} \frac{m_2}{m} \cdot mR^2 + \frac{1}{2} \frac{m_1R_1^2}{mR^2} \cdot mR^2 = \frac{m_2R^2 + m_1R_1^2}{2mR^2} \cdot mR^2.$$

Nasz bezwymiarowy b współczynnik dla tego ciała wynosi zatem

$$b = \frac{m_2R^2 + m_1R_1^2}{2mR^2}$$

i jak widać zależy od szczegółów budowy, w przeciwieństwie do współczynników wymienionych wyżej czterech typów ciał. Dla tej konkretnej przedstawionej tu bryły współczynnik ten wynosi

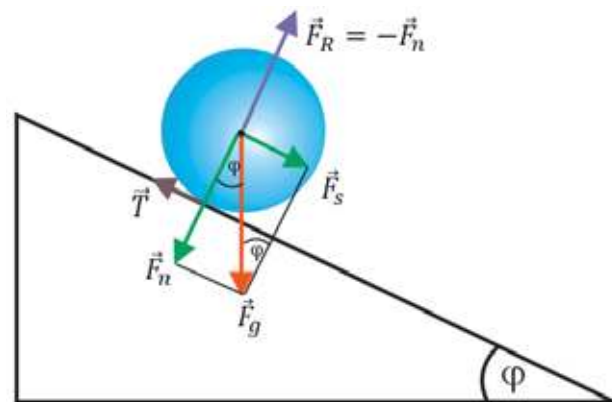
$$b \cong 0,502.$$

czyli jest bardzo bliski współczynnikowi dla zwykłego walca ($b = 0,5$). Dlatego też bryłę tę, w opisanym niżej doświadczeniu, wykorzystałem w roli walca obok dwóch innych walców przedstawionych na rysunku 4 b.

Staczanie się z równi bez poślizgu

W naszych rozważaniach zakładamy, że współczynnik tarcia toczonego jest dużo mniejszy od współczynników tarcia posuwistego (statycznego i kinematycznego) i w związku z tym pominiemy tarcie toczone [2], [3].

Przyjrzyjmy się siłom działającym na ciało ułożone na równi pochyłej tak, że jej oś symetrii jest pozioma i równoległa do płaszczyzny równi. Rozkład tych sił przedstawia rysunek 3.



Rysunek 3. Rozkład sił działających na symetryczne ciało na równi pochyłej.

Wartość siły ciężkości działającej na ciało wynosi

$$F_g = mg,$$

a jej składowe mają wartości

$$F_s = mg \sin \varphi, \quad F_n = mg \cos \varphi.$$

W powyższych wzorach g jest wartością przyspieszenia ziemskiego. Siła $\vec{F}_R$ jest reakcją równi na nacisk ciała. Jest ona równoważona składową siły $\vec{F}_n$ ciężkości. Wobec tego wypadkową siłą działającą na ciało jest różnica składowej F_s siły ciężkości i siły tarcia $\vec{T}$. Równanie ruchu postępowego przyjmuje zatem postać

$$mg \sin \varphi - T = ma,$$

gdzie a jest wartością przyspieszenia liniowego środka ciężkości ciała. Sprawdźmy jaki warunek musi być spełniony, aby ciało o symetrii cylindrycznej mogło się staczać z równi bez poślizgu. Podczas toczenia się bez poślizgu chwilowa prędkość liniowa (względem osi symetrii ciała) punktów stykających się z podłożem musi być równa chwilowej prędkości liniowej środka masy ciała.

Jeśli chwilowa prędkość kątowa wynosi ω , a chwilowa prędkość liniowa środka masy wynosi v , to z powyższego warunku dostajemy

$$\omega R = v.$$

W konsekwencji między przyspieszeniem kątowym ε ciała i przyspieszeniem liniowym jego środka masy a mamy następujący związek

$$\varepsilon R = a.$$

Rozważając ruch obrotowy ciała przedstawionego na rysunku 3 względem osi prostopadłej do rysunku i przechodzącej przez środek masy widzimy, że siłą odpowiedzialną za powstanie momentu siły względem środka masy ciała jest siła tarcia. Równanie ruchu obrotowego względem tej osi przyjmuje postać

$$TR = I\varepsilon.$$

A zakładając, że ruch odbywa się bez poślizgu dostajemy

$$TR = I \frac{a}{R}.$$

Dla ciał o symetrii cylindrycznej
 $I = b m R^2.$

Stąd

$$TR = b m R^2 \frac{a}{R}.$$

czyli

$$a = \frac{T}{bm}.$$

Wstawmy otrzymaną wartość przyspieszenia do równania ruchu postępowego

$$mg \sin \varphi - T = m \frac{T}{bm}.$$

I wyliczmy stąd wartość siły tarcia

$$T = \frac{b}{1+b} mg \sin \varphi$$

Aby ciało mogło staczać się z równi bez poślizgu wyliczona powyżej wartość siły tarcia nie może być większa od maksymalnej wartości siły tarcia, która wynosi

$$T_{maks.} = \mu F_n = mg \mu \cos \varphi,$$

gdzie μ jest współczynnikiem tarcia statycznego ciała o powierzchnię równi. Bierzymy tu współczynnik tarcia statycznego, gdyż podczas toczenia się bez poślizgu prędkość chwilowa punktów styczności ciała z równią mierzona względem równi jest zerowa. Łącząc oba wyrażenia otrzymujemy warunek, jaki musi być spełniony, aby ciało mogło staczać się z równi pochyłej bez poślizgu

$$\frac{mbg \sin \varphi}{1+b} \leq mg \mu \cos \varphi,$$

czyli

$$\pi \geq \frac{b}{1+b} \tan \varphi$$

lub

$$\tan \varphi \leq \frac{1+b}{b} \mu.$$

A zatem maksymalny kąt nachylenia równi, po której bryła o symetrii cylindrycznej może staczać się bez poślizgu wynosi

$$\varphi_{maks.} = \arctg \left(\frac{1+b}{b} \mu \right).$$

Jak widzimy kąt ten jest zależny jedynie od współczynnika tarcia i współczynnika b , czyli w przypadku rozważanych tu czterech typów brył (kula, walec, sfera, cylinder cienkościenny) nie zależy ani od masy, ani od promienia staczającego się ciała. W przypadku walca i cylindra nie ma również znaczenia długość tych brył. Tabela 2 przedstawia graniczne wartości kątów nachylenia równi, przy których wymienione ciała staczają się z równi bez poślizgu.

Tabela 2. Maksymalny kąt $\varphi_{maks.}$ nachylenia równi, przy którym jednorodne ciała: kula, walec, cienkościenna powłoka kulista i cienkościenny pierścień mogą staczać się bez poślizgu.

Typ ciała	$\varphi_{maks.}$
Kula	$\arctg \left(\frac{7}{2} \mu \right)$
Walec	$\arctg \left(\frac{6}{2} \mu \right)$
Cienkościenna powłoka kulista	$\arctg \left(\frac{5}{2} \mu \right)$
Cienkościenny cylinder	$\arctg \left(\frac{4}{2} \mu \right)$

Przyspieszenie i czas staczania się z równi bez poślizgu

Załóżmy, że dla rozważanych ciał spełniony jest warunek pozwalający na staczanie się z równi bez poślizgu, czyli tarcie może osiągnąć wymaganą wartość $\frac{b}{1+b} mg \sin \varphi$. Wówczas równanie ruchu postępowego przyjmuje postać

$$mg \sin \varphi - \frac{b}{1+b} mg \sin \varphi = ma.$$

Stąd znajdujemy przyspieszenie staczającego się ciała

$$a = \frac{b}{1+b} g \sin \varphi.$$

Wartości bezwzględne i względne (w odniesieniu do przyspieszenia kuli) przyśpieszeń kuli, walca sfery i cienkościennego cylindra pokazuje tabela 3.

Znając przyspieszenie możemy wyliczyć czas staczania się tych ciał z wysokości h równi pochyłej. Czas ten wynosi

$$t = \sqrt{2 \frac{(1+b)h}{g \sin^2(\varphi)}}.$$

Wartości bezwzględne i względne czasów staczania się kuli, walca, sfery i cienkościennego cylindra pokazuje tabela 4.

Zauważmy, że otrzymane wzory na przyspieszenie i czas staczania się z równi bez poślizgu nie zawierają ani masy, ani promienia toczących się ciał (oraz długości w przypadku walca czy cylindra). Zależą jednak od parametru b występującego we wzorze na moment bezwładno-

Tabela 3. Przyspieszenia staczania się bez poślizgu z równi pochyłej czterech jednorodnych ciał: kuli, walca, cienkościennej powłoki kulistej i cienkościennego cylindra. W tabeli podano przyspieszenia bezwzględne oraz względne w odniesieniu do przyspieszenia kuli.

Typ ciała	Przyspieszenie bezwzględne	Przyspieszenie względne
Kula	$\frac{5}{7}g\sin(\varphi)$	1
Walec	$\frac{2}{3}g\sin(\varphi)$	$\frac{14}{15} \approx 0,93$
Cienkościenne powłoka kulista	$\frac{3}{5}g\sin(\varphi)$	$\frac{21}{25} \approx 0,84$
Cienkościenny cylinder	$\frac{1}{2}g\sin(\varphi)$	$\frac{7}{10} \approx 0,70$

Tabela 4. Czasy staczania się bez poślizgu z wysokości h równi pochyłej czterech jednorodnych ciał: kuli, walca, cienkościennej powłoki kulistej i cienkościennego cylindra. W tabeli podano czasy bezwzględne oraz względne w odniesieniu do czasu staczania się kuli.

Typ ciała	Czas staczania się (bezwzględny)	Czas staczania się (względny)
Kula	$\sqrt{\frac{14}{5}} \cdot \sqrt{\frac{h}{g\sin^2(\varphi)}}$	1
Walec	$\sqrt{3} \cdot \sqrt{\frac{h}{g\sin^2(\varphi)}}$	$\sqrt{\frac{15}{14}} \approx 1,04$
Cienkościenne powłoka kulista	$\sqrt{\frac{10}{3}} \cdot \sqrt{\frac{h}{g\sin^2(\varphi)}}$	$\sqrt{\frac{25}{21}} \approx 1,09$
Cienkościenny cylinder	$\sqrt{4} \cdot \sqrt{\frac{h}{g\sin^2(\varphi)}}$	$\sqrt{\frac{10}{7}} \approx 1,20$

ści ciał o symetrii cylindrycznej (patrz tabela 1). Oznacza to, że każdy rodzaj ciała o symetrii cylindrycznej będzie staczać się z równi pochyłej z przyspieszeniem charakterystycznym dla danego rodzaju ciała. Dla przykładu wszystkie kule, niezależnie od ich mas i promieni staczając się bez poślizgu z równi pochyłej o danym nachyleniu będą się staczać z tym samym przyspieszeniem. Podobnie będzie dla walców, powłok kulistych (piłek), czy cylindrów cienkościennych (rur, pierścieni). Przeglądając się tabelom 3 i 4 widzimy, że spośród tych czterech typów brył najszybciej będą się staczać bez poślizgu kule, potem walce, następnie piłki, a najwolniej rurki niezależnie od tego jakie masy i promienie mają te ciała, jaki jest kąt nachylenia równi i jaką wartość ma współczynnik tarcia (pod warunkiem, że kąt nachylenia równi jest nie większy niż kąt graniczny, dla którego możliwe jest staczanie się bez poślizgu).

Doświadczenie

Wyciągnięte powyżej wnioski są zwykle przyjmowane z niedowierzaniem. Warto więc poprzeć teorię eksperymentem, aby przekonać niedowiarków (w ostateczności można skorzystać z zasobów Internetu, np. obejrzeć film prof. Waltera Lewina [4]).

Do doświadczenia przygotowałem po trzy sztuki brył każdego typu różniące się masą i promieniami (patrz rysunek 4, pierwsza kolumna):

- Trzy stalowe kulki o bardzo różnych średnicach.
- Dwa różne stalowe walce i, z powodu braku trzeciego walca, ciało będące połączeniem siedmiu współśrodkowych walców, trzech większych i czterech małych walców (dla tej bryły $b \approx 0,502$, więc niewiele odbiega od współczynnika dla jednorodnego walca równego dokładnie 0,5; patrz opis w pierwszym punkcie artykułu).
- W roli powłok kulistych – piłkę gumową, piłeczkę tenisową i ping pong.
- W roli cylindrów cienkościennych – stalowy pierścień, rurkę miedzianą i rurkę z tworzywa sztucznego.

Równię pochyłą wykonałem z półki meblowej. Bryły staczały się z wysokości ok. 27 cm mierzonej do wysokości, na której leżała dolna krawędź górnej powierzchni półki. Do tej krawędzi półki bryły miały do pokonania ok. 125 cm. Stąd można wyliczyć, że kąt nachylenia równi wynosił ok. $12^\circ,2$. U podnóża równi warto utworzyć wał np. z ręczników, które będą wylapywać staczające się ciała. Na równi w odpowiednim miejscu narysowałem linię, wzdłuż której układałem staczające się ciała i przytrzymywałem je listewką. Następnie uwalniałem ciała przez odpowiednie usunięcie listewki (ten ruch trzeba przeciwżyć). Wykonywałem próby staczania się trzech ciał każdego typu (rysunek 4 (a)-(d)), a na koniec reprezentantów tych czterech typów ciał (rysunek 4 (e)). Każdą próbę rejestrowałem za pomocą aparatu fotograficznego umieszczonego na statywie naprzeciwko równi. Wybrane kadry nakręconych filmów przedstawia rysunek 4. W tabeli 5 zebrałem czasy staczania się tych ciał wyliczone z wzorów podanych w tabeli 4 oraz czasy odczytane z kadrów nakręconych filmów.

Czas staczania się ciał mierzyłem na podstawie liczby klatek filmu rejestrującego ruch. Klatki filmu następują co 0,04 s. Wobec tego zdarzało się, że film nie zawierał kadru, na którym ciała znajdowałyby się na tyle blisko dolnej krawędzi półki, żeby można uznać czas tego kadru za czas końcowy. Wówczas czas końcowy ustalałem na podstawie położenia ciał na dwóch „końcowych” klatkach. To znaczy na klatce, na której ciała były jeszcze na równi, ale powyżej krawędzi półki i klatce następnej, gdy ciała już były poza równią. Nieco gorzej jest z ustaleniem momentu startu. Za początek ruchu uznawałem czas pierwszego kadru, na którym widać przesunięcie listewki, ale nie ma pewności czy ruch nie rozpoczął się w czasie pomiędzy kadrem z zarejestrowanym ruchem listewki, a kadrem poprzednim (analogicznie do sytuacji z osiągnięciem podnóża równi). W związku z powyższym czas ruchu może być nieco większy niż czas wyznaczony opisanym sposobem.

Jak pokazuje tabela 5 zmierzone w ten sposób czasy niewiele różnią się od wartości teoretycznych. Różnice między czasem zmierzonym, a teoretycznym w żadnej próbie nie przekroczyły czasu trwania dwóch klatek filmu, czyli ok 0,08 s.

				
(a)	$t \approx 0,1s$	$t \approx 0,9s$	$t \approx 1,2s$	$t \approx 1,28s$
				
(b)	$t \approx 0,1s$	$t \approx 0,9s$	$t \approx 1,2s$	$t \approx 1,30s$
				
(c)	$t \approx 0,1s$	$t \approx 0,9s$	$t \approx 1,2s$	$t \approx 1,48s$
				
(d)	$t \approx 0,1s$	$t \approx 0,9s$	$t \approx 1,2s$	$t \approx 1,56s$
				
(e)	$t \approx 0,1s$	$t \approx 0,9s$	$t \approx 1,2s$	$t \approx 1,32$

Rysunek 4. Pierwsza kolumna przedstawia ciała, które wykorzystałem w doświadczeniu. W następnych kolumnach umieszczone są kadry z filmów nakręconych podczas stacjonowania się każdej grupy ciał

Tabela 5. Czasy staczania się bez poślizgu z wysokości $h \approx 27$ cm równi pochyłej o kącie nachylenia ok. 12° , 2 czterech jednorodnych ciał: kuli, walca, cienkościennej powłoki kulistej i cienkościnnego cylindra. Podano czasy wyliczone ze wzorów z tabeli 4 oraz czasy odczytane na podstawie kadrów nakręconych filmów.

Typ ciała	Czas staczania się wyliczony [s]	Przykładowy zmierzony czas staczania się [s]
Kula	1,31	1,28
Walec	1,36	1,32
Cienkościenne powłoka kulista	1,43	1,48
Cienkościnnie cylinder	1,57	1,56

Energia ciała staczającego się bez poślizgu

Korzystając z otrzymanych wyżej wzorów na przyspieszenie i czas staczania się ciał o symetrii cylindrycznej możemy wyliczyć szybkość tych ciał u podnóża równi

$$v = at = \frac{1}{1+b} g \sin \varphi \sqrt{2 \frac{(1+b)h}{g \sin^2(\varphi)}} = \sqrt{\frac{2gh}{1+b}}.$$

Zauważmy kolejną własność staczania się brył o symetrii cylindrycznej bez poślizgu. Szybkość ciała staczającego się bez poślizgu z danej wysokości nie zależy od kąta nachylenia równi [3]. Oczywiście jest to konsekwencja zasady zachowania energii. Całkowita energia kinetyczna toczącego się ciała o symetrii cylindrycznej jest równa

$$E = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{b m R^2 \omega^2}{2}.$$

W przypadku, gdy mamy do czynienia z toceniem się bez poślizgu dostajemy

$$E = (1+b) \frac{mv^2}{2}.$$

A zatem po stoczeniu się bez poślizgu z wysokości h równi, energia ciała będzie równa

$$E = \frac{(1+b)m}{2} \frac{2gh}{1+b} = mgh.$$

Jak widzimy energia ta jest równa początkowej energii potencjalnej ciała względem podnóża równi. Oznacza to, że w przypadku staczania się z równi bez poślizgu siła tarcia nie prowadzi do dyssypacji energii. Na co zatem zamienia się praca siły tarcia, jeśli nie na ciepło jak to ma miejsce w przypadku ślizgania się ciał? Jak wyliczyliśmy wcześniej podczas staczania się bez poślizgu siła tarcia ma wartość

$$\frac{b}{1+b} m g \sin \varphi.$$

Przy staczaniu się z wysokości h równi, siła tarcia działa na drodze

$$s = \frac{h}{\sin \varphi}.$$

Czyli praca siły tarcia wynosi

$$W = T s = \frac{b}{1+b} m g h.$$

Tyle samo wynosi energia kinetyczna ruchu obrotowego ciała, które stoczyło się bez poślizgu z wysokości h :

$$E = \frac{I\omega^2}{2} = \frac{b m v^2}{2} = \frac{b m}{2} \frac{2gh}{(1+b)} m g h = W.$$

Czyli praca wykonana przez siłę tarcia zamieniła się na energię kinetyczną ruchu obrotowego. Zauważmy również, że energia kinetyczna każdego z rozważanych tu ciał (i wszystkich innych o symetrii cylindrycznej) dzieli się na energię ruchu postępowego i obrotowego w proporcjach charakterystycznych dla typu ciała zależnym od wartości parametru b i niezależnym ani od masy, ani od promienia ciała. Ten fakt, w połączeniu z zasadą zachowania energii, potwierdza otrzymane wcześniej wyniki, tzn. niezależność przyspieszenia staczającego się bez poślizgu ciała od jego masy i promienia. Gdyby to przyspieszenie zależało od masy lub promienia, to podział energii kinetycznej na energię ruchu postępowego i obrotowego również zależałby od tych cech ciała, a nie zależałby.

Staczanie się z poślizgiem

Analizując ruch z poślizgiem w dalszym ciągu nie będę uwzględniał tarcia tocznego, a jedynie tarcie posuwiste. Jednak tym razem punkty styczności ciała z równią mają niezerową prędkość względem równi, więc licząc tarcie musimy użyć współczynnika tarcia kinetycznego. Dla uproszczenia założmy, że oba współczynniki mają taką samą wartość. Oznaczmy współczynnik tarcia kinetycznego tym samym symbolem, którym oznaczaliśmy wcześniej współczynnik tarcia statycznego, czyli μ .

Jeśli kąt nachylenia równi będzie większy od maksymalnego, przy którym dochodzi jeszcze do staczania się bez poślizgu (przypomnijmy, że jest to kąt, dla którego $\tan \varphi = \frac{1+b}{b} \mu$), to tarcie, które wówczas będzie osiągało swą największą wartość $m g \mu \cos \varphi$ będzie za małe, aby ciało mogło staczać się bez poślizgu.

Z równań ruchu opisujących ruch postępowy i obrotowy ciała wyliczymy, że ciało będzie się poruszać ruchem postępowym z przyspieszeniem o wartości

$$a = g(\sin \varphi - \mu \cos \varphi)$$

oraz ruchem obrotowym z przyspieszeniem kątowym o wartości

$$\varepsilon = \frac{g \mu \cos \varphi}{b R}.$$

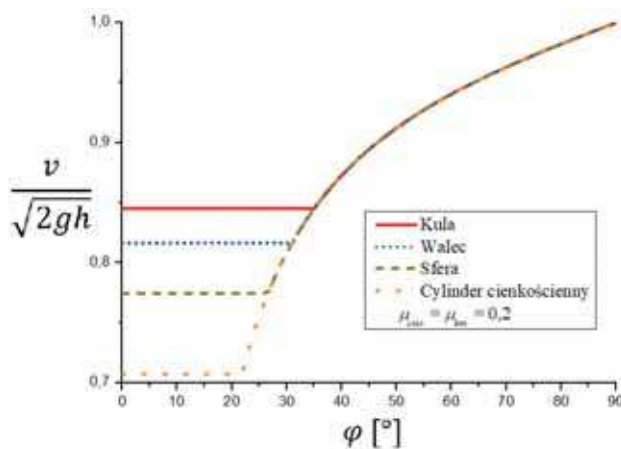
Staczanie się z wysokości h będzie trwało

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g \sin \varphi (\sin \varphi - \mu \cos \varphi)}}.$$

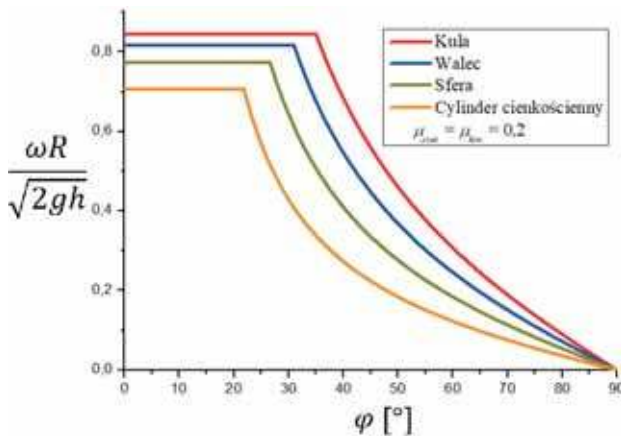
Po tym czasie ciało osiągnie prędkość liniową o wartości

$$v = \sqrt{2gh(1 - \mu \tan \varphi)}$$

oraz prędkość kątową o wartości



Rysunek 5. Końcowa względna prędkość ($\frac{v}{\sqrt{2gh}}$) ciała po stoczeniu się z wysokości h równi pochyłej w funkcji kąta nachylenia równi. Prędkości liczone są względem prędkości ciała spadającego swobodnie z wysokości h . Wykresy dotyczą dowolnych jednorodnych ciał typu: kula, walec, sfera i cienkościenny cylinder w przypadku, gdy współczynniki tarcia kinetycznego i statycznego są równe 0,2.



Rysunek 6. Końcowa względna prędkość punktów na obwodzie ciała ($\frac{\omega R}{\sqrt{2gh}}$) po stoczeniu się z wysokości h równi pochyłej w funkcji kąta nachylenia równi. Prędkości liczone są względem prędkości ciała spadającego swobodnie z wysokości h . Wykresy dotyczą dowolnych jednorodnych ciał typu: kula, walec, sfera i cienkościenny cylinder w przypadku, gdy współczynniki tarcia kinetycznego i statycznego są równe 0,2.

$$\omega = \frac{\mu}{bR} \sqrt{\frac{2gh}{\tan^2 \varphi - \mu \tan \varphi}}$$

Jak widzimy obie prędkości zależą od kąta nachylenia równi. Przypomnijmy, że w przypadku staczania się bez poślizgu końcowa prędkość (liniowa i kątowa) staczania się z danej wysokości nie zależy od kąta nachylenia równi. Dodatkowo zauważmy, że teraz końcowa prędkość liniowa nie zależy od typu ciała. Jest ona dokładnie taka, jaką osiągnąłby klocek zsuwający się z równi przy tej samej wartości współczynnika tarcia kinetycznego. Przykładowe zależności względnej końcowej prędkości środka ciężkości i punktów na obwodzie ciała w funkcji nachylenia równi przedstawiają wykresy na rysunkach odpowiednio 5 i 6. Obie prędkości są liczone względem prędkości ciała spadającego swobodnie z wysokości h .

Po stoczeniu się ciała z poślizgiem z wysokości h równi pochyłej jego całkowita energia kinetyczna będzie równa

$$E = mgh(1 - \mu \tan \varphi) + \frac{mgh\mu^2}{b} + \frac{1}{\tan 2\varphi - \mu \tan \varphi}$$

lub inaczej

$$E = mgh - \frac{mgh\mu}{b \tan \varphi} \left(b - \frac{\mu}{\tan \varphi - \mu} \right).$$

Występujący tu wyraz

$$\Delta E = \frac{mgh\mu}{b \tan \varphi} \left(b - \frac{\mu}{\tan \varphi - \mu} \right)$$

opisuje ilość energii mechanicznej ciała, która zostanie zamieniona na ciepło. Jest ona mniejsza od ciepła, jaka się wydzieli podczas zsuwania się klocka, gdyż teraz część pracy siły tarcia zamienia się na energię kinetyczną ruchu obrotowego staczającego się ciała. Łatwo sprawdzić, że dla skrajnych kątów, czyli maksymalnego kąta, dla którego ma jeszcze miejsce staczanie się bez poślizgu ($\arctg(\frac{1+b}{b}\mu)$) oraz dla maksymalnego kąta nachylenia $\pi/2$ strata energii jest zerowa. Dla pierwszego z tych kątów jest tak dlatego, że wówczas mamy jeszcze do czynienia ze staczaniem się bez poślizgu. Dla drugiego z tych kątów ze względu na brak nacisku na równię, a tym samym brak tarcia (ruch jest wówczas spadkiem swobodnym). Skoro na końcach przedziału kątów, dla którego ma sens powyższy wzór, strata energii jest zerowa, to musi istnieć przynajmniej jeden kąt, dla którego nasza funkcja ma w tym przedziale maksimum, czyli kąt, dla którego straty energii są największe. Można sprawdzić, że istnieje dokładnie jeden taki kąt. Jest to kąt, którego tangens wynosi

$$\tan \varphi_m = \mu \frac{\sqrt{b+1} + b + 1}{b}.$$

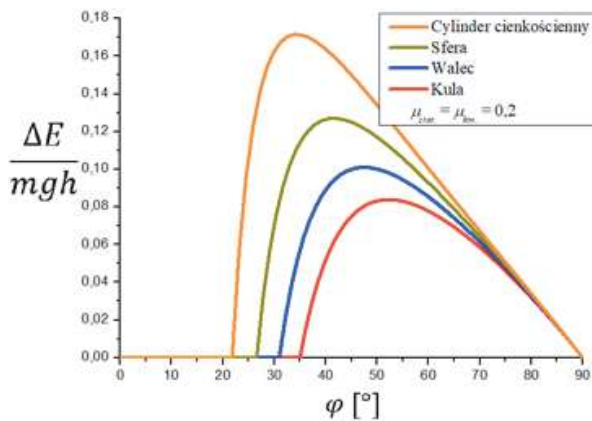
Zauważmy, że kąt ten zależy tylko od współczynnika tarcia μ oraz parametru b , czyli przy tym samym współczynniku tarcia będzie różny dla różnych typów ciał o symetrii cylindrycznej. Natomiast maksymalna względna strata energii (liczona względem energii początkowej) jest równa

$$\frac{\Delta E_m}{mgh} = \frac{\sqrt{b+1} - 1}{\sqrt{b+1} + 1}$$

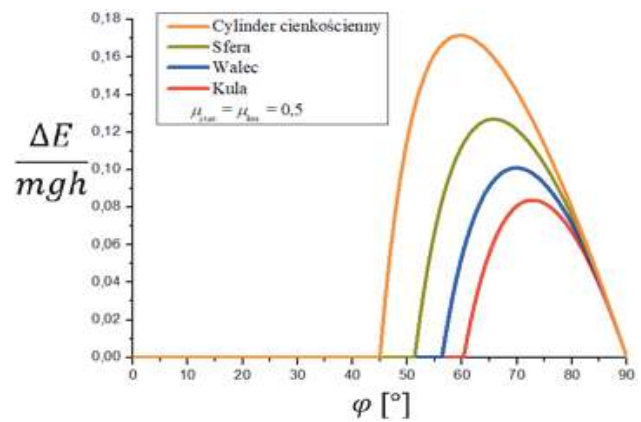
i jak widać zależy jedynie od typu ciała, a nie zależy ani od masy i rozmiarów ciała, ani od współczynnika tarcia. Od współczynnika tarcia zależy jedynie położenie maksimum i graniczny kąt, dla którego staczanie jest bez poślizgu a tym samym bez strat energii (patrz rysunek 7). W tabeli 6 zebrano wartości maksymalnych względnych strat energii (liczonych względem energii początkowej) dla czterech jednorodnych ciał: kuli, walca, cienkościennej powłoki kulistej i cienkościennego cylindra.

Tabela 6. Przybliżone wartości maksymalnych względnych strat energii (liczonych względem energii początkowej) dla czterech jednorodnych ciał: kuli, walca, cienkościennej powłoki kulistej i cienkościennego cylindra.

Typ ciała	$\frac{\Delta E_m}{mgh}$
Kula	$\approx 0,0839$
Walec	$\approx 0,101$
Cienkościenna powłoka kulista	$\approx 0,127$
Cienkościenny cylinder	$\approx 0,172$



(a)



(b)

Rysunek 7. Względna strata energii ciała (liczona względem energii początkowej) po stoczeniu się z równi pochyłej w funkcji kąta nachylenia równi. Wykresy dotyczą dowolnych jednorodnych ciał typu: kula, walec, sfera i cienkościenny cylinder. Na rysunku (a) współczynniki tarcia kinetycznego i statycznego są równe 0,2, a na rysunku (b) 0,5. Warto zauważyć, że maksymalna względna wartość straty energii zależy jedynie od typu ciała, a nie zależy od współczynników tarcia (patrz tekst główny).

Wcześniej pokazałem, że podczas staczania się ciał bez poślizgu praca siły tarcia była całkowicie zamieniana na energię kinetyczną ruchu obrotowego. Natomiast, gdy ciało stacza się z poślizgiem energia kinetyczna ruchu obrotowego E_0 osiągnie wartość

$$E_0 = \frac{mgh\mu^2}{b} \frac{1}{\tan^2\varphi - \mu \tan\varphi}.$$

Odejmując od pracy wykonanej przez siłę tarcia ($W_T = \frac{mgh\mu}{\tan\varphi}$) energię kinetyczną ruchu obrotowego dostajemy energię zamienioną na ciepło wynoszącą dokładnie tyle ile wyliczyliśmy wcześniej odejmując od energii początkowej całkowitą końcową energię kinetyczną

$$W_T - E_0 = \frac{mgh\mu}{b \tan\varphi} \left(b - \frac{\mu}{\tan\varphi - \mu} \right) = mgh - E_c.$$

Na koniec odnotujmy jeszcze, że prędkość, jaką osiągnie ciało po stoczeniu się z wysokości h równi pochyłej nachylonej pod kątem, dla którego względna strata energii jest największa ma wartość

$$v_m = \sqrt{2gh \frac{b+1+\sqrt{b+1}}{(b+1+\sqrt{b+1})b}}.$$

A prędkość liniowa punktów stykających się z równią osiągnie wówczas wartość

$$\omega_m R = \sqrt{2gh \frac{\sqrt{b+1}-1}{(b+1+\sqrt{b+1})b}}.$$

Stosunek tych prędkości wynosi

$$\frac{\omega_m R}{v_m} = \frac{\sqrt{b+1}-1}{b}.$$

Wartości tego stosunku przedstawiłem w tabeli 7.

W artykule przedstawiłem prosty i znany wszystkim problem, jakim jest staczanie się ciał o symetrii cylindrycznej z równi pochyłej. Motywacją do napisania artykułu było zwrócenie uwagi na aspekty tego problemu,

Tabela 7. Przybliżone wartości stosunku prędkości liniowej punktów stykających się z podłożem i prędkości liniowej środka masy dla czterech jednorodnych ciał: kuli, walca, cienkościennej powłoki kulistej i cienkościennego cylindra podczas staczania się z poślizgiem z równi pochyłej nachylonej pod kątem, przy którym dochodzi do maksymalnej względnej straty energii mechanicznej.

Typ ciała	$\frac{\omega_m R}{v_m}$
Kula	$\approx 0,458$
Walec	$\approx 0,449$
Cienkościenna powłoka kulista	$\approx 0,436$
Cienkościenny cylinder	$\approx 0,414$

które moim zdaniem są zbyt słabo podkreślane. Chodzi mi o wiele właściwości tego ruchu zależnych jedynie od typu ciała, a niezależnych od mas i promieni staczających się ciał. Właściwości te są nieoczywiste i zawsze zaskakują osoby stykające się z tym po raz pierwszy, a przez to budzą ich zainteresowanie. Warto to wykorzystać i warto przy tej okazji wzbogacić rozważania teoretyczne o proste doświadczenie potwierdzające wyciągnięte wnioski. Do czego zachęcam.

dr Jan Kurzyk
Instytut Fizyki Politechniki Krakowskiej

LITERATURA

- [1] https://pl.wikipedia.org/wiki/Symetria_figury, (dostęp 12.04.2018).
- [2] A. K. Wróblewski, J. A. Zakrzewski, Wstęp do fizyki, t. 1, PWN, Warszawa 1976.
- [3] T. M. Molenda, *Prędkość kulki staczającej się z równi pochyłej*, Foton 132, Wiosna 2016. Wersja elektroniczna <http://www.foton.if.uj.edu.pl/document-s/12579485/1b9f1322-396d-42a3-ba2e-127d45f5159>, (dostęp 12.04.2018).
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=cB8GNQuYMPc>, (dostęp 12.04.2018).

Jak poprawić nastawienie do uczenia się fizyki?

Poprawiać można wiele różnych spraw. Chodzi o pozytywne zmiany, które są naturalną częścią naszej pracy i życia. Czy można zmienić nasze nastawienie, np. do ludzi, szkoły czy do uczenia się fizyki? Uczniowie zwykle traktują fizykę jako trudną naukę, bo wymaga rozumienia istoty i znaczenia zjawisk. A nastawienie do niej jest różne. Jak je poprawić?



Julian Piotr Sawiński

Pozytywne nastawienie

Pozytywne, dobre nastawienie człowieka do czegoś lub kogoś, jak „dobra zmiana”, choć sama nazwa mówi, że jest dobra – to wcale dobrą być nie musi. Bo to, co jest dobre (użyteczne, oczekiwane) dla jednych nie jest takie dla innych. Podobnie jest z nagrodami i naszym nastawieniem. Nauczyciel powinien **mieć świadomość**, że to, co dla jednego ucznia jest nagrodą (przyjemnością) dla innego takie nie jest. Niektórzy uczniowie są pozytywnie nastawieni do uczenia się fizyki, a inni wyraźnie negatywnie.

Prawdą jest, że teraz dużo się mówi, pisze i dyskutuje o „dobrej zmianie”. A nastawienie do niej jest różne. Nastawienie jest istotnym składnikiem osobowości, swoistym wyobrażeniem siebie i **gotowością do reagowania** na określone sytuacje. Dla nas nauczycieli istotne jest rozpoznanie tej gotowości i rozumienie jego znaczenia oraz pytanie: Skąd bierze się pozytywne (dobre) lub negatywne, szkodliwe (złe) nastawienie do szkoły, nauczycieli czy też do konkretnego przedmiotu nauczania?

Pozytywne nastawienie ułatwia koncentrację uwagi i spostrzeganie oraz **podejmowanie decyzji**. Odgrywa istotne znaczenie w naszym spostrzeganiu innych ludzi i podejmowaniu zadań, decyzji. Jak w edukacji zmienić nastawienie? Dlaczego i jak nastawić się na uczenie się, zdobywanie sukcesów i na swój własny rozwój? Jest ono przecież istotnym składnikiem osobowości, swoistym wyobrażeniem siebie. Warto wiedzieć, jak je poprawić w szkole?

Psychologia uczy nas, że nasze nastawienie do ludzi, siebie samego i do przyrody, i świata w ogóle, bardzo

łączy się z ludzkimi postawami oraz motywacją. Sens i znaczenie oraz ich powiązania pokazuje np. Władysław Kozłowski [1993¹] w rozdziale pt. **Postawy i nastawienia** – w *Encyklopedii pedagogicznej* wydanej ponad 20 lat temu przez „Fundację Innowacja” w Warszawie. Nastawienie odgrywa kluczową rolę w naszym spostrzeganiu i decydowaniu. Warto sobie przypomnieć relacje między postawą, przekonaniem a nastawieniem!

Pisząc o tym niedawno do dyrektorów szkół, tj. o ich zawodowych sukcesach i porażkach, Klemens Stróżyński [2016²] – bardzo słusznie wskazał, że to, co dla jednej osoby jest przyjemnością, nagrodą, dla innej tym zupełnie nie jest. Dosłownie napisał, że:

➔ **Bardzo ważne, by dyrektor miał świadomość, że co dla jednego typu osobowości jest nagrodą (czyli zaspokaja potrzeby), niekoniecznie jest nią dla drugiego.**

Pozycja nastawienia z relacjach

Pogłębienie swojej wiedzy o relacjach międzyludzkich i sposobach komunikacji jest z wielu względów zadaniem każdego nauczyciela. Postulat zaś ww. potrzeby poszerzenia i pogłębienia teoretycznej **wiedzy psychologicznej** oraz dydaktycznej (pedagogicznej), jest przez nauczycieli i dyrektorów odbierany jako mało wartościowy, a czasem nawet zbędny. Często razi ten negatywny stosunek nauczycieli do teorii w rozumieniu jako wiedza oparta na naukowych badaniach i wnioskach.

Przecież to teoria – mówią sami nauczyciele. Nie miejsce tu, aby przekonywać do **konieczności rozumienia** sedna i znaczenia teorii edukacyjnych, ale warto do tematu wrócić. Warto też przypomnieć nauczycielom,

¹ W. Kozłowski, *Postawy i nastawienia*. (w:) Pomykało W. (red.): *Encyklopedia pedagogiczna*. Warszawa: Wydaw. „Fundacja Innowacja” 1993, s. 611-615.

² K. Stróżyński, *Sukcesy i porażki w pracy dyrektora*, „Dyrektor Szkoły” 2016 nr 10, s. 61-63.

jak lepiej kształcić badawcze, naukowe postawy uczniów i ich naukowe kompetencje, tak ważne w nauczaniu przedmiotów eksperymentalnych, jak biologia czy fizyka. Ale to temat na inny artykuł.

Pewnie zasadniczą dla nas sprawa jest rozumienie, że nastawienie to nie jest sam sposób reagowania na innych ludzi czy sytuacje, ale: „**jest to gotowość do reagowania** w pewnych sytuacjach. Termin ten oznacza również przygotowanie do odbioru pewnych określonych bodźców. Niejednoznaczność tego pojęcia jest konsekwencją jego występowania w psychologii w paru kontekstach” [Kozłowski 1993³].

Pojęcie „nastawienie” i jego spore znaczenie w edukacji, warto pogłębić, bo ono leży u podstaw naszego spostrzegania, podejmowania nowych zadań, a przede wszystkim decydowania, które jest przecież kluczem powodzenia w pracy nauczyciela. Ono wywiera znaczący wpływ na nasze **sposoby spostrzeżenia mocnych i słabych** stron uczniów czy współpracowników oraz wypowiadane opinie i oceny, a także wartościowanie efektów wspólnego działania. Przecież w praktyce ocena, np. dostateczna jest dla jednego ucznia osiągnięciem, a dla innego porażką.

Porażki także są rozmaicie rozumiane. Szerzej o różnych porażkach i o tym, czym one są i jak je można przekuć w sukces napisał dr Paweł Fortuna [2012⁴] w bardzo ciekawej książce pt. *Pozytywna psychologia porażki. Jak z cytryny zrobić lemoniadę?* – Warto przestudiować pracując z uczniami, bo przecież ważne jest, aby nasze decyzje, a także uczniowskie wybory, wynikały z pozytywnego myślenia o znaczeniu podejmowanych zadań. Przecież w edukacji chodzi nie o zapamiętywanie faktów, ale przede wszystkim o trening uczniowskich umysłów. Przypominają się tu słowa wielkiego fizyka wskazujące, że:

➔ **Edukacja to nie nauka faktów, ale trening umysłu do samodzielnego myślenia.** [Albert Einstein]

Przyczyny złego nastawienia

Pozytywne nastawienie kogoś do kogoś czy czegoś, łączy się naszą wewnętrzną motywacją. Przecież może ono być pozytywne lub negatywne, z całą gamą ich odcieni. Chyba nie ma jakiegos neutralnego nastawienia. **Można je stopniować**, jak wiele innych naszych cech, ale nie ma w nim wielostronności, bo jest albo w prawą, albo w lewą stronę. Nastawienie może być przecież: bardzo słabe, słabe, umiarkowane, silne lub bardzo silne – itd.

Powodów do myślenia o zmianie nastawienia uczniów do uczenia się przedmiotu jest kilka. Znaczenie naszego nastawienia do innych osób i do świata jest bardzo istotne w pracy z innymi ludźmi. Niedawno ciekawie o nim napisała w „Głosie Nauczycielskim” red. Halina Drachal [2015⁵] w artykule pt. *Nastawienie ma znaczenie*. Warto przeczytać! Podejmuje problemy szkoły wielokulturowej i uchodźców, która w Polsce stała się faktem oraz właśnie naszego nastawienia wobec innych kultur.

Pytaniem więc o zasadniczym znaczeniu jest: skąd się bierze nasze nastawienie? A ponadto:

- 1) Czy ma swe źródło w dzieciństwie, czy może w genotypie?
- 2) Jak szkoła zmienia, modyfikuje uczniowskie nastawienie do uczenia się?
- 3) Czy szkoła w ogóle jest w stanie zmieniać nasze nastawienie?
- 4) Co nauczyciel fizyki lub przyrody może zrobić, aby poprawić to nastawienie?

Pewnie zasadnicze znaczenie w tym zakresie ma **skupianie uwagi**. Ona idzie w stronę tego, co jest przyjemne i atrakcyjne. Właśnie to, co uznajemy za ciekawe, zdobywa naszą uwagę bez większego trudu. A z drugiej strony także to, co zdoła przykuć nasze nastawienie i uwagę, natychmiast wyda się nam bardziej interesujące. Stąd ważne, aby stosować angażujące metody wywierania wpływu na ludzi.

Prezentując komuś dowolny temat czy jakieś treści, warto rozumieć, że w dużym stopniu to sam **sposób mówienia** czy opowiadania, zdecyduje o tym, czy uda się nam tym tematem zaintrygować, zaciekawić słuchaczy, czyli w istocie rzeczy wzmocnić nastawienie poprzez skupianie ich uwagi. A jeśli temu towarzyszą żarty i humor to powodzenie zapewnione.

Przecież lepsza edukacja to taka, która wymaga głębokiego przetwarzania informacji przez mózg uczącego się. Coraz śmielej dziś pisze się, że „Cyfrowa szkoła” i cyfrowe uczenie się nie sprzyja osiąganiu dobrych, wysokich wyników nauczania. Niedawno pisała o tym psycholog Magdalena Goetz [2016], która w artykule pt. *W cyfrowym świecie. Umysł bez tajemnic*, ukazuje negatywne strony płytkiego czytania dla uczenia się. Napisała dosłownie, że:

➔ **Media cyfrowe, zwłaszcza Internet, sprzyjają płytkiemu przetwarzaniu informacji przez mózg – a to, niestety, nie służy efektywnemu uczeniu. Gdy czytamy e-książkę, nasz mózg „skacze” po całej stronie.** [Magdalena Goetz 2016⁶]

Postawienie na rozwój

Podstawowym zadaniem każdego nauczyciela w szkole jest stymulować uczniów do rozwoju poprzez poznanie i zrozumienie merytorycznych treści kształcenia danego przedmiotu. Niedawno w aktualnościach na internetowej stronie „Dyrektora Szkoły” promowano wykład Grzegorza Więclawa [2015⁷], który był wygłoszony na II Kongresie Edukacja i Rozwój – w październiku 2015 r. w Warszawie. Prezentował rozważania dwóch opcji – nastawienia na trwałość i nastawienia na ciągły rozwój. Które z nich warto wybrać i wskazać uczniom jako ważne?

Pozytywne motywowanie, czyli zachęcanie uczniów do nastawienia się na własny rozwój jest ważne z kilku względów. Warto motywować do ciągłego **rozwoju oso-**

³ W. Kozłowski, *Postawy i nastawienia*. Op.cit., s. 611-615.

⁴ P. Fortuna, *Pozytywna psychologia porażki. Jak z cytryny zrobić lemoniadę?* Sopot: Wydaw. GWP, 2012.

⁵ H. Drachal, *Nastawienie ma znaczenie*. Szkoła wielokulturowa staje się faktem. „Głos Nauczycielski” 2015 nr 40, s. 6-7.

⁶ M. Goetz, *W cyfrowym świecie. Umysł bez tajemnic – część II*, „Głos Nauczycielski” 2016 nr 22, s. 16.

⁷ G. Więclaw, *Rolą nauczyciela jest zachęcanie do ciągłego rozwoju* – www.dyrektorszkoly/aktualnosci – z 23.09.2015.

bistego i zawodowego oraz do pozytywnego nastawienia się na własny rozwój i osiągnięcie znaczącego sukcesu. Przecież wśród czynników decydujących o wysokiej skuteczności uczenia się treści przedmiotu, np. fizyki czy astronomii oraz szkolnej edukacji w ogóle, wymienia się m.in. pozytywne, przyjazne, **życzliwe relacje** nauczyciela z uczniami oraz zawodowe i osobiste jego doskonalenie. W tym doskonaleniu ważne jest także pozytywne zmiany zachodzące w osobowości nauczyciela oraz jego stylu nauczania i osobistej kulturze bycia.

Polski neurobiolog, wybitny znawca fizjologii ludzkiego mózgu, prof. Jerzy Vetulani, [2011⁸] w książce pt. **Mózg: fascynacje, problemy, tajemnice** – przekonuje, że warto pogłębić swoją wiedzę o własnym mózgu i jego funkcjonowaniu oraz o warunkach jego działania. Wskazuje też, że wiedza ta jest bardzo potrzebna nauczycielom niezależnie od nauczanego przedmiotu.

Pierwszym i najważniejszym zadaniem każdego nauczyciela jest skuteczne zachęcanie uczniów do nauki, a nie stałe przypominanie, że jest to jego obowiązek. Zachęcając dyrektorów do rozwoju ww. Grzegorz Więclaw [2015] podkreśla walory pozytywnego nastawienia się na zmiany. Istotę rzeczy stwierdzał już w samym tytule: **Rolą nauczyciela jest zachęcanie do ciągłego rozwoju**. Nic dodać, nic odjąć – może jedynie warto przypomnieć, że to zadanie dotyczy w pierwszym rzędzie nauczycieli w szkole.

Powszechne jest chyba przekonanie, że obowiązki są ważniejsze od przyjemności. Z obserwacji szkoły, niestety, wynika, że wielu rodziców, jak i obecna szkoła jaką znamy, hołdują zasadzie: „**Najpierw obowiązki, potem przyjemności**”. Jest ona oparta na przekonaniu, że aktywność i wysiłek, jaki się wkłada w uczenie się, odrabianie lekcji, jest wprost proporcjonalny do osiągnięcia tych efektów. A to przecież wcale nie ma przełożenia na poziom uzyskana odpowiedniej skuteczności edukacji, tj. skuteczności uczenia się, czy też efektywności naszych działań [2015⁹]. Warto tu przypomnieć słowa Marka Dareckiego, prezesa Zarządu WSK „PZL Rzeszów” S.A. (www.kongresobywatelski.pl) – który powiedział dosłownie, że teraz:

➔ **Nadszedł czas na fundamentalną, powszechną niezgodę na bylejakosć.** [Marek Darecki, 2012¹⁰]

Pozytywne wyobrażenie o sobie

Pozytywne zmiany zwykle rozpoczynają się od naszej wizji czegoś nowego. Na pytanie typu: Jak nastawienie na trwałość lub nastawienie na rozwój wpływa na możliwości i wyzwania stojące przed nauczycielami? – warto podjąć samodzielną próbę sformułowania własnej odpowiedzi i wykazać, jakie ma ono dla nas znaczenie. Nastawienie **ma istotne znaczenie** w pracy nauczycieli, którzy dziś, reali-

zując treści aktualnej podstawy programowej, dużo mówią o rozwoju uczniów, przy różnym poziomie rozumienia sensu samego rozwoju i rozwijania się człowieka.

Przecież nastawienie do otoczenia to własne **wyobrażenie o sobie**, swoich możliwościach i otaczającym nas świecie. Tę kwestię porządkują psychologowie i pokazują dwie drogi postrzegania rzeczywistości. Pierwsza to nastawienie na trwałość. Tu zakłada się, że cechy osobowościowe są niezienne i niewiele można z nimi zrobić. Dziedziczy się je albo przenosi w dorosłość z dzieciństwa. Jesteśmy, jacy jesteśmy. Podobnie postrzegamy nasze środowisko i ludzi wokół [2015¹¹].

Propozycje dość intrygujące, a może nawet sugerujące zmiany o charakterze „przewrotu kopernikańskiego” proponuje szkole i edukacji prof. Ken Robinson [2015¹²] w interesującej książce pt. **Kreatywne szkoły. Oddolna rewolucja, która zmienia edukację**. Została wydano niedawno w Krakowie w Wydawnictwie Element. Pokazuje kreatywność jako możliwość i szansę na zasadniczą zmianę stylu pracy w edukacji.

Podjmuje także sprawy naszego nastawienia do edukacji i szkoły. Jest niezbędną lekturą dla innowacyjnych nauczycieli. Wydaje się, że może pomóc **zmienić nasze patrzenie** na istotę i znaczenie szkoły w życiu młodego człowieka oraz samo rozumienie sedna edukacji. Warto przeczytać i w szkole wykorzystać!

Powyższe sugestie, co do potrzeby dokonania **zasadniczej zmiany szkoły** i jej edukacji, kierunkują nauczycieli, nie tylko innowacyjnych, nowatorskich, i dyrektorów szkół oraz działaczy oświatowych do pogłębienia refleksji o roli szkoły w XXI wieku cyfrowej epoki. Powinni oni rzetelnie i trafnie odpowiedzieć sobie na takie pytania, jak:

- 1) Jakie jest moje nastawienie do siebie i swoich aktualnych cech oraz stylu pracy?
- 2) Jaki jest mój stosunek do swojego osobistego i zawodowego rozwoju?
- 3) Jakie jest moje nastawienie do uczniów, zawodu i nauczycielskiej pracy?

Plusy dobrego nastawienia

Pozytywów dobrego nastawienia się do świata i ludzi jest wiele. Zrozumieć warto, bo to jest niezwykle ważne, aby w szkolnym sprawdzaniu wyników uczenia się i ocenianiu wartościować i **doceniać to, co uczeń zrobił**, wykonał, opanował itp., nie zaś za to, czego do szkoły nie przyniósł, np. stroju na lekcję wychowania fizycznego czy zamówione owoce na lekcję przyrody. Przecież – jeśli uczeń nie odrobił zadania domowego to żadna ocena mu się nie należy. **Oceniamy za osiągnięcia** i dokonania. To jednak temat szeroki i sugeruje kolejny artykuł.

Pozytywne, życzliwe myślenie powinno charakteryzować wszystkie podmioty szkolnej edukacji. Naszym zadaniem

⁸ J. Vetulani, *Mózg: fascynacje, problemy, tajemnice*, Wyd. Homini, Kraków 2011, wyd. II.

⁹ J. P. Sawiński, *Jak w szkole pracować nad nastawieniem?* „Nowa Szkoła” 2016 (w druku).

¹⁰ Marek Darecki – informacja z: www.kongresobywatelski.pl – dostęp z 22.05.2012.

¹¹ G. Więclaw, *Rolą nauczyciela jest zachęcanie do ciągłego rozwoju* – www.dyrektorszkoly/aktualnosci – z 23.09.2015.

¹² K. Robinson, L. Aronica, *Kreatywne szkoły. Oddolna rewolucja, która zmienia edukację*. Kraków: Wydaw. Element, 2015. M. Taraszkiewicz., *Pomysły na lepsze samopoczucie*. „Gazeta Szkolna” 2006 nr 13, s. 22.

jest nie tylko wykazywać optymizm i pozytywne myślenie, ale je również promować. Nie warto zadawać się z osobami, krytykantami, pesymistami, którym się nic, albo prawie nic, nie podoba. Należy unikać takich ludzi, bo zarażają pesymizmem. To malkontenci i krytykanci, którzy **potrafią popsuć** najlepszą atmosferę rozmowy czy dyskusji.

Prawdy te podnosi do rangi priorytetu szkolnych relacji m.in. Małgorzata Taraszkiewicz [2006¹³], podkreślając opanowanie sposobów na poprawę własnego samopoczucia. Akcentuje znaczenie pozytywnego myślenia i akcentuje wagę samodzielnych, indywidualnych decyzji. Pisze np. dosłownie, że: „**Możesz myśleć pozytywnie lub negatywnie**”. Łatwo powiedzieć, że możesz, ale trudniej zmienić swoje nastawienie. Temat faktycznie trudny, ale ważny i rzadki.

Pewnie w praktyce negatywne myślenie jest łatwiejsze, bo w zasadzie wszyscy to potrafią. Mówi się nawet, że to właśnie Polacy potrafią narzekać, nawet, gdy większość spraw idzie w dobrym kierunku. Psychologowie wskazują, że pozytywne myślenie wymaga **wyobraźni, odwagi i cierpliwości**. Jasne, że wybór należy do nas samych. Autorka ww. twierdzi np., że nie warto wchodzić w grę uzalania się nad sobą, w świat plotek i pomówień oraz snucia katastroficznych wizji, bo to pogłębia negatywne nastawienie. Spora część ludzi po ostatnich wyborach ma czarne wizje. Problem ten warto przemyśleć!

Powtórzyć na zakończenie warto, że ważnym zadaniem ludzi edukacji jest stałe doskonalenie swego mówienia. Niewątpliwie istotne jest bardzo staranne, klarowne i precyzyjne mówienie nauczycieli do uczniów. Pisząc o strategiach motywowania uczniów do uczenia się, wskazywano na to już wiele razy, akcentując potrzebę ładnego, poprawnego mówienia wszystkich nauczycieli w szkole. Szerzej jest o tym w artykule pt. **Szkola potrzebuje ładnego mówienia** [2009¹⁴]. Sprawę warto uwzględnić w doskonaleniu nauczycieli!

Poprawianie swego nastawienia do uczniów

Problemem niektórych nauczycieli jest zróżnicowane nastawienie do uczniów, które czasem nie potrafią ukryć. Wydaje się całkiem naturalnym, że nasze nastawienie, np. nauczycieli do uczniów jest rozmaite. Wiele różnych publikacji podejmuje ten problem w różnych kontekstach. Pozytywne nastawienie bierze się często **z autorytetu i szacunku** do danej osoby lub do jakiejś idei, którą uznajemy za bliską. Ale z tym autorytetami i szacunkiem do nich jest dzisiaj rozmaicie.

Przecież szacunek jest wartością autonomiczną, wyjątkową i chyba potrzebną każdemu. Jest to **zaleta wyższego rzędu**, bez której trudno sobie wyobrazić życie w rodzinie czy grupie, a także pracę szkoły, a w szczególności w sytuacji, gdy patrzą na nas jako na wychowawcę. Szacunku, prestiżu czy też autorytetu nauczycieli nie są w stanie



podnieść żadne zewnętrzne siły czy zarządzenia. Ale prawdą też jest, że szkoła, nauka i rzetelna (naukowa) wiedza w ogóle, potrzebują większego szacunku z naszej strony.

Podstawową sprawą w nauczycielskiej pracy jest szacunek. Myśląc o jego zdobyciu, umocnieniu lub poprawie, warto pogłębić swoje rozumienie znaczenia pozytywnego myślenia oraz pozytywnego nastawienia do swoich uczniów i ich do siebie. Pragnąc rozbudzić dobre **nastawienie i szacunek** do siebie jako nauczyciela, warto zapamiętać, że:

- 1) Faktyczny szacunek człowieka do innego człowieka nie bierze się z nieba i łączy się z nastawieniem!
- 2) O szacunku do nauczyciela nie decyduje jego pozycja czy ranga, ale jego kultura bycia!
- 3) Warto rozumieć, czym jest i skąd się bierze pozytywne nastawienie oraz szacunek!
- 4) Ponadto trzeba wiedzieć i rozumieć, jak dobre nastawienie i szacunek w szkole pielęgnować!

Popularność w Polsce zdobywa ostatnio neurodydaktyka wyraźnie wskazująca, że skuteczna edukacja szkolna opiera się na takim organizowaniu uczenia się uczniów w szkole, które im sprawia **radość i przyjemność** [2013¹⁵]. Na przykład dr Marzena Żylińska [2013¹⁶], w różnych artykułach i książkach przekonuje, że trzeba w szkole postawić na samodzielność, podmiotowość i indywidualizację pracy z uczniami oraz organizowanie zabaw i innych radości.

Postulat ww. jest oczywiście słuszny. Edukacja i szkolne uczenie się powinno sprawiać uczącym się przyjemność. Ale przecież nasz system oświaty i szkolnictwa jest praktycznie niezmienny od wielu lat. Wielu reformatorów twierdzi, że on raczej przeszkadza niż pomaga uczniom w rozwoju i zdobywaniu wiedzy. Teza ta jest dość radykalna, ale być może prawdziwa. Domaga się zasadniczej zmiany naszego nastawienia do uczenia się i edukacji.

dr Julian Piotr Sawiński
Koszalin

¹³ J. P. Sawiński, *Szkola potrzebuje ładnego mówienia*. „SEDNO – Magazyn Dyrektora Szkoły” 2009 nr 5, s. 63.

¹⁴ J. P. Sawiński, *Zasady neurodydaktyki, czyli jak zrozumieć pracę ludzkiego mózgu?* „Dyrektor Szkoły” Akademia Zarządzania DS - lekcja 2, 2012 nr 11, s. 39-46; tenże: *Zasady neurodydaktyki, czyli jak zrozumieć pracę ludzkiego mózgu? - cz. II*. „Dyrektor Szkoły” Akademia Zarządzania DS - lekcja 3, 2012 nr 12, s. 37-44.

¹⁵ M. Żylińska, *Neurodydaktyka. Nauczanie i uczenie się przyjazne mózgowi*. Toruń: Wydaw. Naukowe UMK, 2013.

Czym skorupka za młodu..., czyli jak uczyć fizyki najmłodszych i trochę starszych

Alicja Szymańska

W Białymstoku działa Laboratorium Młodego Mistrza i Odkrywcy „Eureka”. Twórcy studia przyrodniczego postarali się, aby było ono wyposażone w takie pomoce naukowe, które ułatwią poznawanie praw przyrody przez zabawę. Miałam przyjemność prowadzić w LMMiO zajęcia z fizyki, chemii i biologii.

Laboratorium mieli odwiedzać m.in. uczniowie klas VII szkół podstawowych i gimnazjaliści. Ci już rozpoczęli zajęcia z przedmiotów ścisłych. Ale co zrobić z dziećmi w wieku 6-9 lat? Jak im wytłumaczyć prawa rządzące przyrodą? Przecież nie podam im definicji, wzorów i treści zasad. Okazuje się, że kluczem do sukcesu jest:

- ! Ciekawe, często efektywne doświadczenie, które na długo zostanie w pamięci.
- ! Samodzielne działanie, zabawa z wykorzystaniem różnych pomocy naukowych.
- ! Prosty język, którym posługujemy się w celu wyjaśnienia obserwowanego zjawiska.

Oto kilka ciekawych doświadczeń, które wśród młodych uczniów cieszyły się największym zainteresowaniem. Przedstawię również w jaki sposób, nie używając skomplikowanej terminologii, wraz z dziećmi wyjaśnialiśmy wyniki obserwowanych eksperymentów. Musimy pamiętać, że im młodsze dzieci tym większą uwagę zwracamy na uproszczenie tłumaczonych zagadnień.

Pierwszy eksperyment, oprócz tego, że odnosi się do zagadnień ogólnie znanych wszystkim dzieciom, to jest jeszcze bardzo efektowny. Ze względu na to uczniowie długo pamiętają jego wyniki. A co badamy? Coś co na zajęciach z chemii jest podstawą, a mianowicie odczyn wodnych roztworów kwasów i zasad.

Przed rozpoczęciem doświadczenia zwracamy uwagę uczniów na barwę roztworów i ich smak (oczywiście nie pozwalamy próbować roztworu wodorotlenku sodu, ale reszta roztworów sporządzona jest z ogólnie dostępnych środków spożywczych i jest bezpieczna). Dzieci od razu wyczuwają kwaśny smak octu, ale trudno jest im opisać smak mieszaniny sody oczyszczonej. Dlatego wystarczy spytać, czy to też jest kwaśne. Najmłodszym dzieciom wyjaśniamy, że w eksperymencie używamy kwasów i zasad. Dzięki temu możemy wytłumaczyć różnicę zabarwienia roztworów.

Przyrządy: probówki, pipety, zlewki, ocet, woda, soda oczyszczona, wodorotlenek sodu (NaOH), wywar z czerwonej kapusty.

Wykonanie

Do probówek wlewamy jednakową ilość: 1) octu, 2) octu z wodą w proporcji 1:3, 3) wody, 4) wodnego roz-



Zdjęcie nr 1.

tworu sody oczyszczonej (mniej niż 0,5 łyżeczki sody oczyszczonej na 100 ml wody), 5) wodnego roztworu sody oczyszczonej (2 łyżeczki sody oczyszczonej na 100 ml wody), 6) wodorotlenku sodu. Następnie do każdego roztworu dodajemy jednakową ilość (np. po 15 kropli) wywaru z czerwonej kapusty. Obserwujemy wyniki. (Zdjęcie nr 1.)

Zwracamy uwagę uczniów na barwę roztworu, wyjaśniając, iż kwasy barwią się na kolor czerwony, a zasady na kolor zielony lub nawet żółty. Najmłodsi uczniowie zaskoczeni są wynikami doświadczenia. I to zapada im w pamięć. Oczywiście na każdych zajęciach pada pytanie: „Czy można wymieszać kolorki?” To dobry moment na to, aby porozmawiać o reakcji zobojętniania. Podczas wykonywania tej czynności mogą pojawić się wspaniałe „efekty uboczne” np. wydzielanie się dwutlenku węgla, gdy ocet dodamy do roztworu sody oczyszczonej. Podczas wkraplania jednego roztworu sody oczyszczonej do drugiego można zaobserwować różnicę gęstości.

Drugie doświadczenie ma na celu wykorzystanie tego, co jako wspomniany efekt uboczny wyszło w pierwszym eksperymencie. Potocznie jest ono nazywane lampą lawą i może występować w różnych wersjach.

Przyrządy: cylinder miarowy, zlewka, pipeta, ocet, olej, soda oczyszczona, barwnik spożywczy.



Zdjęcie nr 2.

Wykonanie

Na dno cylindra wsypujemy sodę oczyszczoną (tak, aby zakryła dno) i wlewamy olej. Do zlewki wlewamy ocet i barwimy go kilkoma kroplami barwnika spożywczego. Pipetką wkraplamy mieszaninę octu do cylindra i obserwujemy zachowanie się zabarwionych kropeł. (Zdjęcie nr 2.)

Możemy dzieciom zadać pytanie, dlaczego na początku krople zabarwionego octu opadały. To dobry moment, żeby wspomnieć o gęstości cieczy (ocet to około 1000 kg/m^3 – to zależy od rodzaju octu i tego jak dużo barwnika dodamy, olej około 886 kg/m^3 – również zależy od rodzaju oleju). Po wydzieleniu dwutlenku węgla (ocet + soda oczyszczona) średnia gęstość barwnej kropli znacznie maleje i wędruje ona do góry. W taki przyjemny sposób wprowadzamy pojęcie gęstości i omawiamy warunek pływania ciał.



Zdjęcie nr 3.

Trzecie doświadczenie

to uwielbiany przez dzieci płyn nienewtonowski. Zabawa, działanie i efekt, który na długo zapada w pamięć najmłodszych.

Przyrządy: miska, mąka ziemniaczana, woda.

Wykonanie

Do miski wsypujemy około szklanki mąki ziemniaczanej i stopniowo dolewamy wody. Konsystencja mieszaniny powinna być jak gęsty budyn. (Zdjęcie nr 3.)

Prosimy uczniów, aby nabrali do dłoni trochę cieczy i mocno ją ściskali lub ugniatali. Płyn zaczyna wtedy zachowywać się jak ciało stałe (dzieci mówią, że lepią śnieżkę z mąki).

Gdy przestaniemy działać siłą, płyn spływa między palcami jak zwykła woda. Przy tym doświadczeniu możemy porozmawiać o różnych stanach skupienia substancji, o ułożeniu w nich drobin. Można

tutaj wspomnieć o lepkości (choć musimy pamiętać, że dzieci często będą utożsamiać gęstość i lepkość).

Kolejne dwa doświadczenia nawiązują do ułożenia drobin w substancjach i sił, które między nimi działają. Pojęcie siły spójności, siły przylegania, napięcia powierzchniowego, choć czasem trudne do zdefiniowania, jest łatwe do pokazania.

Przyrządy: moneta np. pięciogroszowa, pipeta, zlewka z wodą, żyletka.

Wykonanie

Na stół nakraplamy pipetą krople wody i pokazujemy dzieciom jej rozmiary. Następnie zadajemy pytanie „Ile kropeł zmieści się na monecie?”. Zwykle pada odpowiedź: „Dwie, trzy krople”. Uczniowie następnie sami nakraplają wodę na monetę, aż do jej rozlania się. Zwykle jest to około dwudziestu kropeł. (Zdjęcie nr 4)

W tym miejscu możemy zwrócić uwagę uczniów, na to, że woda na monecie ma kształt „górkę”. Cząsteczki na jej powierzchni wzajemnie się przyciągają siłami spójności (najmłodszym porównują to do rączek, którymi jedna cząsteczka wody trzyma drugą cząsteczkę wody). Dzięki temu powstaje napięcie powierzchniowe. Na wodzie znajdującej się w zlewce można położyć np. żyletkę i pokazać, że dzięki napięciu powierzchniowemu niektóre przedmioty nie toną.



Zdjęcie nr 4.

Drugim doświadczeniem pokazującym w bardzo atrakcyjny sposób napięcie powierzchniowe i siły spójności są „bańki w bańkach”.

Przyrządy: zlewka z wodą, łyżeczka płynu do mycia naczyń, słomka.

Wykonanie

Do wody dodajemy łyżeczkę płynu do mycia naczyń. Mieszaną delikatnie, żeby nie powstała piana. Wylewamy trochę płynu na powierzchnię stołu i delikatnie nadmuchujemy bańkę. Następnie zanurzamy słomkę w zlewce, nabierając odrobinę płynu, przebijamy pierwszą bańkę i delikatnie nadmuchujemy drugą.

Oczywiście wymaga to trochę treningu. Uczniowie nauczania początkowego są w stanie nadmuchać dwie bańki. (Zdjęcie nr 5) W tym doświadczeniu wielkie zdziwienie wywołuje fakt, że słomką można przebić pierwszą bańkę



Zdjęcie nr 5.

i ona nie pęka. W tym miejscu znowu odwołuję się do sił spójności i napięcia powierzchniowego.

Następne doświadczenie przybliży uczniom pojęcie próżni (choć poprawniej trzeba powiedzieć stanu obniżonego ciśnienia). Można to pokazać używając domowego pojemnika próżniowego.

Przyrządy: pojemnik próżniowy, balonik.

Wykonanie

Delikatnie nadmuchujemy balonik i zawiązujemy go. Wkładamy balonik do pojemnika próżniowego. Przy okazji pokazujemy uczniom jak łatwo jest zdjąć z niego pokrywę. Następnie odpompowujemy z niego powietrze. (Zdjęcie nr 6)



Zdjęcie nr 6.

Zwracamy uwagę dzieci na to co dzieje się z wielkością balonika. Tłumaczymy im, że powietrze znajdujące się w baloniku jest „ściskane” przez powietrze znajdujące się wokół nas. Dlatego balonik nie jest zbyt duży. Jednak, gdy je odpompujemy (a dzieje się to w pojemniku, gdy tworzymy próżnię), to gaz znajdujący się w baloniku nie jest już ograniczany i może zwiększać swoją objętość. Dodatkowo prosimy uczniów, żeby sprawdzili co się dzieje z pokrywą. Nie da się jej zdjąć. Wyjaśniamy, że to powietrze zewnętrzne dociska wieczko. Pokazujemy tym „siłę” otaczających nas gazów, której z przyzwyczajenia nie odczuwamy. Dzieci często pytają „To jak wyjmemy balonik?” W wieczku jest gumowy zaworek, który po podniesieniu wyrównuje ciśnienie. Słychać wtedy charakterystyczny dźwięk. Podkreślamy, że to powietrze wchodzi do pojemnika, a nie wychodzi z niego.



Zdjęcie nr 7.

„Siłę” powietrza możemy pokazać w jeszcze jednym, bardzo spektakularnym doświadczeniu. Daję uczniom pustą puszkę aluminiową i proszę ich o podanie pomysłów rozwiązujących następujący problem: „Jak zgnieść puszkę przy użyciu wody?” Odpowiedzi dzieci są zaskakujące, innowacyjne i często świadczą o otwartości umysłu. Doświadczenie odpowiadające na to pytanie wygląda w następujący sposób.

Przyrządy: aluminiowa puszka, palnik, miska z wodą, szczipce laboratoryjne, duży pojemnik z wodą np. miska.

Wykonanie Do aluminiowej puszki nalewamy niewielką ilość wody (ok. dwóch łyżeczek) i ogrzewamy nad płomieniem palnika, aż do odparowania. Następnie gorącą puszkę szybko wkładamy dnem do góry do miski z wodą. Słychać głośny dźwięk miażdżenia puszki. (Zdjęcie nr 7)

Uczniowie zapytani o to, co dzieje się z wodą podczas podgrzewania, trafnie opowiedzą o zjawisku parowania. Ciepły gaz jako rzadszy i tym samym lżejszy będzie uciekał z puszki. Powstanie więc w niej niższe ciśnienie. Różnica ciśnień między wnętrzem puszki, a otoczeniem nie jest jednak na tyle duża, żeby zgnieść puszkę. Wkłada się ją do zimnej wody. Zawarte w niej powietrze gwałtownie się ochładza, spręża, a to pogłębia różnicę ciśnień. Jest ona na tyle duża, że puszka zostaje zgnieciona.

Jeszcze jedno doświadczenie pokazujące „siłę” powietrza.

Przyrządy: dmuchawa od toru powietrznego (może być suszarka o dużej mocy), plastikowa piłeczka.

Wykonanie. Włączamy dmuchawę i w strumieniu wyrzucanego powietrza (w odległości ok. 30-40 cm od wylotu) umieszczamy piłeczkę.

Podczas wykonywania doświadczenia, zwracamy uwagę uczniów, że dmuchawa wyrzuca powietrze



Zdjęcie nr 8.

na zewnątrz. Strumień powietrza jest oczywiście niewidoczny, ale dosyć silny. Równoważy on siłę z jaką ziemia próbuje, ściągnąć piłeczkę w dół. Dlatego kulka nie opada. Gdy, strumień powietrza szybko przetniemy dłonią, piłeczka delikatnie zawaha się, ale nie opadnie. Jednak, gdy dłużej potrzymamy dłoń w strumieniu powietrza, to piłka spadnie. Można tylko nadmienić uczniom, że jest to zgodne z III zasadą dynamiki Newtona. Powinniśmy również pokazać uczniom, iż możliwe jest sterowanie taką piłeczką. Delikatnie przesuwamy wylot dmuchawy w prawo lub lewo, w przód lub tył. Kulka podąża za strumieniem. Starsi uczniowie zadają pytanie, dlaczego piłeczka nie wychodzi ze strumienia powietrza na prawo lub lewo. Jest to związane z niskim ciśnieniem, które panuje w słupie powietrza i wyższym ciśnieniem na zewnątrz.

Kolejnym działem fizyki, z którego wykonuję doświadczenia, jest elektrostatyka.

Wprowadzenie do tych zagadnień rozpoczynam od pokazu elektryzowania baloników o włosy. Oczywiście dzieciom zjawisko to jest bardzo dobrze znane. Wspominam, że są materiały, które elektryzują się bardzo dobrze i takie, gdzie efektów prawie nie widać. Dobrym tworzywem jest plastik (lub ebonit), który elektryzuje się o futerko. W „Eurece” mamy ebonitowe laski, ale używać można cienkich rurek PCV lub plastikowej rury od odkurzacza. Proszę uczniów o naelektryzowanie laski i zadaję pytanie: „Skąd wiemy, że już się ona naelektryzowała? Przecież nie zmieniła koloru, kształtu.” Wtedy rozpoczynamy doświadczenie dotyczące wykrywania naelektryzowanych ciała i ich wzajemnego oddziaływania.

Przyrządy: laska ebonitowa, futerko, pióropusze do prezentacji linii pola centralnego, elektroskop.

Wykonanie. Elektryzujemy ebonitową laskę o futerko i przesuwamy po metalowej tarczy pióropuszy do prezentacji linii pola centralnego. (Zdjęcie nr 8)



Zdjęcie nr 9.

Nitki stopniowo odchylają się od podstawy i dodatkowo wzajemnie się odpychają. W tym momencie wyjaśniam uczniom, że podczas elektryzowania ebonitowej laski, gromadzi się na niej ujemny ładunek. Przechodzi on podczas przesuwania po metalowej tarczy z laski na nitki. Nitki, ponieważ są naelektryzowane tak samo (przy starszych dzieciach można użyć określenia jednoimiennie), wzajemnie się odpychają i tworząc charakterystyczną „spódniczkę”. Dodatkowo można pokazać uczniom elektroskop, czyli przyrząd do wykrywania ładunku. (Zdjęcie nr 9)

Bardzo efektownym doświadczeniem z elektrostatyki, jest próba przeniesienia ładunku elektrostatycznego na ciało ludzkie. Ładunek gromadzi się wtedy na włosach. Wywołuje to nie tylko duże zainteresowanie, ale i dużo śmiechu.

Przyrządy: maszyna elektrostatyczna lub generator van de Graaffa.

Wykonanie. Przed wykonaniem tego pokazu przypomnamy zasady bezpieczeństwa. Uczeń staje na krześle, chwyta z jedną z kul maszyny elektrostatycznej, którą elektryzujemy. Wyjaśniamy uczniom, że stojąc na krześle, jesteśmy izolowani od podłoża. Nasze ciało gromadzi ładunek. Efekt naelektryzowani najlepiej widoczny jest na włosach. Zachowują się one dokładnie tak jak nitki z poprzedniego doświadczenia.

Alicja Szymańska
nauczyciel fizyki i biologii w Szkole Podstawowej nr 4 im. Sybiraków w Białymstoku
i nauczyciel fizyki w Szkole Podstawowej nr 50 w Białymstoku.

Elektryczne własności atmosfery ziemskiej

Andrzej Wasiak

W atmosferze ziemskiej zawsze istnieje pionowe pole elektryczne. Dowodzi tego proste doświadczenie. Przypuśćmy, że będziemy trzymali dowolny przewodnik przez izolator (rys. 1a). Jeśli będzie istniało pole E , to nastąpi rozdzielanie ładunków, jak pokazano na rysunku. A teraz połączymy przewodnik z ziemią (rys. 1b), w wyniku tego ładunki dodatnie spłyną do ziemi. Następnie odłączymy przewodnik i umieścimy go w klatce Faradaya połączonej z elektroskopem. Listki elektroskopu rozchylą się co udowadnia, że przewodnik jest naładowany, co z kolei potwierdza istnienie pola elektrostatycznego (rys. 1c)

W atmosferze występują również ładunki swobodne. Jest to oczywisty wniosek wypływający z faktu, że dobrze naładowany elektroskop, wystawiony na działanie powietrza traci stopniowo swój ładunek.

Z istnienia zarówno pola, jak i swobodnych, mogących poruszać się ładunków elektrycznych wynika, że powietrze atmosferyczne obdarzone jest pewnym przewodnictwem i że muszą występować w nim prądy elektryczne. Zatem opis własności elektrycznych atmosfery nie może być czysto elektrostatyczny; w takim stopniu, w jakim wspomniane przed chwilą własności atmosfery pozostają stałe muszą one opisywać pewien stan stacjonarny, a nie statyczny.

Zanim przystąpimy do spisu takich własności, musimy rozróżnić dwa zasadnicze stany atmosfery, w czasie, których będziemy je brali. Mówimy o:

- ! pięknej pogodzie – gdy nie występuje opad zaś chmury pokrywają mniej niż 40% nieba i nie obserwuje się szczególnych zjawisk w zachmurzeniu i widzialności,
- ! złej pogodzie – w innych sytuacjach. Burze stanowią typowy przykład złej pogody.

Właściwości atmosfery są tak różne w tych dwóch sytuacjach, że musimy je badać oddzielnie. Zaczniemy od warunków pięknej pogody

Pole elektryczne i ładunek przestrzenny w warunkach pięknej pogody.

Wyniki pomiarów pola elektrycznego przy ziemi różnią się znacznie w zależności od miejsca i czasu (podobnie jak przy pomiarach wszystkich własności elektrycznych), ale średnio, wektor natężenia skierowany jest pionowo, a jego wartość wynosi:

$$E_0 \approx -120 \frac{V}{m} \quad (1)$$

Minus oznacza, że zwrócony on jest do dołu.

Ponieważ Ziemia jest przewodnikiem, to zgodnie z prawami elektrostatyki z istnienia tego pola wynika istnienie na powierzchni ziemi ładunku o gęstości powierzchniowej δ , którego wielkość wynosi:

$$E_0 \approx \frac{\delta}{\epsilon_0} \quad (2)$$

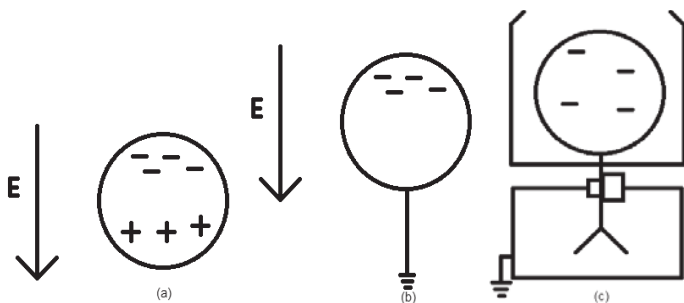
gdzie ϵ_0 , oznacza przenikalność elektryczną próżni

$$\left(\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m} \right).$$

Wobec tego wartość δ wynosi:

$$\delta \approx -1,2 \cdot 10^{-9} \frac{C}{m^2}$$

Gdybyśmy mierzyli E na coraz większych wysokościach utwierdzilibyśmy się, że maleje ono co do wartości bezwzględnej bardzo szybko. Oznacza to, że w powietrzu musi istnieć sumaryczny ładunek przestrzenny. Związek między E i gęstością ładunku przestrzennego ρ , przy



Rys.1 Dowód istnienia pola elektrycznego atmosfery.

(a). Przewodnik (kula) zostaje spolaryzowany w polu elektrycznym E , które skierowane jest w dół. (b) Połączenie z ziemią sprowadziło ładunek dodatni do ziemi. (c) Jeśli teraz kulę odłączymy i wprowadzimy do klatki Faradaya, połączonej z elektroskopem, to wykryje on obecność (ujemnego) ładunku.

założeniu, że E jest pewną funkcją jedynie wysokości, co w zasadzie jest słuszne, określa równanie Poissona.

$$\frac{dE}{dz} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (4)$$

Gęstość ładunku maleje szybko wraz ze wzrostem z i odpowiednio do tego E coraz wolniej zmienia do 0. Oznacza to, że na odpowiednio wysokim poziomie całkowity dodatni ładunek przestrzenny zawarty między Ziemią a tym poziomem, kompensuje całkowicie ujemny ładunek powierzchniowy Ziemi. Tą zależność można uzyskać w wyniku całkowania (4).

Na każdej wysokości Z , $E = E(z)$ określa równanie

$$E = E_0 + \frac{1}{\epsilon_0} \int_0^{\infty} \rho dz \quad (5)$$

Na odpowiednio wysokim poziomie (oznaczonym jak $z = \infty$),

$$0 = E_0 + \frac{1}{\epsilon_0} \int_0^{\infty} \rho dz \quad (6)$$

i po podstawieniu (z) otrzymujemy

$$\delta = - \int_0^{\infty} \rho dz \quad (7)$$

Pozostają jeszcze do rozważenia wahania potencjału elektrycznego V . Wartość tego parametru określa się względem Ziemi, zatem $V_0 = 0$.

Aby określić $V(z)$ przypomnijmy sobie, że natężenie jest wartości gradientu potencjału wziętego ze znakiem przeciwnym; w rozważanym jednowymiarowym przypadku:

$$E = - \frac{dV}{dz} \quad (8)$$

Po całkowaniu

$$V(z) = - \int_0^z E dz \quad (9)$$

Ponieważ E ma stosunkowo dużą wartość bezwzględną, jest ujemne tuż przy ziemi i maleje szybko do 0, V musi najpierw szybko rosnąć, zmierzając do wartości stałej na dostatecznie wysokim poziomie. Ta graniczna wartość wynosi ok. 300 kV i praktycznie potencjał osiąga ją na wysokości około 20 km.

Jony w atmosferze

Zastanówmy się teraz nad naturą ładunku przestrzennego w powietrzu.

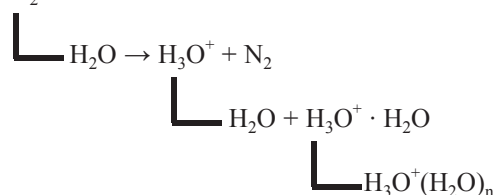
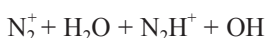
W górnych warunkach atmosfery promieniowanie nadfioletowe pochodzące ze Słońca powoduje zjonizowanie znacznej ilości cząstek i atomów, co stanowi przyczynę istnienia jonosfery.

To promieniowanie jonizujące wyczerpawszy się w górnych warstwach atmosfery nie przenika do jej dolnych warstw. Jedynie w niższych warstwach atmosfery jonizację powietrza powodują:

- ! gazy promieniotwórcze (w szczególności radu),
- ! substancje promieniotwórcze w ziemi,
- ! promieniowanie kosmiczne.

Skutki tych trzech czynników są porównywalne, chociaż pierwszy czynnik wywiera skutek największy. Wytwarzanie jonów zależy od wysokości i szerokości geograficznej, ale można je oszacować na 10 par jonów na s/cm^3 .

Pierwotnymi jonami są cząsteczki składników powietrza zjonizowane przez promieniowanie (jony dodatnie) i jony ujemne powstałe w wyniku dołączenia elektronów do innych cząsteczek. Te pierwotne jony ulegają różnym procesom. Najpierw reagują one z cząsteczkami obojętnymi i dołączają cząsteczki wody, których dostarcza para wodna zawsze występująca w powietrzu, tworząc grono jonów. Większość z nich stanowią uwodnione jony hydrodniowe, jak to pokazuje następujący schemat reakcji, który stanowi przykład łańcucha reakcji w przypadku jonu N_2^+ , jako jonu pierwotnego



Reakcja ta zachodzi w czasie kilku milisekund.

Te grona jonów $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_n$ są stosunkowo trwałe i przypuszcza się, że w powietrzu stanowią one większość jonów o rozmiarach cząsteczki. Jednakże mogą one ulegać dalszym, wolniejszym reakcjom, dołączając inne cząsteczki, zwłaszcza takich gazów śladowych jak NO_2 , SO_2 itp.

Wszystkie jony, o rozmiarach cząsteczek, zwane są małymi jonami.

Małe jony mogą dołączyć do cząstek aerozolu tworząc cząstki naładowane. Takie jony zawsze są dużymi jonami.

Małe jony mogą również rekombinować, dodatnie z ujemnymi, i przez to tracić ładunek. Można w przybliżeniu określić pewien stan stacjonarny, w którym powstaje tyle małych jonów (w wyniku promieniotwórczości i promieniowania kosmicznego), ile zanika w wyniku rekombinacji lub dołączenia do cząsteczki.

$$q = \alpha n^2 + \beta nN \quad (10)$$

W tym równaniu q oznacza całkowitą szybkość powstawania jonów w jednostce czasu i w jednostce objętości, n – koncentracja małych jonów, N – koncentracja cząstek obojętnych, α – współczynnik rekombinacji równy $1,6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$, β – współczynnik wiązania jonów, który waha się w granicach od 0,4 do $15 \cdot 10^{-6}$.

Całkowita koncentracja przy ziemi wyraża się liczbą od 100 do 1000 cm^{-3} . Jony dodatnie występujące liczniej niż ujemne i ta różnica stanowi przyczynę tego, że sumaryczny ładunek przestrzenny jest dodatni, co zauważyliśmy poprzednio. Na przykład, może się zdawać, że $n_+ = 600 \text{ cm}^{-3}$, a $n_- = 500 \text{ cm}^{-3}$, co powoduje, że sumaryczny ładunek wynosi $100 n^+ \cdot \text{cm}^{-3}$.

Koncentracja dużych jonów jest mniejsza niż małych w czystym powietrzu (takich jak nad oceanami), ale może być znacznie większa w deszczach zanieczyszczonych,

w wyniku wychwytywania małych jonów przez liczne cząstki aerozolu.

Przewodność właściwa

Obecność ruchliwych cząsteczek naładowanych nadaje powietrzu pewną przewodność. Wzrasta ona wraz z wysokością dzięki spadkowi gęstości powietrza. Również koncentracja małych jonów wzrasta wraz z wysokością, przy czym różnica koncentracji jonów dodatnich i ujemnych maleje z wysokością. Przewodność właściwa λ określa się jako stały współczynnik we wzorze:

$$j = \lambda E \quad (11)$$

W którym j oznacza gęstość natężenia prądu powodowanego istnieniem pola E .

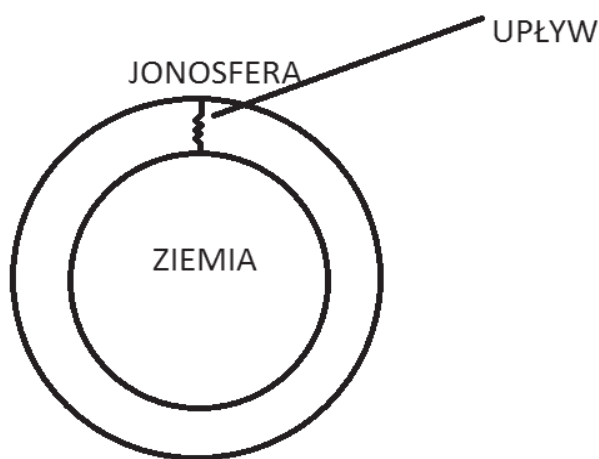
We wzorach (6) i (7) przyrównywaliśmy $z = \infty$ za górną granicę całkowania. W rzeczywistości ρ i E przyjmują wartości zbliżone do zera na wysokości około 20 km, jeśli będziemy wznosić się wyżej przewodność powietrza zacznie być coraz większa a szczególnie duża będzie w jonosferze. Dla wszystkich zastosowań praktycznie można przyjmować, że powyżej poziomu około 65 km atmosfera jest dobrym przewodnikiem.

Z istnienia E i z tego, że λ nie jest równe zero wnioskujemy, że musi istnieć pionowy, do dołu skierowany prąd o gęstości J , który z grubsza rzecz biorąc musi być stały w tej warstwie (najwyższej warstwie atmosfery) z uwagi na zasady zachowania tzn. w miarę wzrostu wysokości maleje E , ale λ rośnie, co w wyniku powinno powodować stałe j .

Podstawowe zagadnienia elektryczności atmosfery

Możemy teraz zreassumować sytuację stanu atmosfery w razie pięknej pogody następująco. Mamy dwa koncentryczne przewodniki sferyczne: ziemię i jonosferę

Ziemia, jak i jonosfera są przewodnikami zawarte



Rys. 2. Ziemia i jonosfera, jako kondensator sferyczny

między nimi ruchliwe ładunki (jony) powodują przepływ prądu.

Podstawowe parametry opisanego wyżej układu są następujące:

$$\begin{aligned} \text{Opór całkowity} & R \sim 220 \, \Omega \\ \text{Natężenie całkowite} & J \sim 1350 \, \text{A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Różnica potencjałów} & V \sim 3 \cdot 10^5 \, \text{V} \\ \text{Ładunek całkowity} & Q \sim 5 \cdot 10^5 \, \text{C} \\ \text{Pojemność} & C \sim 1,8 \, \text{F} \end{aligned}$$

Pomiędzy Ziemią a jonosferą zalega warstwa atmosfery stanowiąca pół-izolator, o małej przewodności λ . Powierzchnię ziemi można uważać, jako jedną z okładek kondensatora sferycznego – drugą okładkę stanowi rozmyty obszar zawierający ładunek przestrzenny o gęstości maksymalnej tuż przy powierzchni Ziemi i malejące wraz z odległością od niej. Te ładunki tkwią w dielektryku (powietrzu), którego własności izolujące słabną, a przewodność właściwa wzrasta wraz ze wzrostem odległości od Ziemi, aż w końcu staje się on przewodnikiem (jonosfera).

Ten sferyczny kondensator jest naładowany różnicą potencjałów między okładkami wynoszącą 300 kV. Ładunek powietrzny w obszarze pośrednim między przewodnikami (druga okładka) nie znajduje się w stanie statycznym, lecz porusza się ku Ziemi tworząc prąd przepływowy, którego gęstość można obliczyć ze wzoru (11). Wynosi ona około $2,7 \cdot 10^{-12} \, \text{Am}^{-2}$. Ponieważ całkowita powierzchnia kuli ziemskiej wynosi $5 \cdot 10^{14} \, \text{m}^2$, to łatwo obliczyć, że natężenie tego prądu jest równe $J \approx 1350 \, \text{A}$.

Ładunek całkowity Q w kondensatorze wynosi.

$$Q = 5,5 \cdot 10^5 \, \text{F} \quad (12)$$

$$\text{A jego pojemność } C = 1,8 \, \text{F}. \quad (13)$$

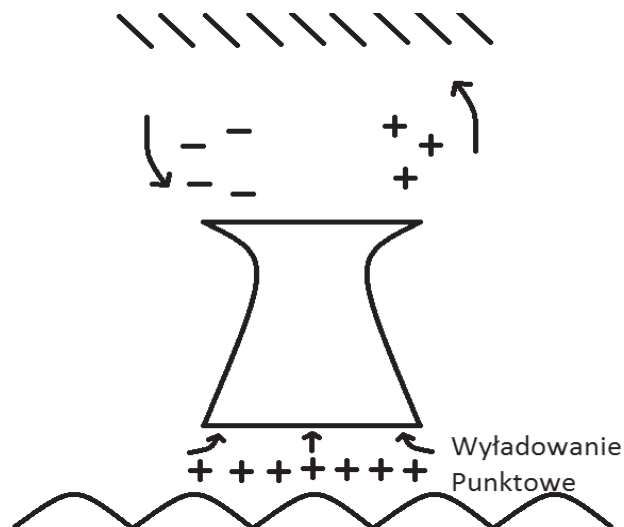
Całkowitą oporność atmosfery można określić z równania:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3 \cdot 10^5 \, \text{V}}{1350 \, \text{A}} = 222 \, \Omega \quad (14)$$

Dlatego też ładunek Q powinien znikać ze stałą własnością ζ :

$$\zeta = RC = 407 \, \text{s} \approx 7 \, \text{min} \quad (15)$$

A zatem z powyższych równań jasno wynika, że na to, aby utrzymać stan stacjonarny jakiś potężny mechanizm musi w sposób ciągły ładować atmosferę – w odniesie-



Rys. 3. Burza działająca jako prądnica ładuje kondensator Ziemia-jonosfera.

niu do ziemi to znaczy przenosić ładunek dodatni ziemi do atmosfery z szybkością około 1350 A.

To właśnie czasami nazywa się podstawowym zagadnieniem elektryczności atmosfery.

Za główną hipotezę tłumaczącą ten stan rzeczy przyjmuje się, że procesem ładującym jest działalność burzowa na kuli ziemskiej. Każda burza odgrywa rolę swojego rodzaju prądnicy jak to schematycznie przedstawiono na poniższym rysunku. Mamy, zatem na nim (Rys. 3):

- a) mechanizm rozdziału ładunku w chmurze burzowej, w których zazwyczaj, jak widać na rysunku istnieje obszar skupienia ładunku dodatniego w głównej części i ujemnego w dolnej. Jest to równoznaczne istnieniu prądu ładowania skierowanego ku górze i należy go pomniejszyć o wewnętrzny wpływ prądu, który zależy od przewodności wewnątrz chmury (niezbyt dobrze poznanej).
- b) chmura – wektor pola zwrócony jest przeciwnie niż w obszarach pięknej pogody na skutek istnienia ładunków w chmurze. Ponieważ ładunki swobodne (obu znaków) staje się coraz liczniejsze w miarę wzrostu

wysokości wynikający stąd prąd powinien być skierowany ku górze głównie powodowany przez wędrujące do dołu ładunki ujemne.

- c) pod chmurą – wektor pola jest również zwrócony przeciwnie. Tutaj prąd będzie powodował migracje i konwekcje (unoszenie w silnych prądach wstępujących. Tak, więc sumarycznym wynikiem jest skierowany w górę prąd ładujący od Ziemi do jonosfery. Będzie tak w przypadku kolejnej burzy a zatem suma wszystkich burz występujących na ziemi będzie stanowiła ten mechanizm ładowania, który utrzymuje kondensator sferyczny, jakim jest układ ziemia jonosfera w stanie naładowania.

Jeśli ta teoria jest prawdziwa to powinna istnieć ścisła zależność między działalnością burzową na świecie a polem E w obszarach pięknej pogody. Stwierdzono, że tak jest, jeśli porówna się średnie dobowe zmiany aktywności burzowej obliczone dla długich okresów obserwacji tego wskaźnika. Jednakże w poszczególnych dniach a nawet w przypadku wartości średniej dla krótkich okresów tak nie jest. Ten stan rzeczy nie został zadowalająco wyjaśniony.

Co w fizyce piszczy

Powstała niezniszczalna klawiatura

Jednym z elementów komputera najbardziej podatnym na uszkodzenia jest klawiatura. Klawisze się zużywają a sama klawiatura jest zazwyczaj nieporęczna przy przenoszeniu komputera. Na tą bolączkę naukowców odpowiedź znalazła grupa naukowców pod kierownictwem Keemin Sohn, Ji Sik Kim, Kee-Sun Sohn z Południowej Korei. Stworzyła ona bowiem niezniszczalną klawiaturę komputerową. Klawiatura ta jest bowiem w swojej istocie kawałkiem specjalnej przewodzącej elektrycznie gumy, na której powierzchni narysowano znaki odpowiadające standardowej klawiaturze komputerowej. Jeśli teraz użytkownik naciśnie wybrany klawisz, a właściwie jego rysunek na kawałku materiału, to prąd na wyjściu tego materiału ulegnie zmianie co przez odpowiedni program komputerowy zostanie zinterpretowane jako zdarzenie polegające na naciśnięciu klawisza. Zaletą takiej klawiatury jest to, że bardzo trudno ją uszkodzić. Jest to wynikiem braku sztywnych części i samej giętkości materiału. Jego twórcy reklamują, że taką klawiaturę można zwinąć w kulkę, wsadzić do kieszeni następnie wyjąć rozłożyć i nadal będzie działać.

Źródło: Jin-Woong Lee, Jiyong Chung, Min-Young Cho, Suman Timilsina, Keemin Sohn, Ji Sik Kim, Kee-Sun Sohn. Deep-Learning Technique To Convert a Crude Piezoresistive Carbon Nanotube-Ecoflex Composite Sheet into a Smart, Portable, Disposable, and Extremely Flexible Keypad. ACS Applied Materials & Interfaces, 2018; 10 (24): 20862 DOI: 10.1021/acsami.8b04914

Elektrody na żelowych misiach

Żelowe misie wzbudziły zainteresowanie naukowców pracujących w centrum naukowo-badawczym w niemieckim Julich. Tym razem naukowcy ich nie zjedli (przynajmniej do zakończenia eksperymentu) tylko umieścili na nich specjalne elektrody. Potem misie zostały poddane deformacjom i jednocześnie zmierzony został stosowny sygnał elektryczny. Ktoś może się spytać czemu miał służyć taki eksperyment? Otóż wbrew pozorom nie jest to jedynie zabawa. Od dawna fizycy i lekarze dążą do opracowania metod monitorowania ludzkiego organizmu od wewnątrz. Najczęściej do tego celu używa się czujniki półprzewodnikowe. Mają one jednak sztywną konstrukcję, co prowadzi do tego, że taki czujnik jest niedopasowany do pracujących tkanek. Naukowcy z Julich zrobili więc pierwszy krok w kierunku opracowania czujnika giętkiego. Taki czujnik nie będzie zaburzał pracy narządów, na których ma działać. Nie będzie też wywoływał nadmiernej reakcji układu odpornościowego pacjenta, która to reakcja czasami prowadziła do pojawiania się stanów zapalnych.

Źródło: Nouran Adly, Sabrina Weidlich, Silke Seyock, Fabian Brings, Alexey Yakushenko, Andreas Offenhäusser, Bernhard Wolfrum. Printed micro-electrode arrays on soft materials: from PDMS to hydrogels. npj Flexible Electronics, 2018; 2 (1) DOI: 10.1038/s41528-018-0027-z

Zbigniew Wiśniewski
Europejska Uczelnia w Warszawie



Zaćmienie Księżyca – 27.07.2018

Astronomiczne wydarzenie roku

Zaćmienia Słońca oraz Księżyca stanowią jedno z najbardziej spektakularnych zjawisk jakie możemy zaobserwować na sferze niebieskiej.

Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski, Zenon Sacharczuk

Na samym początku należy wyraźnie podkreślić i ostrzec Naszych Czytelników o zachowaniu szczególnej ostrożności dotyczącej obserwacji Słońca i zjawisk zachodzących na jego tarczy (protuberancje, pochodnie, plamy, a także powierzchni Słońca – fotosfery). Ostrożność podyktowana jest tym, że Słońce jest bardzo

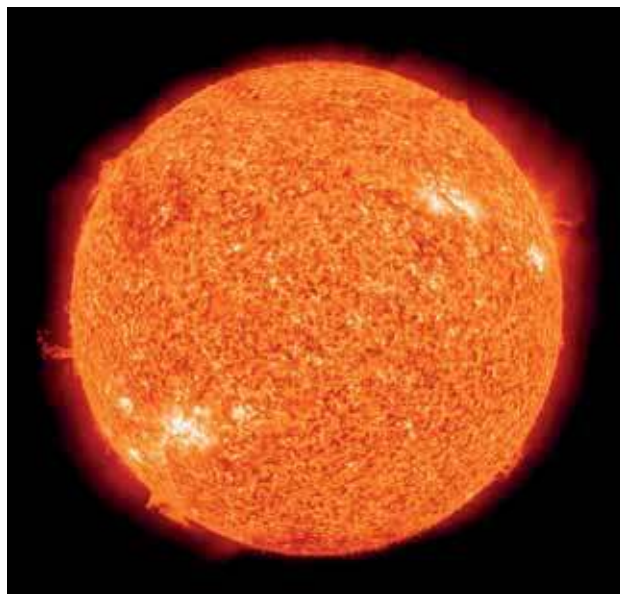


Foto. 1. Fotografia tarczy Słońca wykonana w dalekim ultrafiolecie (Foto. NASA).

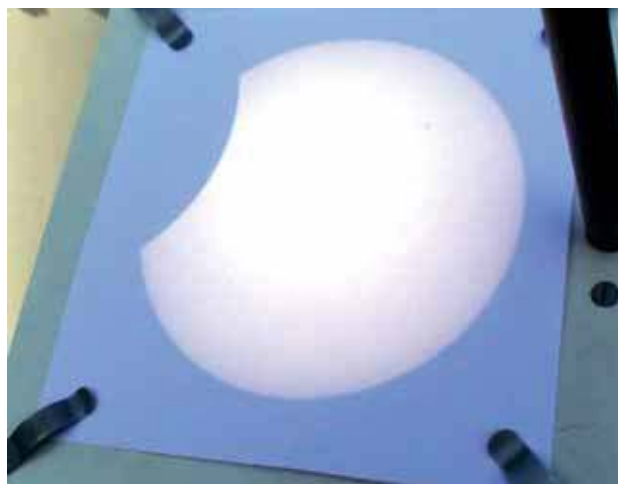


Foto. 2. Projekcja rzutowa tarczy Słońca wykonana podczas ostatniego zaćmienia częściowego Słońca widocznego z terenów Polski w dniu 20.03.2015 roku – fotografii wykonano w Uniwersyteckim Obserwatorium Astronomicznym w Rzeszowie (foto. M. Wesołowski).

jasnym obiektem (jego jasność obserwowalna wynosi – 26.8 magnitudo), które emituje bardzo dużą ilość energii w formie światła. W nadmiernej ilości może doprowadzić ona do pogorszenia naszego wzroku, a w ekstremalnych przypadkach nawet do jego utraty.

W tym miejscu należy zaznaczyć, że im wartość jasności danego ciała niebieskiego jest liczbą mniejszą tym jasność jego jest większa. Dlatego, chcąc bezpiecznie obserwować Słońce powinniśmy zaopatrzyć się w teleskopy z wbudowanym filtrem, który redukuje nadmierną ilość światła (np. Teleskop Słoneczny Coronado). Drugą

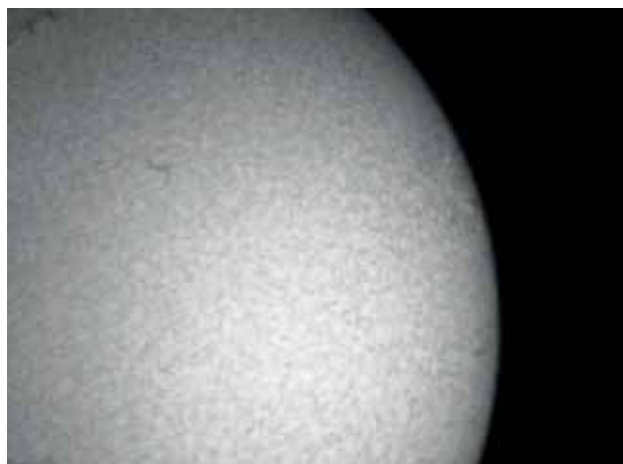


Foto. 3. Fotografia tarczy Słońca wykonana przy użyciu teleskopu słonecznego Coronado oraz kamery monochromatycznej. Na fotografii widoczna jest granulacja powierzchni Słońca oraz pochodnie słoneczne (foto. M. Wesołowski).

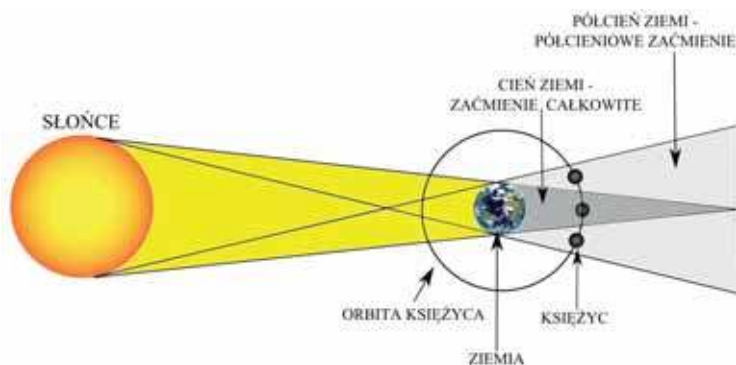
metodą bezpiecznej obserwacji jest tzw. projekcja rzutowa tarczy Słońca.

Przedstawione powyżej informacje mają charakter uzupełniający naszą wiedzę na temat naszej dziennej gwiazdy. W dalszej części artykułu skupimy się już wyłącznie na analizie zaćmienia Księżyca.

Na początku przypomnimy na czym polega omawiane zjawisko zaćmienia Księżyca i na czym polega jego wyjątkowość.

Zjawisko zaćmienia Księżyca zachodzi wtedy, gdy w przestrzeni kosmicznej trzy ciała niebieskie: Słońce, Ziemia i Księżyc znajdą się na jednej linii prostej. A zatem do zaćmienia Księżyca dochodzi, kiedy to Ziemia znajduje się między Słońcem a Księżycem będącym w pełni i Księżyc wchodzi w stożek cienia rzucanego przez Ziemię (rys.1). Warto w tym miejscu zaznaczyć, że jeżeli obserwator znajduje się w cieniu Ziemi to będzie on świadkiem całkowitego zaćmienia Księżyca. Natomiast w przypadku, kiedy obserwator znajduje się w półcieniu Ziemi, wówczas zaobserwuje on zaćmienie półcieniowe Księżyca.

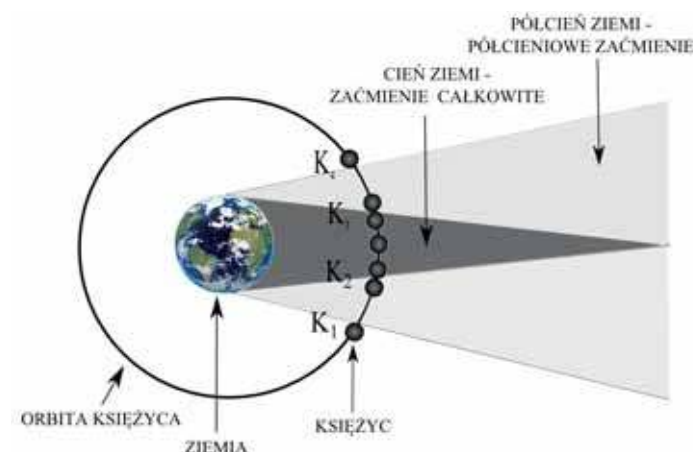
Istotną różnicą pomiędzy zaćmieniem Księżyca a zaćmieniem Słońca jest to, że pierwsze z nich jest widoczne na całej „odslonecznej” półkuli ziemskiej natomiast zaćmienie Słońca widoczne jest tylko w wąskim pasie o średniej szerokości około 200 km na powierzchni Ziemi (Gronkowski, Wesołowski, 2016,



Rys. 1. Schemat powstawania zaćmienia Księżyca.

Fizyka w Szkole z Astronomią). Powyższe fakty sprawiają, że obserwacje zaćmienia Księżyca możemy oglądać nawet z okna lub balkonu własnego domu.

Omawiając bardziej szczegółowo zjawisko całkowitego zaćmienia Księżyca z punktu widzenia obserwatora znajdującego się na powierzchni Ziemi należy wspomnieć o tzw. momentach kontaktu Księżyca pomiędzy półcieniem a cieniem ziemskim. Pierwszy kontakt ma miejsce wtedy, gdy Księżyc zaczyna wchodzić w półcień Ziemi – K1. Drugi kontakt (K2) ma miejsce wtedy, gdy Księżyc przechodzi z półcienia do cienia i jest to moment rozpoczęcia całkowitego zaćmienia. Natomiast trzeci kontakt (K3) oznacza czas, kiedy kończy się faza zaćmienia całkowitego. Spowodowane jest to tym, że Księżyc opuszcza ziemski cień i ponownie zbliża się do półcienia. Ostatni kontakt (K4) oznacza czas, w którym Księżyc wychodzi z półcienia i tym samym zjawisko zaćmienia dobiega końca.



Rys. 2. Momenty kontaktów Księżyca z cieniem i półcieniem ziemskim podczas zaćmienia.

Przedstawione powyżej fazy kontaktów, które możemy zaobserwować podczas zaćmienia Księżyca zostały w sposób schematyczny zilustrowane na rys. 2.

Tak jak w przypadku każdego zjawiska astronomicznego, należy pamiętać o kilku podstawowych zasadach:

- ! obszar nieba powinien być wolny od widoku zabudowań oraz terenów leśnych,
- ! miejsce obserwacji powinno znajdować się z dala od centrum miast, tak aby można było uniknąć zanieczyszczenia nieba sztucznym światłem, które wpływa negatywnie na jakość obserwacji astronomicznych,
- ! dla własnej wygody dobrze byłoby zaopatrzyć się w wygodne miejsce siedzące,
- ! w celu uwiecznienia zaćmienia należy zaopatrzyć się w sprzęt fotograficzny (do rejestracji tego typu zjawiska wystarczy zwykły aparat wraz ze statywem fotograficznym).

W czasie całkowitego zaćmienia Księżyca można byłoby się spodziewać, że tarcza naszego srebrnego globu będzie niewidoczna. Jednakże geometria tego zjawiska sprawia, że tak naprawdę Księżyc nigdy całkowicie nie

znika – jest on tylko „chwilowo” przesłonięty. Nawet w fazie maksymalnego zaćmienia Księżyca niewielka ilość światła słonecznego jest w stanie się przedostać przez atmosferę ziemską i wpaść w stożek cienia ziemskiego. Efektem tego zjawiska jest charakterystyczne czerwono – brązowe zabarwienie tarczy Księżyca, które zależy między innymi od stanu atmosfery ziemskiej w miejscu obserwacji.



Foto. 4. Przykładowa fotografia tarczy Księżyca, na której widoczne są liczne kraterzy oraz linia terminatora oddzielająca część oświetloną od części nieoświetlonej tarczy Księżyca (foto. M. Wesółowski).

Warto nadmienić, że poprzednie zjawisko całkowitego zaćmienia Księżyca, które było widoczne z terenów Polski miało miejsce już prawie trzy lata temu – 28.09.2015 roku.

Przebieg zjawiska zaćmienia Księżyca w dniu 27.07.2018

Zjawisko zaćmienia Księżyca rozpoczyna się z chwilą wejścia Księżyca w ziemski półcień. W dniu 27 lipca 2018 roku zjawisko to obserwowane w Rzeszowie rozpoczęło się o godzinie 20:13 wraz ze wschodem Księżyca – był to początek częściowego zaćmienia Księżyca. Niemalże od razu można było zobaczyć, że tarcza Księżyca przybrała barwę zbliżoną do czerwieni, a także była wyraźnie większa dlatego, że znajdował się on nisko nad linią horyzontu. Ponadto pełnia Księżyca i jego zaćmienie całkowite zbiegło się w czasie z lipcowym apogeum – momentem, w którym Księżyc jest najbardziej oddalony od Ziemi.

Faza całkowitego zaćmienia Księżyca rozpoczęła się około godziny 21:30 i trwała ona aż 1 godzinę 42 minuty i 57 sekund. Warto wyjaśnić, że dokładne obliczenia prowadzą do wniosku, że było to najdłuższe zaćmienie

całkowite Księżyca z pośród wszystkich zaćmień, które są przewidywane na cały XXI wiek. Około godziny 23:13 rozpoczęło się tzw. „schodzenie” czyli przejście Księżyca z cienia do półcienia ziemskiego. Wówczas mogliśmy podziwiać fazę częściowego zaćmienia, która trwała do 00:20. Natomiast końcowa faza półcieniowego zaćmienia Księżyca miała miejsce do około godziny 01:30.

Jako ciekawostkę należy dodać, że tak długie następne zaćmienie przewidywane jest na rok 2123 – ale to już niestety nie dla nas z przyczyn oczywistych. Natomiast w XXI wieku wystąpią aż 143 zaćmienia Księżyca wśród których 85 to zaćmienia całkowite, a 58 to zaćmienia częściowe.

Poniżej zostały przedstawione fotografie zaćmienia Księżyca, które udało się wykonać w Rzeszowie, pomimo niesprzyjających warunków meteorologicznych. Niebo nad Rzeszowem i jego okolicach było zachmurzone, ale na nasze szczęście co pewien czas pojawiała się „okno” pogodowe, które umożliwiło nam uwiecznienie tego wyjątkowego zjawiska.



Foto. 5. Zaćmienie Księżyca z 27 lipca 2018 roku – zdjęcia wykonano przy użyciu aparatu fotograficznego, dla którego wykorzystano różne ustawienia czułości i czasu naświetlania (foto. Z. Sacharczuk).



Rys. 3. Mozaika zdjęć Księżyca podczas jego zaćmienia – poszczególne obrazy wygenerowano przy pomocy programu Stellarium. Dodatkowo przyjęto sekwencje pomiędzy zdjęciami średnio co 10 minut (źródło: Stellarium).



Foto. 6. Wielka opozycja Marsa względem Księżyca (w górnej części wyraźnie widoczny Księżyc a poniżej planeta Mars – mały czerwony punkt, (foto. Z. Sacharczuk)).

Ze względu na wspomniane niekorzystne warunki meteorologiczne na rys. 3 przedstawiamy mozaikę zdjęć Księżyca podczas zaćmienia.

Oprócz omawianego w tym artykule zaćmienia Księżyca dodatkowo w tym czasie doszło do pierwszej od 15 lat wielkiej opozycji Marsa. Oznaczało to, że planeta Mars znalazła się po przeciwnej stronie Ziemi niż Słońce i znajdowała się w peryhelium swojej orbity. Tak, więc można powiedzieć, że 27 lipca 2018 roku aż cztery ciała niebieskie ułożyły się w przybliżeniu na tej samej linii prostej w kolejności: Słońce, Ziemia, Księżyc i Mars.

Jeśli mowa o Marsie warto dodatkowo wspomnieć o ostatnim spektakularnym odkryciu włoskich astronomów, którym udało się potwierdzić istnienie podziemnego jeziora na Marsie. Wspomniane jezioro marsjańskie usytuowane jest na południowym biegunie planety



Rys. 4. Wielka opozycja Marsa względem Księżyca (źródło: Stellarium).

i przykryte jest grubą warstwą lodu. Na podstawie pomiarów radarem Marsis (ang. Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding) stwierdzono, że woda ma ujemną temperaturę, ale znajduje się ona w stanie ciekłym. Ten stan fazowy zawdzięczamy wysokiemu ciśnieniu oraz domieszce takich pierwiastków jak: magnez, wapń, czy sód – które zostały zidentyfikowane na Marsie już wcześniej (źródło: www.nasa.gov; <https://www.spidersweb.pl/2018/07/woda-na-marsie-podziemne-jezioro.html>).



Rys. 5. Fragment nieba, na którym widoczna jest wielka opozycja Marsa z Księżycem, deszcz meteoroidów α -Capricornids, a także planeta Saturn (źródło: Stellarium).

Dodatkowo na rys. 5 przedstawiamy niezwykle zdjęcie fragmentu nieba, na którym widoczna jest wielka opozycja Marsa z Księżycem, deszcz meteoroidów (α -Capricornids – o liczbie ZHR równej 5, który określa ilość meteorów jakie możemy dostrzec w ciągu godziny), a także planeta Saturn. Wspomniany deszcz meteoroidów α -Capricornids związany jest z kometą okresową 169P/NEAT.

Naszym czytelnikom życzymy sukcesów podczas kolejnych zaćmień, ale przede wszystkim dobrych warunków meteorologicznych.

dr Marcin Wesolowski^{1,2},
dr hab. Piotr Gronkowski, prof. UR^{1,2},
mgr Zenon Sacharczuk^{1,2}

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

LITERATURA

- [1] Harrington, P., S., 1999, Zaćmienie! Co, gdzie, kiedy, dlaczego i jak?, Prószyński i S-ka, Warszawa.
- [2] Rybka, E., 1976, Astronomia ogólna, PWN, Warszawa.
- [3] Gronkowski, P., Wesolowski, M., 2015, Zaćmienia Słońca - fakty i mity, cz. I: Teoria, nr 5, Fizyka w Szkole z Astronomią.
- [4] Gronkowski, P., Wesolowski, M., 2016, Zaćmienia Księżyca, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 2, str. 42 – 44.

Wydmy stanowią przedmiot zainteresowania geologów, geofizyków, lecz także astronomów. Dlaczego astronomów? Otóż występują one nie tylko na Ziemi. Są też obecne na Wenus, Marsie i Tytanie.

Wydmy na Ziemi i nie tylko, czyli fizyk na wakacjach

Zbigniew Wiśniewski

Pozwólmy sobie na odrobinę wspomnień. Otóż jest lato a my siedzimy na przepięknej nadmorskiej plaży, powiedzmy w Jastarni. Plaża jest piaszczysta, idealnie gładka. Nie, ten obraz nie jest prawdziwy. Plaża wcale nie jest gładka. Przyglądając się piaskowi możemy szybko stwierdzić, że formuje on przynajmniej dwa typy struktur. Małe, stosunkowo niskie zmarszczki i dużo od nich większe wydmy. Co ciekawe praktycznie nie ma struktur pośrednich. Przyjrzyjmy się bliżej większym z nich – wydmom. Stanowią one przedmiot zainteresowania geologów, geofizyków, lecz także astronomów. Dlaczego astronomów? Otóż występują one nie tylko na Ziemi. Są też obecne na Wenus, Marsie i Tytanie. Czyli do ich powstania potrzebne są dwa czynniki, atmosfera i sypek materiał.

Powstawanie wydym jest przykładem procesu samoorganizacji piasku. Wydmy są więc efektem działania atmosfery. Ich kształt może nam więc dostarczyć informacji o jej gęstości i dynamice. Takie analizy są szczególnie użyteczne w przypadku wydym pozaziemskich. Pierwsza monografia poświęcona wydmom powstała w 1941 roku.

Opisując kształt wydym możemy na początek stwierdzić, że są to podłużne wały uformowane z piasku. Wały te są jednak zdecydowanie niesymetryczne od strony, z której wieje wiatr nachylenie stoku jest niewielkie. Z przeciwnej strony nachylenie jest dużo większe.

Przyjrzyjmy się więc najpierw rodzajom wydym na Ziemi i w kosmosie.

Rodzaje wydym – Ziemia

Na ziemi wydmy często tworzą się w obszarach nadmorskich i na piaszczystych pustyniach. Pod wzglę-

dem kształtu możemy wyróżnić wiele rodzajów wydym. Najbardziej typowym kształtem ziemskiej wydym są wydmy poprzeczne. Są to długie proste wały ziemne o opisanych wcześniej niesymetrycznych stokach.

W naturalnych warunkach trudno jednak zapewnić, aby podłoże, na którym rozwija się wydma było całkowicie jednorodne oraz żeby wiatr wiał stale w jednym, niezmiennym kierunku. W związku z tym należy się spodziewać, że powstawać będą różne wygięcia i przerwy w wałach wydymowych. Przykładem takiej wygiętej wydym jest bachran, który kształtem przypomina księżyc. Jest on grubszy w centrum i cieńszy przy końcach.

Przeciwieństwem są wydmy podłużne, bardzo strome z obu stron. Ustawione są raczej równolegle do kierunku wiatru. Wydmy te są typowe dla Sahary. Długość pojedynczej wydym może osiągać 300 km a wysokość 300 m. Są one też obecne na Tytanie.

Wydmy mają zdolność poruszania się a skoro mogą się poruszać, to mogą też się zderzać. Efektem takich zderzeń mogą być wydmy o wielu rogach tzw. wydmy gwiaździste.



Fig. 1 Wydmy na pustyni w Peru. Obok wydym widzimy też wspomniane zmarszczki.
Źródło : <https://www.goodfreephotos.com>.

Wyjątkową cechą wydm ziemskich jest ich nieustanna walka jaką muszą toczyć z roślinnością. Obecność roślinności wpływa bowiem hamująco na ich ruch.

W Polsce z występowania ruchomych wydm słynie Słowiński Park Narodowy.

Wenus

Istnienie wydm na Wenus a dokładnie całych pól wydmych zostało odkryte w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku na podstawie analizy zdjęć dostarczonych przez sondy Magellan. Należy jednak zaznaczyć, że wydmy nie są powszechne – na tej planecie wykryto zaledwie dwa pola wydmy. Są to wydmy o długości od 500 m do 10 km o grubości ok. 200 m. Odległość między nimi wynosi ok 500 m. Inny niż na Ziemi jest materiał wydmy. Najprawdopodobniej są nim kawałki bazaltu. Łącznie pokrywają one zaledwie 0,004 % powierzchni planety. Biorąc pod uwagę dużą gęstość wenusjańskiej atmosfery i słabość wiejących przy jej powierzchni wiatrów nie należy się dziwić, że jest ich tak mało. Większą zagadką jest skąd w ogóle się tam wzięły? Ziemskie badania laboratoryjne i obliczenia teoretyczne wskazują na możliwość występowania małych kilkudziesięciocentymetrowych mikro-wydm.

Mars

Duża ruchliwość marsjańskiej atmosfery czyni tą planetę szczególnie przyjazną dla wydm. Nic więc dziwnego, że takie formy są tam obecne. Szczególne duże ilości wydm można obserwować na półkuli północnej i w marsjańskich kraterach stanowiących swego rodzaju pułapki na piasek, czyli ujmując rzecz obrazowo naturalne piaszownice.

Na Marsie wykryto stosunkowo dużo wydm poprzecznych, jak też wydm barchanowych. Jedną z większych zagadek dotyczących marsjańskich wydm jest ich stosunkowo mała ruchliwość. Na Marsie występują też dość egzotyczne struktury, które można sklasyfikować jako dość małe wydmy (ang Transverse Aeolian Ridges). Na Marsie są one bardzo powszechne, podczas gdy na Ziemi nie ma ich wcale. Materiał, z którego powstają marsjańskie wydmy jest zbliżony do materiału, z którego powstają wydmy na Wenus. Jest to bazalt.

Tytan

Prawdziwą sensację stanowiły wydmy odkryte na powierzchni Tytana. Po pierwsze, materiał, z których powstał jest bardzo dziwny. Jest to bowiem lód wodny zmieszany ze związkami organicznymi. Po drugie, są one prawdziwymi gigantami. Rozciągają się na setki kilometrów. Mają też około 100 m wysokości. Odległości między nimi to ok 1,5 km. Dodatkowo są ułożone prawie równoległe do osi równika. Pola wydmy pokrywają ok 20 % powierzchni księżycy. Fizyka wydm na Tytanie stanowi stosunkowo gorący temat w fizyce, gdyż zostały one odkryte dopiero w 2005 roku podczas misji sondy Cassini.

Procesy wydmytwórcze

Proces powstawania wydm jest badany przez naukowców różnych dziedzin. Stosuje się do tego celu bardzo

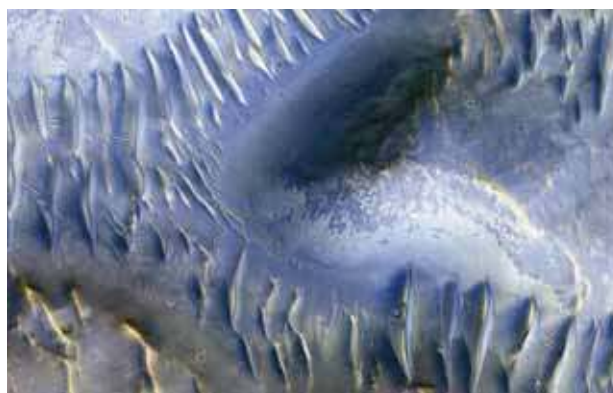


Fig 2. Wydmy w jednym z Marsjańskich kraterów NASA/JPL/University of Arizona

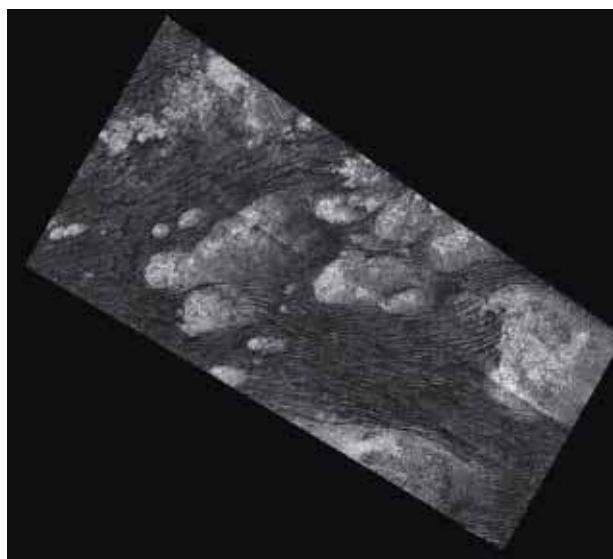


Fig 3. Wydmy na powierzchni Tytana sfotografowane przez sondę Cassini, źródło NASA

różnorodne techniki. Oczywiście ruch piasku jak i całych wydm jest też modelowany za pomocą programów komputerowych. Prowadzi się też obserwacje terenowe, jak też i badania za pomocą wyszukanych technik laboratoryjnych. Wiele ciekawych rezultatów uzyskano dzięki badaniom w tunelach aerodynamicznych. My jednak z konieczności podejrzmy do problemu na bardzo elementarnym poziomie i zadajmy sobie pytanie o najbardziej podstawowe zależności. Postawmy sobie podstawowe pytanie – jak to się dzieje, że piasek zaczyna się przemieszczać?

Rozpatrzmy więc zwykłą stertę piasku, a dokładniej ziarenko A. Z doświadczenia wiemy, że przy bezwietrznej pogodzie ziarenko się nie poruszy. Ma szansę zacząć się unosić dopiero wtedy, gdy nad nim zacznie wiać wiatr z pewną określoną prędkością. W tym momencie wytrawnym fizykom przychodzi na myśl prawo Bernoullego. Faktycznie, jeśli przyjrzymy się rysunkowi to stwierdzimy, że dookoła ziarenka znajdują się dwa obszary. Jeden pod nim, gdzie uwiecznione powietrze jest nieruchome a drugi nad nim, gdzie powietrze się porusza. Ciśnienie w obu przypadkach powinno być takie same, a to oznacza, że ciśnienie statyczne nad ziarenkiem jest mniejsze od ciśnienia pod ziarenkiem. Czyli na ziarenko działa skierowana pionowo do góry

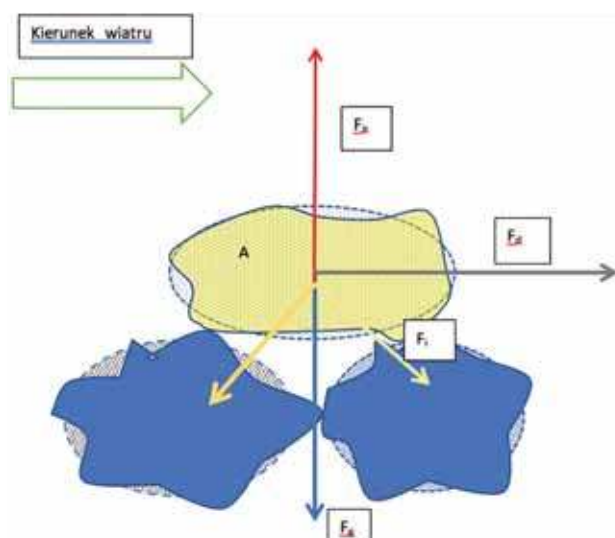


Fig. 4. Siły działające na ziarno piasku pod wpływem wiatru F_d – siła ciągnąca (drag force) F_g – siła grawitacji, F_i – siła oddziaływania pomiędzy ziarnami, F_n – siła nośna. Na podstawie after Shao and Lu, 2000

siła nośna. Zupełnie tak samo jakby nasze ziarenko było skrzydłem samolotu. Oczywiście siła nośna to nie jedyna siła działająca na ziarno. Są jeszcze siła grawitacji i siła kohezji. Ta ostatnia jest to siła jaka pojawia się na granicy między ziarnami. Pod tym pojęciem możemy rozumieć siły o charakterze tarcia, jak też oddziaływania elektrostatyczne. Istotny wpływ ma też oddziaływanie związane z otoczkami solwatacyjnymi otaczającymi poszczególne ziarna. Jeśli takie otoczki występują to siły nośne muszą przerwać też oddziaływania napięcia powierzchniowego powstające w uwspólnionych warstwach wody. Jeśli moment sił nośnych będzie większy od momentu sił działających do dołu to nastąpi zapoczątkowanie ruchu ziarna. Warunek ten możemy wyrazić za pomocą nierówności:

$$F_d r_d \geq (F_g - F_l) r_g + F_i r_i$$

Czyli siła nośna musi osiągnąć pewną wartość krytyczną, aby ruch został zapoczątkowany.

Przyjrzyjmy się powyższej zależności bliżej. Znajdująca się po prawej stronie wzoru siła ciągnąca wynika z prawa Bernoulliego i jest określana wzorem:

$$F_d = K \rho_a d^2 u^2$$

Czynnik K – jest typową dla półempirycznych relacji stałą. We wzorze tym d jest średnicą ziarna lub gdy ziarno nie jest okrągłe, co jest najczęściej spotykaną sytuacją w naturze, tzw efektywną średnicą ziarna. Czyli d^2 ma wymiar powierzchni. Podobnie jak powierzchnia skrzydła samolotu. ρ_a jest gęstością atmosfery. Pobieźna analiza tej zależności sugeruje, że duża wartość gęstości powinna być czynnikiem wydmotwórczym. Tymczasem wcale tak nie jest.

Najgęstsza atmosferę mamy na Wenus a mimo to wydmy nie są dominującym czynnikiem krajobrazu. Wynika to z kolejnego z czynnika jakim jest efektywna prędkość u . Otóż gęste atmosfery charakteryzują się dużym współczynnikiem tarcia wewnętrznego i są na ogół spokojne. Ponieważ po prawej stronie wzoru występują

różne czynniki oznacza to, że musi istnieć pewna wartość progowa powyżej, której ziarna stają się ruchome. Istnieje wiele różnych formuł określających wartość progową prędkości. Zależą one od wielu czynników, które trudno jest jednoznacznie określić. Jedną z najelegantszych jest:

$$u_{crit} = A \sqrt{\frac{\rho_z - \rho_a}{\rho_a} g d + \frac{\gamma}{\rho_a d}}$$

g – jest to natężenie pola grawitacyjnego, czyli przyspieszenie grawitacyjne. Oczywiście różne w zależności od obiektu przyspieszenie grawitacyjne jest różne. Największe jest na Ziemi i wynosi ono $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Niewiele mniejsze jest na Wenus i wynosi $g = 8,87 \text{ m/s}^2$. Na Marsie z kolei przyspieszenie grawitacyjne wynosi zaledwie $g = 3,71 \text{ m/s}^2$. Tak niska wartość przyspieszenia grawitacyjnego z pewnością sprzyja łatwości odrywania się cząstek od podłoża, czym z kolei można wytłumaczyć dużą ilość wszelkiego rodzaju małych trąb powietrznych (dust devils) występujących na Marsie. Oczywiście najmniejsze natężenie pola grawitacyjnego występuje na Tytanie i wynosi $g = 1,35 \text{ m/s}^2$. A i γ mają charakter parametrów dopasowujących. Przyjrzyjmy się pozostałym członom nierówności (1).

F_g – jest tak zwaną efektywną siłą grawitacji. Dla ziarna o kształcie kuli możemy wyrazić ją wzorem:

$$F_g = \frac{\pi}{6} (\rho_z - \rho_a) g d^3$$

F_i – są to wspomniane poprzednio siły oddziaływań międzycząsteczkowych.

Badania wykazały, że najłatwiej ulegają uniesieniu ziarna o rozmiarach około 100 nm. Co się dzieje z już uniesionym ziarnem? Naukowcy wyróżniają cztery rodzaje procesów. Małe ziarna o średnicy poniżej 100 nm tworzą zawiesinę. W takim stanie ziarno może bardzo długo przebywać w powietrzu i być przenoszone na znaczne odległości. Ziarna takie mają bardzo istotny wpływ na bilans termiczny Ziemi, ale to zagadnienie wykracza poza ramy tego artykułu.

Ziarna o wymiarach powyżej 500 nm jest zazwyczaj pchane przez prąd powietrza. Raczej się toczy niż skacze. Najciekawsze właściwości wykazują ziarna o średnicy 100-500 nm. Te ziarna ulegają tak zwanemu procesowi saltacji. Polega on na tym, że ziarno zostaje wystrzelone w przestrzeń z pewną prędkością v pod pewnym kątem α . Potem porusza się po krzywej balistycznej, aby ponownie uderzyć w ziemię. Proces ten jest podobny do rozważanego w praktyce szkolnej rzutu ukośnego. Nie jest to jednak dokładnie taki sam proces, gdyż cząstka przed uderzeniem może zyskać dodatkową energię od wiatru. Skutkiem tego odbierania energii od wiatru jest pewne jego spowolnienie i jednocześnie przyspieszenie prędkości ziarna. Ponieważ wiatr wieje zawsze mniej lub bardziej nieregularnie prowadzi to do chaotycznego ruchu poszczególnych ziaren i ich wzajemnych zderzeń. Dokładna analiza takiego ruchu wymaga zastosowania komputerowych metod symulacji i badań z zakresu chaosu deterministycznego.

Jeśli teraz w momencie powtórnego uderzenia w ziemię cząsteczka będzie miała odpowiednio dużą energię to odda ją ziemi, czyli innym cząsteczkom powodując ich wyrzucenie. Oczywiście ilość wybijanych cząstek jest tym większa, im większy jest pęd padającej cząstki. W wyniku tego procesu ilość fruwających cząstek będzie rosła eksponentalnie. Saltacja jest też główną przyczyną emisji cząstek o średnicach mniejszych niż 100 nm.

Cząstka dokonując pojedynczego skoku powoduje powstanie pewnego ruchu masy o wielkości:

$$q = \frac{mL}{t_s}$$

Gdzie m – jest masą pojedynczego ziarenka, L – długością skoku, t_s – czasem trwania pojedynczego skoku. Sumując wszystkie skoki i dzieląc je przez czas otrzymamy całkowity strumień masy przenoszony przez wiatr. Niestety, ponieważ wynik całkowania zależy od przyjętego rozkładu prędkości, to istnieje wiele różnych formuł pozwalających oszacować strumień. O ile ogólne podstawy procesu saltacji są podobne i takie same dla wszystkich rozpatrywanych ciał kosmicznych, to przy przeprowadzaniu symulacji komputerowych i obliczeń należy pamiętać, że szczegóły tego procesu różnią się diametralnie. Na przykład na Ziemi częstotliwość występowania wiatrów o prędkości umożliwiającej zainicjowanie procesu saltacji jest znacznie większa niż na Marsie.

Przedstawiony proces nie prowadzi do powstania wydmy, ponieważ w miejsce jednego usuniętego ziarna zostaje przyniesione następne. Aby wydma mogła zacząć się tworzyć musi pojawić się na drodze prądu masy jakaś przeszkoda, zarodek, na którym cząstki piasku zaczną się spiętrzać. Wskutek spiętrzenia równania hydrodynamiki stają się nieliniowe co prowadzi do charakterystycznego kształtu wydmy. Wydma rośnie nieregularnie z jednej strony w wyniku czego jej stok staje się coraz bardziej stromy. W pewnym momencie wydma przestaje być

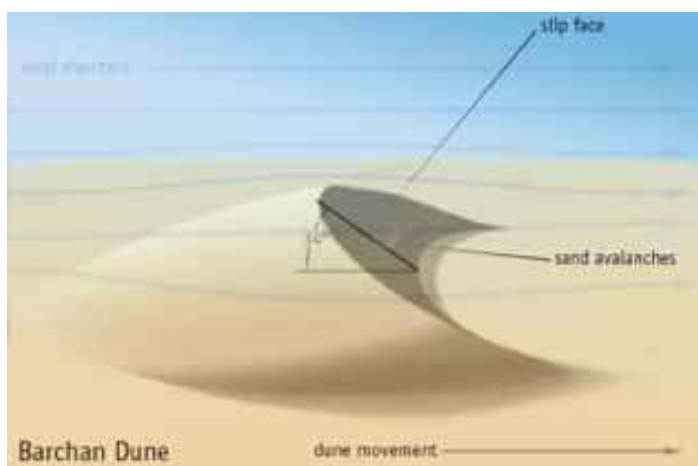


Fig. 5. Proces powstawania wydmy, źródło wikipedia.

stabilna i następuje osunięcie się ziemi. W ten sposób wydma się porusza.

W powyższym artykule oczywiście nie przedstawiliśmy wszystkich zagadnień związanych z fizyką wydym. Jest to zagadnienie bardzo złożone. Zainteresowanych czytelników odsyłam do wyszczególnionej poniżej literatury.

Zbigniew Wiśniewski
Europejska Uczelnia w Warszawie

LITERATURA

- [1] Bagnold R. A. 1941 *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes* (New York: Methuen).
- [2] Greeley R., Arvidson R. E., Elachi C., Plaut J. J., Saunders R. S., Schubert G., Stofan E. R., Wall S. D., PThouvenot E. J. and Weitz C. M. 1992b *Aeolian features on Venus: preliminary Magellan results* J. Geophys. Res. **97** 13319-45
- [3] Lorenz R. D. et al 2006 *The sand seas of Titan: Cassini RADAR observations of longitudinal dunes*, Science 312 724-7
- [4] Shao Y. P. and Lu H. 2000 *A simple expression for wind erosion threshold friction velocity* Journal of Geophysical Research-Atmospheres 105 22437-43
- [5] Mary C. Bourke et al "Extraterrestrial dunes: An introduction to the special issue on planetary dune systems" *Geomorphology* 121 (2010) 1-14;

I. PRENUMERATĘ NA ROK 2019 I ROK SZKOLNY 2018/2019 MOŻNA ZAMÓWIĆ BEZPOŚREDNIO U WYDAWCY

- **Przez internet:** zakładka *Prenumerata 2019* na stronie www.aspress.com.pl i wypełniając formularz zamówienia na podstronie prenumeraty
- **e-mail:** szewczyk24@gmail.com ■ **telefonicznie:** 606 201 244 ■ **listownie:** Agencja AS Józef Szewczyk, ul. Warchałowskiego 2/58, 02-776 Warszawa

Cena prenumeraty w 2019 roku

Tytuł	Liczba wydań (I i II półrocze)	Cena egzemplarzowa	Cena prenumeraty rocznej	Cena prenumeraty w II półroczu
Dwumiesięczniki				
Chemia w Szkole	6 (3+3)	25,00	150,00	75,00
Geografia w Szkole	6 (3+3)	25,00	150,00	75,00
Fizyka w Szkole z Astronomią	6 (3+3)	27,50	165,00	82,50
Wiadomości Historyczne z WOS	6 (3+3)	27,50	165,00	82,50

Zamów prenumeratę przez Internet
www.aspress.com.pl/prenumerata-2019/

eprasa.pl 5a1bb21dfa

II. PRENUMERATA DOSTARCZANA PRZEZ FIRMY KOLPORTERSKIE:

1. **RUCH** – zamówienia na prenumeratę w wersji papierowej i na e-wydania można składać bezpośrednio na stronie www.prenumerata.ruch.com.pl. Ewentualne pytania prosimy kierować na adres e-mail: prenumerata@ruch.com.pl lub kontaktując się z Centrum Obsługi Klienta „RUCH” pod numerami: 22 693 70 00 lub 801 800 803 – czynne w dni robocze w godzinach 7.00–17.00. Koszt połączenia wg taryfy operatora.
 2. **GARMOND PRESS** – tel. 22 836 69 21 prenumerata.warszawa@garmondpress.pl.
 3. **KOLPORTER S.A.** – prenumeratę instytucjonalną można zamawiać w oddziałach firmy. Informacje: www.kolporter.com.pl.
 4. **POCZTA POLSKA** – zamówienia we wszystkich urzędach pocztowych lub w listonoszy, drogą elektroniczną: www.poczta-polska.pl. Infolinia w godz. 8.00–22.00: 801 333 444 (dla telefonów stacjonarnych) i 801 333 444 (dla telefonów komórkowych i z zagranicy).
- III. **NUMERY ARCHIWALNE DRUKOWANE** dostępne są w ograniczonym zakresie. Przed złożeniem zamówienia prosimy o kontakt pod adresem: szewczyk24@gmail.com.

Poddasze Układu Słonecznego – cz.1



Po trwającej 9,5 roku podróży sonda New Horizons minęła 14 lipca 2015 roku, 3 sekundy przed godziną 13:50 naszego czasu punkt swojego toru, znajdujący się najbliżej Plutona.

Jan Rokita

Sonda wykonała pierwsze w historii badania Plutona i jego satelitów i ich pierwsze zdjęcia z bezpośredniego sąsiedztwa. W trakcie podróży jej cel został „zdegradowany” do statusu **planety karłowatej**, co wywołało liczne protesty na całym świecie. A szczególnie w USA, jako że mieszkańcy tego kraju czują się z Plutonem związani emocjonalnie, bo w końcu... to była jedyna planeta, odkryta przez Amerykanina. Jej imię dostał nawet pewien disneyowski pies.

Pluton i jego satelity stały się też pierwszymi zbadanymi bezpośrednio obiektami **Pasa Kuipera**, dużego zbiorowiska planetoid, obiegających Słońce dalej, niż planeta Neptun. Jeden z pracujących przy misji New Horizons naukowców stwierdził, że próbnik dotarł na poddasze Układu Słonecznego. Określenie tyleż poetyckie, co trafne, bo tak samo, jak na nigdy nie odwiedzanym strychu domu potrafią się znaleźć prawdziwe skarby, tak i poza orbitą Neptuna rozciąga się fascynujący świat drobnych obiektów. Są to skalno-lodowe okruchy o różnych rozmiarach i fizycznych właściwościach (niektóre prawie tak duże, jak Pluton), których nawet orbity mogą być same w sobie niezwykle ciekawe. Całkiem często mają naturalne satelity, ale mogą też być podwójne czy potrójne. Badacze historii i ewolucji naszej słonecznej rodziny głęboko wierzą, że ich lepsze poznanie pozwoli zbliżyć się do odpowiedzi m.in. na pytania, jak tworzyły się planety, skąd wzięły się na nich związki organiczne – a więc w ostatecznej konsekwencji zrozumieć i pochodzenie nas samych.

Pluton – planeta karłowata

Na początek przypomnijmy, co oznacza termin **planeta karłowata**, gdyby jeszcze ktoś nie wiedział. Przede wszystkim musi to być obiekt na tyle duży i masywny,

żeby pod wpływem swej własnej grawitacji uzyskał kształt zbliżony do sferycznego, jeśli jednak szybko wiruje wokół własnej osi obrotu – dopuszczalny jest kształt elipsoidalny. Wiadomo: spłaszczenie. Z drugiej jednak strony – jego masa musi być na tyle mała, by nie potrafił „wyczyścić” swej okolicy z innych ciał o porównywalnej wielkości. I jeszcze jedna, ważna rzecz: musi samodzielnie obiegać Słońce.

Łatwo pokażemy to na przykładzie Ziemi i Ceres, jedynej planety karłowatej z wnętrza Układu Słonecznego. O ile między Wenus i Marsem nie ma innych, o porównywalnej do Ziemi wielkości obiektów, o tyle między Marsem i Jowiszem są całe tysiące planetoid, w tym niektóre tylko nieco mniejsze od Ceres. Nasz satelita, Księżyc, jest oczywiście duży i kulisty, ale... jest satelitą: obiega Ziemię, a Słońce razem z nią, a nie samodzielnie, więc planetą karłowatą być nie może.

Na dzień dzisiejszy status planety karłowatej mają, oprócz **Ceres** i **Plutona**, jeszcze trzy obiekty transneptunowe: niewiele mniejsza od Plutona i bardzo odległa od Słońca **Eris**, oraz nieco bliższe, ale też nieco mniejsze **Haumea** i **Makemake**. „W poczekalni” czeka jednak całkiem spore stadko globów, które z mniejszym lub większym prawdopodobieństwem mają szanse także taki status uzyskać. Cztery najdalsze (plus inne z tamtych rejonów, jeśli zostaną zaliczone do tego grona), dla odróżnienia od Ceres (i innych ewentualnych planet karłowatych z Pasa Głównego), określa się wspólną nazwą **plutoidów**.

Sam Pluton okazał się, pomimo mrozu (-235°C) i prawie tysiąckrotnie słabszego oświetlenia przez Słońce w porównaniu z Ziemią, światem z czerwonym szronem i lodem, niezwykle fotogenicznym i... ciągle aktywnym. Część powierzchni ma wiek, szacowany na zaledwie (w astronomicznej skali czasowej, rzecz jasna) 100 milionów lat, planetolodzy muszą więc teraz zgadnąć,

skąd wzięła się energia, dzięki której powierzchnia Plutona może się, niemal na naszych oczach, odnawiać. Pływy? Jakies ciepło wewnętrzne (i znów – skąd, rozpady promieniotwórcze)? A może obecność amoniaku, który w większych stężeniach może przeciwdziałać zamarzaniu innych substancji? A stąd już tylko krok do kriowulkanizmu, na przykład takiego, jak na Trytonie, księżycu Neptuna. Bo azotu na Plutonie nie brak, tworzy nawet spływające z gór lodowce. Te plutonowe góry są z wodnego lodu, w nim są też kaniony, krater, z niego są piargi i osuwiska... W tamtejszych warunkach wodny lód jest twardy, jak skała. Ba: to wręcz **jest** skała!

Atmosfera, choć niewyobrażalnie rzadka (ciśnienie rzędu mikrobarów), okazała się mglista, niebieska i podświetlona „od tyłu” przez Słońce, zaskakująco dobrze widoczna. A mgły, których na różnych wysokościach jest tam kilkanaście warstw, powstają dzięki obecności związków organicznych. Metan i etan, pod wpływem zewnętrznego promieniowania UV, przekształcają się w cząsteczki bardziej skomplikowane, które, jako bardziej masywne, opadają ku powierzchni i nadają owo czerwone zabarwienie globu. Dalsze analizy powinny pozwolić wykazać, czy na tej powierzchni jest też coś, co Carl Sagan określił kiedyś nazwą **tholiny**, czyli: bardziej złożone niż tylko

metan i etan związki chemiczne, tworzące – przynajmniej od czasu do czasu – organiczne błoto. Potwierdziło się też, że górne warstwy atmosfery Plutona są powoli ziewane przez wiatr słoneczny. Część tej materii znalazła się najwyraźniej w pobliżu północnego bieguna Charona, największego z satelitów, który to rejon ma czerwony odcień – w odróżnieniu od szarej reszty jego powierzchni. Czy podobna materia, dawno temu przechwycona przez przelatujące komety, mogła trafić na Ziemię i stać się budulcem pierwszych żywych komórek?

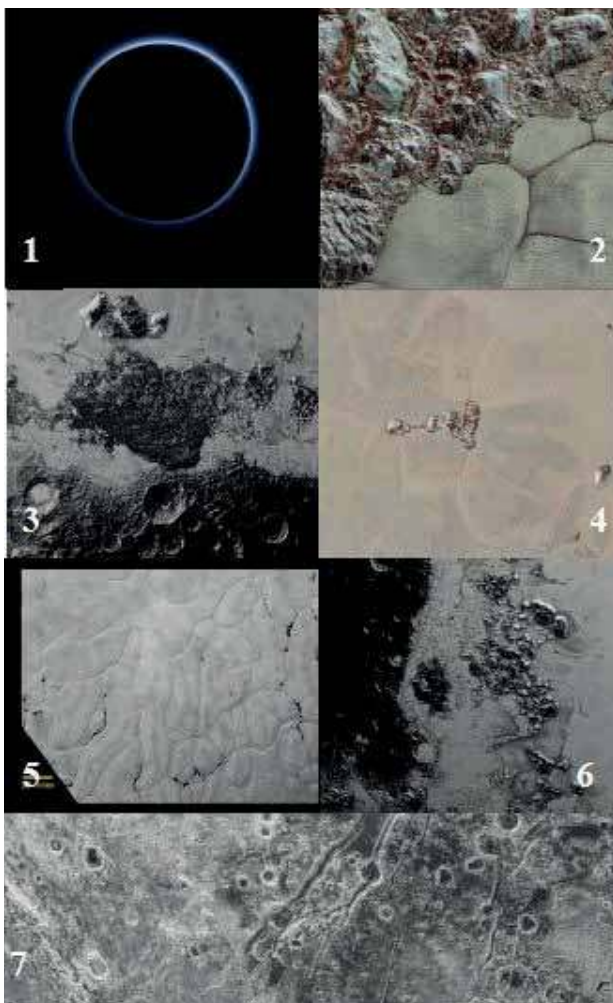
Dane z sondy wciąż spływają do naukowców, a na razie cieszymy się obrazkami z tego odległego świata (polecam oficjalną stronę misji NASA), ale Plutona już zostawimy w spokoju, bo tematem artykułu jest przegląd tego, co możemy napotkać poza orbitą Neptuna, czyli na poddaszu naszego słonecznego domu.

Kwestia nazewnictwa

Ilość znanych drobnych ciał Układu Słonecznego, przy czym mamy tu na myśli tylko asteroidy i planety karłowate, w dniu pisania tego tekstu zbliżała się do pół miliona, a w dniu jego druku bardzo możliwe, że tą liczbę przekroczy. Jasne więc jest, że tylko niektóre z nich mają jakieś nazwy własne, a większość ma tylko oznaczenia prowizoryczne i najprawdopodobniej przy nich pozostanie. Co więc możemy wyczytać z zapisu, na przykład **(84719) 2002 VR₁₂₈**?

Liczba w nawiasach jest numerem, pod jakim obiekt jest wpisany w katalogu drobnych ciał. Oznacza to jednocześnie, że została już wyznaczona jego orbita, bo dopiero wtedy go się do takiego katalogu wpisuje. Jeśli orbita nie jest znana – tego numeru po prostu nie będzie. Numer 1 ma, oczywiście, Ceres, numer 433 – Eros itd., poprawny zapis to więc (1) Ceres, (433) Eros... Nie jest błędem pominąć nawiasów, jeśli planetoida ma już imię – i często tak się dzieje.

Jeśli planetoida nie ma imienia, to dalszy ciąg nazwy prowizorycznej zawiera rok odkrycia, a pierwsza jej litera – miesiąc, a nawet dokładniej: jego połowę, przy czym te „połowy” nie muszą być równe. Pierwsza to dni od 1 do 15, a druga – od 16 do końca. Zatem A oznaczać będzie okres od 1 do 15 stycznia, B od 16 do 31, potem będą litery C i D dla lutego, E i F dla marca, G i H dla kwietnia, J i K dla maja (pomijamy literę I, jest zbyt podobna do jedynki!), L i M dla czerwca, N i O dla lipca, P i Q dla sierpnia, R i S dla września, T i U dla października, V i W dla listopada, aż wreszcie X i Y dla grudnia. Naszą planetoidę odkryto więc w pierwszej połowie września. Druga litera – to oznaczenie liczby od 1 (A) do 25 (Z), znów z pominięciem I. Czyli numerujemy w ten sposób ćwierć setki obiektów. Jednak nowoczesne przyrządy wykrywają planetoidy wręcz masowo, a ostatnia liczba informuje, ile ćwierćsetek obiektów już wcześniej odkryto w danym okresie. Ponieważ R jest oznaczeniem liczby 17, nasz obiekt został znaleziony jako 128*25+17=3217-szy w pierwszej połowie września 2002 roku. Oznaczenie VR oznaczałoby po prostu obiekt 17-szy, bo jeszcze nie byłoby żadnej pełnej, odkrytej wcześniej „ćwierćsetki”. Czasem spotyka się też zapis 2002 VR128, który znaczy dokładnie to samo.



1. Niebieska atmosfera Plutona; 2. Zabarwione na różowo urwiska z wodnego lodu; 3. Ciemniejsze rejony; 4. Samotne góry z wodnego lodu; 5. Lodowe równiny; 6. Lodowe pasma górskie; 7. Krater i rozpadliny. Zdj. NASA.



Charon i reszta plutonowej rodziny.

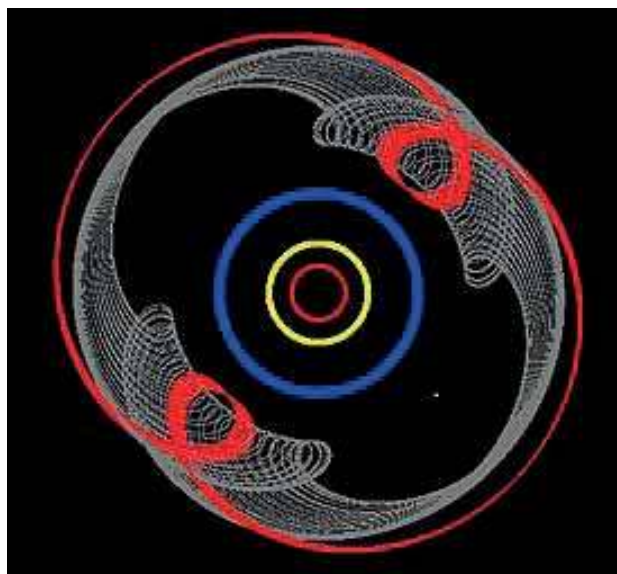
Uzbrojeni w te niezbędne informacje, możemy wyruszyć na przeszukiwanie krańców Układu Słonecznego.

Pluton i plutonki

(134340) Pluton, który w swoim, trwającym prawie 248 lat obiegu wokół Słońca przez niemal równe 20 przebywa bliżej niego, niż Neptun (ostatnio od 1 lutego 1979 roku do 11 lutego 1999 roku), nadal pozostaje największym z „nieplanetarnych” ciał słonecznej rodziny (choć nie najcięższym: Eris jest o $\frac{1}{4}$ bardziej masywna), ważąc sporo ponad 400 razy mniej, niż Ziemia oczywiście nie ma szans wyrzucić gazowego olbrzyma z orbity. Co więcej – to **jego** ruch jest kontrolowany do tego stopnia, że **pozostaje w rezonansie orbitalnym 2:3 z Neptunem**. Inaczej mówiąc, w ciągu każdych dwóch okrążeń Słońca, wykonanych przez Plutona, Neptun wykonuje trzy. I nie jest w tym sam: w podobnym, swoją drogą bardzo trwałym i stabilnym rezonansie, pozostają jakieś dwie setki znanych dziś obiektów. Mają orbity o różnych, ale raczej umiarkowanych mimośrodkach (Pluton, przypomnijmy, ma prawie $e=0,25$), różnym, ale nieprzesadnie dużym nachyleniu do ekliptyki: od $1,36^\circ$ dla (307463) 2002 VU₁₃₀ do $34,5^\circ$ dla 2005 TV₁₈₉ (Pluton – to nieco ponad 17°),



Porównanie wymiarów Ziemi, Plutona i Charona.



Symulacja libracji orbitalnych dla 1966 TP₆₆ (czerwona linia) i Plutona (linia szara) w okresie układzie odniesienia, sztywno związanym z Neptunem. Niebieski okrąg – to orbita Urana.

różnej orientacji wielkiej osi, ale wszystkie, co do jednego, mają tę samą proporcję z okresem obiegu Neptuna: na jego trzy okrążenia wokół Słońca – dwa własne. Każdy z nich określa się mianem **plutino** lub w spolszczonej wersji, **plutonek**.

Jest tu oczywiście rozrzut: przyroda nie znosi rzeczy idealnych, więc np. wielkie pólisie orbit zmieniają się w granicach od 39,001 AU (2004 UX₁₀) do około 40 AU (2011 FW₆₂, ta wartość nie jest jeszcze znana zbyt dokładnie), mimośrodky od 0,02499 (2007 JH₄₃) do 0,328 (1966 TP₆₆), niejednakowe są też czasy obiegu wokół Słońca: np. 244,43 roku dla 1998 VG₄₄, ale i 249,95 roku dla 1998 HK₁₅₁, czy Iksjona. Spośród wszystkich plutonków, aż 15 (z samym Plutonem włącznie, rzecz jasna) przez część swego obiegu jest bliżej Słońca, niż Neptun. Rekordzistką jest tu **1966 TP₆₆**, która spełnia ten warunek aż przez prawie 64,5 roku (to ćwierć jej okresu orbitalnego!), w peryhelium zbliżając się na zaledwie 26,34 AU (o ponad 3 AU bardziej, niż Pluton), ale też w aphelium oddalając na 52 AU. Jeszcze 1993 SB, 2004 EW₉₅ i 1994TB mają peryhelia bliższe, niż 27 AU, ale 52 AU w aphelium nie osiąga już żaden inny plutonek.

Te drobne rozbieżności od dokładnego rezonansu 2:3 z Neptunem przekładają się na kapitalny wizualnie efekt

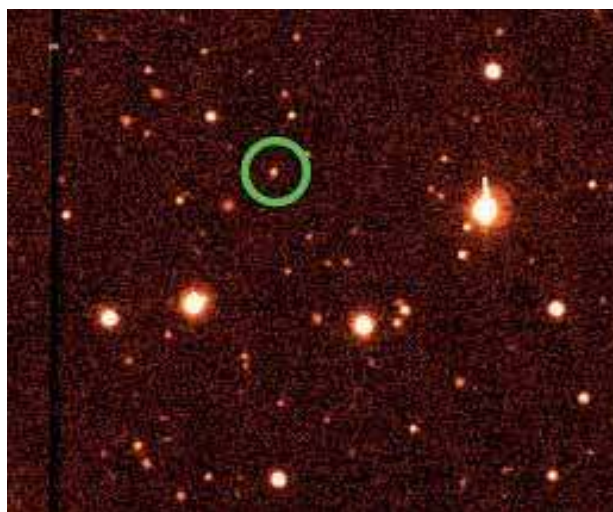
¹ Wyjątkiem jest (84922) 2003 VS₂ z nachyleniem ponad $112,5^\circ$ stopnia, ta orbita jest więc niemal prostopadła do płaszczyzny ekliptyki, a ruch jest wręcz ruchem wstecznym.

libracji orbitalnych. Komputerową symulację takich libracji, wykonaną przez Deep Ecliptic Survey dla naszej rekordzistki 1966 TP₆₆ (i dla Plutona) pokazano na rysunku obok. Te same symulacje pokazują, że wskutek perturbacji planetarnych w ciągu kolejnych 10 milionów lat odległość peryhelium planetoidy jeszcze zmaleje, aż do wartości 25,9 AU.

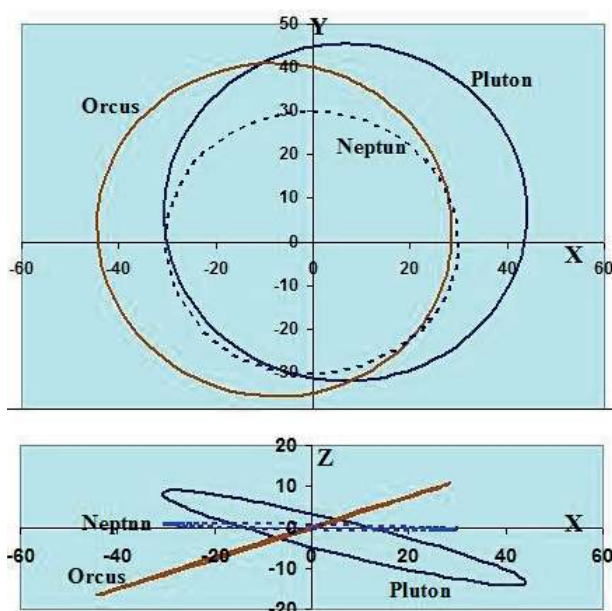
Jest wśród plutonków parę na tyle dużych, że są poważnie brane pod uwagę jako kandydaci do „awan-su” do kategorii planet karłowatych. Należy do nich na pewno, podobnie jak Pluton czerwonawy i ze związkami organicznymi oraz wodnym lodem i domieszką węgla na powierzchni, **(28978) Iksjon** o średnicy, oszacowanej (dzięki pomiarom z użyciem orbitalnego teleskopu Spitzera) na 617 km. Warto tu od razu wspomnieć, że jeśli nie ma innych przesłanek (satelita, który od czasu do czasu przesłania ciało centralne, przypadkowa okultacja słabej gwiazdy itp.), rozmiary szacuje się na podstawie jasności: przyjmuje się jakieś sensowne albedo i oblicza, jak duża musi być powierzchnia odbijająca obiektu. Ba, ale jakie albedo jest sensowne, czy standardowo w takich wypadkach przyjmowane dla ciał z Pasa Kuipera 9%, czy 60% jak dla Plutona, a może tylko 4%, bo już wiadomo, że są w tamtej okolicy również i tak ciemne, prawie czarne obiekty? A jasne jest, że im mniejsze albedo przyjmie się do rachunków, tym większą otrzymamy średnicę obiektu. Najlepsze jest oczywiście zdjęcie, na którym dałoby się zmierzyć rozmiary kątowe, lub ich pomiar, jak w przypadku Iksjona (okazały się równe 0,022”). Tak, czy inaczej Iksjon (w mitologii greckiej to imię króla, który jako pierwszy człowiek zabił swego krewnego; poszło podobno o wysokość wykupu za przyszłą żonę) jest dużym globem, ma też interesującą orbitę: usytuowaną w przestrzeni dość podobnie do orbity Plutona, jest niemal dokładnie odwrócona, jeśli chodzi o linię wielkiej osi: po tej samej stronie (północnej) ekliptyki, co peryhelium Plutona jest aphelium Iksjona – i odwrotnie. Co więcej, w swoich ruchach orbitalnych oba ciała nie oddalają się od siebie o więcej niż 20°, co jest rzeczą wyjątkową wśród plutonków.

Iksjon jest aktualnie dość daleko, bo 41 AU od Słońca, za to niewiele od niego mniejsza, 406-kilometrowa **Huya** (wzięła nazwę od imienia boga deszczu amazońskiego ludu Wayuu), w grudniu 2014 r. minęła akurat peryhelium, odległe od niego o 28,5 AU. Analizy jej widma wskazują na obecność wodnego lodu, związków organicznych (tholiny), jakieś krzemiany... Ma satelitę o średnicy 213 km, oddalonego od niej o zaledwie 1800 km, jest więc to bardziej ciasny obiekt podwójny niż układ ciało centralne+satelita. O księżycu wiadomo niewiele więcej, niż to, że jest, niepewny jest nawet okres rotacji głównego składnika, 13,6 godziny. Pewne jest tylko to, że nie jest to obiekt dla amatorów astronomii: jego jasność nawet w opozycji sięga zaledwie +19,3^m.

Na tle innych, o podobnej wielkości czerwonawych obiektów, jak prawie 450-kilometrowa **(84719) 2002**



Orcus (w kółku) na zdjęciu z HST. Lepszych zdjęć na razie nie zobaczycie...

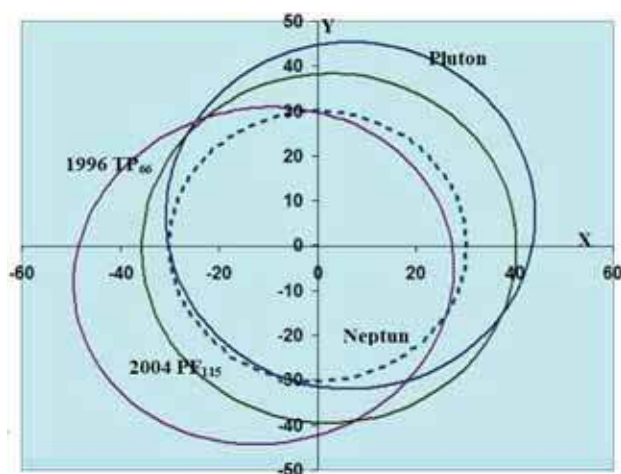


Porównanie orbit Neptuna (linia przerywana), Plutona i Orcusa, u góry w płaszczyźnie ekliptyki, u dołu w płaszczyźnie do niej prostopadłej. Wyraźnie widać, że nazywanie Orcusa anti-Plutonom jest w pełni uzasadnione. Uwaga: na rysunkach z niebieskim tłem oś X „celuje” w punkt Barana, oś Z w północny biegun ekliptyki. Układ (X,Y,Z) - prawoskrętny ze Słońcem w punkcie (0,0,0). Skala osi w AU.

VR₁₂₈, czy ponad 520-kilometrowa, szybko, bo raz na niespełna 7,5 godziny wirująca **(84922) 2003 VS₂**, podobnie szybko wirująca, 360-kilometrowa **(144897) 2004 UX₁₀** i nieco mniejszych, zdecydowanie wyróżnia się duży i szary (!!!) **90482 Orcus**. Ze średnicą 916 km wydaje się tylko kwestią czasu dopisanie go do listy planet karłowatych, to przecież niewiele mniej niż Ceres. Ma orbitę stosunkowo podobną do orbity Plutona: podobne nachylenia ich płaszczyzn do ekliptyki, peryhelia po tej samej (północnej) stronie ekliptyki i tak samo część obiegu spędzają bliżej Słońca, niż Neptun, jednak te peryhelia są, mniej więcej, po przeciwnych stronach naszej gwiazdy. Co więcej, gdy Pluton jest w okolicach peryhelium – Orcus jest blisko aphelium i odwrotnie.

² Program poszukiwania obiektów Pasa Kuipera, prowadzony w obserwatoriach Cerro Tololo i Kitt Peak.

³ Różne źródła podają różne wartości (co zresztą jest dość częste dla tych odległych obiektów), na przykład angielska Wikipedia podaje 958,4±22,9 km.

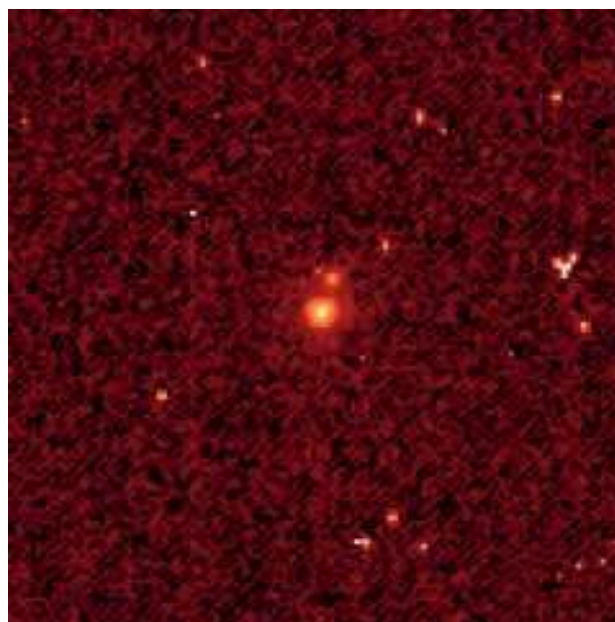


Porównanie orbit Plutona, 2004 PF₁₁₅ (prawie kołowej o mimośrodku 0,065) i 1996 TP₆₆ (bardzo eliptycznej o mimośrodku 0,328) w płaszczyźnie ekliptyki.

Ze względu na te podobieństwa i różnice, Orcus bywa nazywany **anty-Plutonem**. Znalazło to zresztą odzwierciedlenie w nazwie, bowiem jego mitologiczny imiennik był etruskim odpowiednikiem rzymskiego Plutona, a odkryty pod koniec 2005 roku stosunkowo duży księżyc planetoidy nazwano, przez analogię do Charona, imieniem etruskiej, skrzydlatej przewodniczki dusz do krainy umarłych: Vanth. Jego wymiary nie są pewne, szacunki wahają się od $\frac{1}{3}$ do $\frac{1}{2}$ wymiarów Orcusa, ich wzajemna odległość, to 9000 km, a okres obiegu po kołowej orbicie ($e=0,007$) około 9,5 naszej doby. Nie wiadomo, czy są pływowo zblokowane, jak Pluton i Charon.

Badania spektroskopowe wykazały obecność na naszym plutonku lodu wodnego (pokrywa do 50% jego powierzchni) i metanowego (do 30%), tholinów i amoniaku. Co ciekawe, lód wodny wydaje się mieć formę krystaliczną, którą promieniowanie UV dość szybko niszczy i zamienia na formę bezpostaciową. Musi więc działać jakiś mechanizm odnawiania lodowej powierzchni Orcusa, na przykład kriowulkanizm, jak na neptunowym Trytonie. W ogóle jest on bardziej podobny do właśnie Trytona lub księżyców Urana, a z ciał pozaneptunowych do Charona, niż do innych plutonków. To naprawdę interesujący obiekt, który jest na tyle duży, że może być zdolny nawet do utrzymania jakiejś śladowej atmosfery.

Z innych obiektów tej klasy wymienimy jeszcze, ze względów historycznych (335185) 1993 RO, który – razem z 1993 RP został odkryty jako pierwszy plutonek, po samym Plutonie, rzecz jasna, a odpowiednio 1 i 2 dni później znaleziono dwa kolejne: (15788) 1993 SB i (15789) 1993 SC. Numer w katalogu Minor Planet Center ma jednak znacznie wyższy, bo wpisano go, po wyznaczeniu orbity, znacznie później – i na razie w ogóle wiadomo o nim bardzo mało. Nawet średnicę, 90 km, oszacowano na podstawie blasku, przyjmując standardowe albedo 9%. Wspomnijmy o sporej, 250-kilometrowej planetoidzie (55638) 2002 VE95, widmo wskazuje na obecność na powierzchni między innymi metanolu – niestety dla przyszłych astronautów, to jest ten gorszy rodzaj alkoholu. 2003 UZ413 wiruje z kolei tak szybko, raz na 4,1 godziny (w całym Pasie Kuipera tylko karłowata planeta Haumea wiruje szybciej), że jest wyraźnie elipso-



1999 TC₃₆, podwójny, najwyraźniej bardzo porowaty plutonek.

idalna: jej oś promień biegunowy jest 1,13 razy mniejszy od równikowego. Niemal równie dużym obiektem, jak Orcus (i o bardzo podobnym spektrum) jest **(208996) 2003 AZ₈₄**. Jego średnica, według różnych szacunków oceniana nawet na ponad 700 km, predestynuje go do uzyskania w przyszłości statusu planety karłowatej. W lutym 2007 r. doniesiono o odkryciu, z pomocą teleskopu Hubble'a, satelity planetoidy, jednak próby jego ponownych obserwacji od 3 lat nie zostały zakończone sukcesem, choć nie jest aż tak mały: jego średnica miała być równa niemal 70 km.

I wreszcie **2002 XV₉₃**, który jest układem... potrójnym! Centralna para, o wymiarach 272 i 251 km (plus-minus błędy pomiaru, ale darujmy je sobie) obiega się po dość ciasnej orbicie o półosi wielkiej 867 km raz na 1,9 ziemskiej doby, a jej barycentrum jest z kolei obiegane, raz na 50,3 doby w średniej odległości 7411 km przez trzeci składnik o średnicy około 130 km. Dla planetologów bardzo ciekawym zagadnieniem jest, jak coś takiego mogło w ogóle powstać? Na dzień dzisiejszy przeważa hipoteza, że trzeci składnik został po prostu przechwycony przez pierwotnie podwójne, centralne ciało. Jako ciekawostkę podajmy, że 2002 XV₉₃ był rozważany jako cel wyprawy New Horizons 2 – bliźniaczki naszej New Horizons. Projekt upadł, bo... nie znalazło się dość uranu-238 do zasilania ogniwa izotopowego. Czy będę bardzo złośliwy twierdząc, że na wzbogacenie kolejnych pocisków artyleryjskich pewnie znalazłby się bez problemów?

Choć „tylko” podwójna, interesująca jest też planetoida **1999 TC₃₆**: jej szacowana średnia gęstość obydwu składników ($0,3\text{--}0,8\text{ g/cm}^3$) wskazuje, że jej struktura jest bardzo porowata, coś w rodzaju lodowego pumeksu.

Jak widać, nawet w samym najbliższym otoczeniu Plutona jest sporo ciekawych obiektów. A przecież to zaledwie wewnętrzny skraj Pasa Kuipera!

Jan Rokita



Nasze czasopismo ukazywało się:

1 rok – gdy Maria Skłodowska-Curie w Stanach Zjednoczonych zbierała pieniądze na zakup grama radu dla Instytutu Radowego w Warszawie (obecnie Centrum Onkologii – Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie).

7 lat – gdy wynaleziono wózek sklepowy

12 lat – gdy wynaleziono radar

14 lat – gdy uruchomiono pierwszy reaktor jądrowy

26 lat – gdy wynaleziono laser

27 lat – gdy wynaleziono światłowód

33 lata – gdy pierwszy człowiek, Jurij Gagarin, wyleciał w Kosmos

62 lata – gdy uruchomiono pierwszą stronę www

64 lata – gdy wysłano pierwszego SMS

79 lat – gdy opracowano iPhone'a

82 lata – gdy zaprezentowano pierwszego iPada

91 lat – będzie ukazywała się „Fizyka w Szkole”
w 2019 roku, dzięki Waszej prenumeracie!

Prenumerata 2019 – formularz zamówienia znajdziecie na
www.aspress.com.pl/prenumerata-2019/

zestawy doświadczalne do fizyki

Engineering = inżynieria

STEM

Mathematics = matematyka

Technology = technika

Science = nauka

fischertechnik

Doświadczenia STEM z marką Fischertechnik

Modułowy i innowacyjny system poznawania zagadnień fizycznych i inżynierskich w praktycznym działaniu. W dzisiejszych czasach coraz istotniejsze staje się przekierowanie uwagi edukacji z uczenia się pamięciowego na uczenie się problemowe. Zapotrzebowanie świata nauki i przemysłu na naukowców i inżynierów jest przeogromne. W tym samym czasie większość uczniów wykazuje niechęć i lęk przed przedmiotami ścisłymi, co prowadzi do zbyt małej liczby studentów na uczelniach technicznych. Seria STEM marki Fischertechnik wychodzi naprzeciw tym wyzwaniom, przy szczególnym uwzględnieniu tych obszarów STEM, które najtrudniej wdrożyć w praktyce szkolnej, czyli: T – technika i E – inżynieria. Uczniowie projektując, wykonując i testując własne modele nie tylko poznają zagadnienia fizyki, lecz przede wszystkim uczą się krytycznego myślenia, stawiania pytań i hipotez oraz uczą się pracy zespołowej.

nr 950-2011	Proste maszyny	499,00 zł
nr 950-2012	Mechanika 2.0	649,00 zł
nr 950-2013	Systemy napędowe	469,00 zł
nr 950-2014	Fizyka 2.0	679,00 zł
nr 950-2015	Zbadajmy fizykę!	599,00 zł
nr 950-2016	Elektronika	789,00 zł
nr 950-2017	Pneumatyka	749,00 zł



Drukarka 3D

Buduj, projektuj, drukuj! Za pomocą drukarki 3D zrób to sam, użytkownicy uzyskują łatwy dostęp do przyszłościowej i fascynującej technologii druku 3D. Wydrukuj każdą część samodzielnie – unikalnie, łatwo i elastycznie! Możesz użyć dołączonych szablonów, wciąż uaktualnianych na portalu fischertechnik-elearning.com lub wydrukować dane, które zaprojektowałeś samodzielnie. Łatwa do złożenia i stabilna drukarka 3D od Fischertechnik może wydrukować wiele różnych elementów. Użytkownicy uczą się podstawowych rzeczy wykorzystywanych w druku 3D i zyskują wgląd w tę rewolucyjną technologię, która ma olbrzymi potencjał. Oprogramowanie PC do kontroli drukarki pobiera się za pomocą napędu USB.

nr 950-2100 4 390,00 zł