

FIZYKA

w Szkole z astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

tytuł 35810X Nr 6 listopad/grudzień 2019 CENA 27,50 zł (w tym 5% VAT)



ŚWIATŁOWODY

Rewolucje w telekomunikacji

Kobieca strona fizyki

Od Hypatii
do Mari Skłodowskiej Curie

Pas Kuipera

- cubewano, planetoidy,
planety karłowate

Rzut ukośny

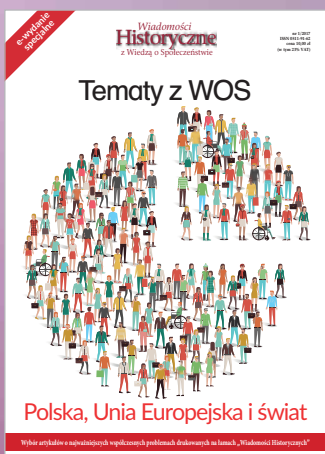
Analiza trzech przypadków



NANOMEDYCYNA



2017



Wydania specjalne

(tylko w wersji elektronicznej – pliki PDF)



2016



Szczegóły na naszej stronie internetowej

www.aspress.com.pl/specjalne/

eprasa.pl 2f68e6e6cc

Drodzy Czytelnicy!

Uroczyście przekazuję Państwu ostatni tegoroczny numer „Fizyki w Szkole”. Mam nadzieję, że mimo świątecznej i noworocznej gorączki znajdą Państwo czas, aby się weń zagłębić. Na początku chciałbym polecić artykuł z historii fizyki pod tytułem „Kobieca strona fizyki”. Artykuł ten obala popularny pogląd, że fizyka to męska sprawa, oczywiście może z wyjątkiem Marii Skłodowskiej Curie. Tymczasem kobiety były w fizyce „od zawsze”. Ich losy były nierzadko tragiczne. Najbardziej wyrazistym przykładem może być aleksandryjska uczona okresu późnego antyku Hypatia. Została ona brutalnie zamordowana, ponieważ zajmowała się fizyką. W artykule możemy też poznać postacie kobiet – badaczek przyrody, które uprawiały swoją działalność w ogólnie nieprzyjaznym dociekaniom naukowym okresie średniowiecza. W okresie odrodzenia i oświecenia również nie brakowało kobiet zajmujących się fizyką. Wiek XIX i XX to zarówno wiek gwałtownego rozwoju fizyki, jak i wzrastającej w niej roli kobiet. Co jeszcze można powiedzieć o roli kobiet? Tego się dowiemy z drugiej części artykułu, która zostanie opublikowana w numerze 1/2019. Innym artykułem o historii fizyki jest artykuł o rozwoju termodynamiki.

Ci z Państwa, którzy od historii wolą zagadnienia współczesne również znajdą dla siebie coś ciekawego. Na przykład mamy bardzo interesujący artykuł o nanotechnologii w medycynie. Zbliżony do niego tematycznie jest artykuł o fizycznych właściwościach czerwonych krwinek.

Nie zapomnieliśmy też o miłośnikach astronomii. Dla nich przeznaczony jest artykuł o obiektach pasa Kuipera.

Kończąc pozwolę sobie wszystkim Państwu złożyć życzenia zdrowych i pogodnych świąt oraz pomyślności w 2019 roku.

W imieniu redakcji
Zbigniew Wiśniewski



11 Podstawy fizyki telekomunikacji światłowodowej † Valentyna Shvets

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

- 4 Od nanocząsteczek do mikrokapsulek, czyli fizyczne rewolucje w medycynie
† Tomasz Kubiak
- 9 Czerwone krwinki reagując na siły ścinające zmieniają swój kształt † Marcin Majka
- 18 Termodynamika płynów i ośrodków ciągłych. Cz. 3.
† Alfred Zmitrowicz
- 24 Społeczny koszt reformy na bis † Arleta Biegańska
- 26 Odkrywca fal † Tadeusz Wibig



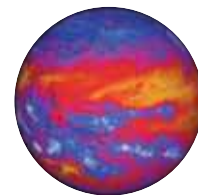
Z naszych lekcji

- 28 Trzy przypadki rzutu ukośnego bez uwzględniania oporu powietrza
† Marian Maciocha
- 31 Pokazy eksperymentów fizycznych podczas lekcji „na żywo”, i eksperymentów sfilmowanych, opracowanych i skomentowanych
† Andrzej Kuczkowski
- 32 Przybliżony techniczny wzór na rezystancję zastępczą układu równoległe połączonych oporników
† Marian Maciocha
- 34 Język angielski a wspomaganie nauki fizyki w szkole podstawowej
† Alicja Szymańska



Astronomia dla każdego

- 36 Klasyczne obiekty Pasa Kuipera † Jan Rokita
- 41 Bilans energetyczny Ziemi. Ziemia, planeta wyjątkowa – cz. 9
† Zbigniew Wiśniewski
- 44 Kobieca strona fizyki † Aleksandra Mielewczyk-Gryń, Marcin Zaród
- 50 Szerokość geograficzna czy geocentryczna? † Waldemar Reńda



Wesołych Świąt
i Szczęśliwego Nowego Roku



FIZYKA

w Szkole z Astronomią

NUMER 6 LISTOPAD/GRUDZIEŃ 2018 Nakład 3000 egz. CENA 27,50 zł
359 (LXI) indeks 35810X ISSN 0426-3383 (w tym 5% VAT)

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

Zdjęcie na okładce i wspisie treści: Adobe Stock

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



Od nanocząstek do mikrokapsulek, czyli fizyczne rewolucje w medycynie

Nanotechnologia coraz śmielej wkracza w nasze codzienne życie, dostarczając rozwiązań mogących zrewolucjonizować różne jego aspekty, przede wszystkim ochronę zdrowia.

Tomasz Kubiak

Wspominając początki interdyscyplinarnej nauki zajmującej się obiektami o wymiarach rzędu od kilku do kilkuset nanometrów ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), bardzo często przywołuje się słowa wybitnego fizyka i noblisty Richarda Feynmana: „tam na dole jest dużo miejsca” (*ang. There's plenty of room at the bottom*), wygłoszone na corocznym spotkaniu Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego w grudniu 1959 r. Tak naprawdę prawdziwy rozkwit nanotechnologii obserwujemy jednak dopiero od końca XX wieku, kiedy postępy w fizyce umożliwiły prowadzenie badań materiałowych na poziomie pojedynczych atomów czy cząsteczek. Z czasem z osiągnąć naukowców, zajmujących się wytwarzaniem i ustalaniem właściwości tak małych struktur, czerpać zaczęły również nauki medyczne i w ten sposób zrodziła się nanomedycyna.

Nanomedycyna

Zastanówmy się zatem, jakie perspektywy otwiera przed nami zastosowanie nanocząstek, nanokapsulek czy nieco większych od nich mikrokapsuł w diagnostyce i terapii. Zapewne w pierwszej kolejności na myśl przychodzi wykorzystanie wspomnianych struktur jako transporterów dostarczających leki bezpośrednio do miejsca przeznaczenia, co nazywamy terapią celowaną. Powszechnie wiadomo, że w przypadku substancji podawanych w standardowy sposób, czyli dożylnie bądź doustnie, ich niespecyficzne oddziaływanie z komórkami organizmu może wywoływać wiele dotkliwych skutków ubocznych. Szczególnie uwidacznia się to w przypadku pacjentów leczonych cytostatykami używanymi rutynowo do chemioterapii nowotworów.¹

Idealnym rozwiązaniem byłoby zatem, aby docierały one w sposób bezpieczny do obszaru guza i dopiero w jego

¹ Więcej informacji o cytostatykach czytelnik znajdzie w tekście: Tomasz Kubiak, Leki cytostatyczne, czyli jak chemia pomaga zwalczać nowotwory, *Chemia w Szkole*, nr 2 (2017), s. 16-21.

² O polimerach zapewniających nanocząstkom biokompatybilność przeczytać można w artykule: Tomasz Kubiak, Polimery jako biozgodne pokrycia nanocząsteczkowych nośników leków, *Chemia w Szkole*, nr 6 (2016), s. 44-47.

³ Zrozumienie fizycznych podstaw radioterapii ułatwi przestudiowanie artykułu: Tomasz Kubiak, Od konwencjonalnej radioterapii fotonowej do terapii hadronowej, czyli fizyka w leczeniu nowotworów, *Fizyka w Szkole z Astronomią* nr 6 (2016), s. 4-7 (artykuł znaleźć można również w e-wydaniu specjalnym *Fizyki w Szkole z Astronomią*, „Współczesne zastosowania fizyki”, nr 1 (2018), s. 60-63).

obrębie były w sposób kontrolowany uwalniane. Jak więc to założenie zrealizować? Przykładowo naukowcy testują obecnie wiele systemów transportu opartych na nanocząstkach o strukturze rdzeń – powłoka. Wewnętrzna część takich struktur, czyli wspomniany już rdzeń o średnicy od kilku do kilkunastu nm, może być wykonany ze złota, srebra, ditlenku tytanu TiO_2 , tlenków żelaza (magnetytu Fe_3O_4 bądź maghemitu $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) albo innych materiałów. W celu zapewnienia szeroko pojętej biokompatybilności pokrywa się go otoczką z odpowiedniego polimeru, np. dekstranu, chitozanu czy poli(glikolu etylenowego), czyli PEG.² Należy również wspomnieć, iż oprócz leków do nanotrasportera przyłączane mogą być również tzw. ligandy kierujące. Wchodzą one w specyficzne interakcje tylko z wybranymi receptorami obecnymi w dużych ilościach w miejscu docelowym, np. tkance nowotworowej, umożliwiając tym samym precyzyjne dostarczenie leku.

Oczywiście systemy transportu to nie tylko nanocząstki, ale również kapsułki. W ich wnętrzu substancje bezpiecznie docierają do miejsca przeznaczenia a następnie są uwalniane w sposób kontrolowany, np. w wyniku stymulacji odpowiednim bodźcem. Należy również pamiętać, iż oba wspomniane rodzaje nośników pozwolą dostarczać do miejsc docelowych nie tylko leki, ale również szczepionki czy geny. Co więcej zastosowanie nanocząstek w terapii nie ogranicza się tylko do transportu różnych substancji. Struktury posiadające rdzenie wykonane z materiałów o stosunkowo dużej liczbie atomowej (złota, platyny czy gadolinu) mogą bowiem pełnić rolę radiocuczulaczy zarówno w radioterapii fotonowej jak i terapii hadronowej.³

Efekt wspomagający w leczeniu nowotworów uzyskuje się również, wykorzystując nanocząstki do lokalnego podgrzania chorych tkanek do $42\text{-}46^\circ\text{C}$, co nazywamy hipertermią. Taki wzrost temperatury zaburza funkcjonowanie białek wewnątrz komórek i przyczynia się do indukowania apoptozy, czyli ich programowanej śmierci. Wyróżniamy hipertermię magnetyczną, optyczną lub ultradźwiękową. Z pierwszym przypadkiem mamy do czynienia, jeśli dostarczone do nowotworu nanocząstki z rdzeniem wykonanym z magnetytu (Fe_3O_4), maghemitu ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), ferrytu kobaltu (CoFe_2O_4) czy też ferrytu niklowego (NiFe_2O_4) są ogrzewane w wyniku działania pola magnetycznego o wysokiej częstotliwości. Natomiast jeśli na ciepło przetwarzana jest energia dostarczana przez spójne światło laserowe, mówimy o hipertermii optycznej. W tym miejscu warto wspomnieć, iż pożądane właściwości fototermiczne posiadają nanocząstki złota, dla których obserwujemy powierzchniowy rezonans plazmonowy. Z kolei hipertermia ultradźwiękowa wiąże się z zastosowaniem nanocząstek złota, tlenków żelaza czy tlenku grafenu w celu wzmocnienia efektów cieplnych związanych z absorpcją zogniskowanych wiązek ultradźwięków w patologicznych tkankach.

Dla zainteresowanych warto również dodać, iż doprowadzenie do lokalnego wzrostu temperatury powyżej

46°C , zwane termoablacją, wywołuje denaturację białek i uszkodzenie błon komórkowych, co w krótkim czasie doprowadza do gwałtownej śmierci komórek, czyli nekrozy. W ten sposób przy udziale nanocząstek, które zapewniają efektywną konwersję i transfer energii, chorą tkankę można bezpośrednio zniszczyć a nie tylko osłabić, uwrażliwiając na działanie cytostatyków czy promieniowania jonizującego.

Pamiętajmy jednak, że ogromny potencjał, jaki niesie ze sobą nanomedycyna, nie ogranicza się tylko do wykorzystania mikroskopijnych struktur do wspomaganie procesu leczenia różnych chorób. Równie ważny jest rozwój szeroko pojętej diagnostyki. W najprostszym przypadku nanocząstki magnetyczne wykorzystywane są jako środki kontrastujące w obrazowaniu metodą magnetycznego rezonansu jądrowego (MRI).⁴ Komercyjnie dostępne są już bowiem preparaty zawierające m.in. pokryte dekstranem superparamagnetyczne nanocząstki tlenku żelaza, które podane do wybranych tkanek pozwalają skracać czas relaksacji T_2 .

Ale to nie jedyny przykład na to, że obrazowanie medyczne może czerpać szerokie korzyści z osiągnięć nanotechnologii. Warto chociażby wspomnieć kropki kwantowe, czyli półprzewodnikowe kryształy o wielkości od $2\text{-}10\text{ nm}$. Te modyfikowalne struktury właśnie ze względu na przestrajalne właściwości optyczne idealnie nadają się do znakowania komórek. Po wzbudzeniu wykazują wąskie pasmo fluorescencji, zależne od ich rozmiarów, składu chemicznego i grubości otoczki. Umożliwiają obrazowanie głębiej położonych tkanek w bliskiej podczerwieni oraz wykrywanie przerzutów nowotworów. Co ciekawe mogą też stanowić biosensory do detekcji wybranych białek i kwasów nukleinowych.

Należy bowiem pamiętać, iż w medycynie często zachodzi potrzeba przeprowadzenia szybkiej i taniej analizy materiału biologicznego. Do identyfikacji i oceny ilościowej molekuł *in vitro* można wykorzystywać również bardziej zaawansowane urządzenia diagnostyczne oparte o nanotechnologię, czyli laboratoria chipowe (*ang. lab-on-a-chip*). Mimo całkowitych rozmiarów nieprzekraczających zwykle centymetra kwadratowego, dzięki zastosowaniu mikrofluidyki pozwalają one na automatyczną ocenę próbek zawierających pikolitrowe objętości cieczy i np. wykonanie gazometrii, zbadanie poziomu glukozy czy zawartości cholesterolu we krwi. Oczywiście rozwój nauki sprawia, że powstaje coraz więcej różnorodnych wytworów nanotechnologii dedykowanych zastosowaniom biomedycznym. Nie sposób omówić ich wszystkich, nie mniej jednak warto poznać bliżej właściwości wybranych struktur i ich aplikacje.

Superparamagnetyczne nanocząstki tlenku żelaza

Nanocząstki tlenków żelaza: maghemitu $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ i magnetytu Fe_3O_4 o średnicach od kilku do kilkunastu nanometrów cieszą się niesłabnącym zainteresowaniem

⁴ O MRI można przeczytać w artykule: Tomasz Kubiak, Od protonów do diagnostyki, czyli obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 4, 2017, s. 4-9.

naukowców. Głównym argumentem przemawiającym za wykorzystaniem właśnie takich struktur jako transporterów leków w terapii celowanej nowotworów są ich właściwości magnetyczne, które dają szansę na sterowanie cząstkami w krwiobiegu i ogniskowanie ich w miejscu docelowym przy użyciu zewnętrznego pola magnetycznego. Aby przeprowadzić analizę zachowania się nanocząstek w polu magnetycznym, warto posłużyć się pojęciem magnetyzacji M , która stanowi sumę momentów magnetycznych μ dla N cząstek zgromadzonych w jednostce objętości V :

$$M = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N \mu_i$$

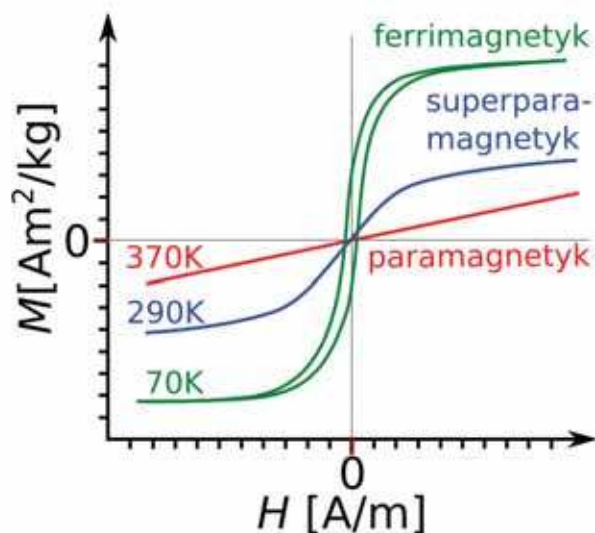
Należy zwrócić uwagę na fakt, że przy braku zewnętrznego pola magnetycznego wypadkowa magnetyzacja układu uśredniona jest do zera. Momenty magnetyczne cząstek, podlegających ruchom Browna, zorientowane są bowiem przypadkowo. Z kolei po przyłożeniu pola zaczynają się one porządkować bądź to na skutek obrotów całych cząsteczek albo jedynie w wyniku zmiany kierunku samych momentów magnetycznych, co określa się mianem rotacji Néela. Wzdłuż kierunku zewnętrznego pola magnetycznego pojawi się zatem wypadkowa magnetyzacja. Dla małych nanocząstek, które traktowane są jak pojedyncza domena, takie zachowanie określane jest mianem superparamagnetyzmu. Co ciekawe, zwiększanie natężenia pola magnetycznego tylko początkowo przyczyniać się będzie do gwałtownego wzrostu magnetyzacji. W chwili, gdy większość cząstek ustawi się już wzdłuż jego kierunku, wartość magnetyzacji zbliży się bowiem do nasycenia.

Wnikliwi czytelnicy, którzy prześledzą rys. 1, zauważą, że obserwowane właściwości cząstek magnetycznych mogą zależeć nie tylko od ich rodzaju czy wielkości, ale również od temperatury. Poniżej tzw. temperatury blokowania T_B momenty magnetyczne wykazują bowiem zachowanie ferro- bądź ferrimagnetyczne. Dopiero, gdy fluktuacje termiczne zaczną przeważać nad anizotropowymi oddziaływaniami magnetycznymi, możemy mówić o superparamagnetyzmie. W wysokich temperaturach (powyżej temperatury Curie T_C) obserwowany jest natomiast stan paramagnetyczny.

W tym miejscu warto nadmienić, że bardzo dobrą metodą badania superparamagnetycznych nanocząstek tlenku żelaza jest spektroskopia elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR), która pozwala uzyskać wiele informacji zarówno o właściwościach wnętrza ich rdzenia, jak i jego powierzchni.⁵ W ogólności należy mieć świadomość, iż wraz ze zmniejszeniem średnicy cząstek rośnie udział atomów powierzchniowych w stosunku do frakcji atomów rdzenia, co wpływa nie tylko na strukturę, ale również na dynamiczne zachowanie nanocząstek. Silne oddziaływania dipolowe pomiędzy cząsteczkami odpowiadają za ich aglomerowanie. Aby zminimalizować



Fot. 1. Wodne roztwory nanocząstek tlenku żelaza różnią się barwą w zależności od stężenia.



Rys. 1. Przykładowa zależność wartości magnetyzacji od przyłożonego pola magnetycznego dla nanocząstek, dla trzech wybranych temperatur.

to niekorzystne zjawisko stosuje się powłoki polimerowe, które przyczyniają się do ograniczenia wpływu sił wzajemnego przyciągania cząstek. Co ciekawe, odpowiednio dobrana otoczka pozwala utrzymać ich stabilność w roztworach wodnych przynajmniej przez miesiąc. Fot. 1 przedstawia roztwory nanocząstek magnetytu posiadające różne stężenia, co odzwierciedlone jest odmienną barwą próbek.

Warto również przypomnieć, iż zawiesiny koloidalne nanocząstek magnetycznych w cieczy nośnej często określa się mianem ferrociecicy. Jak już wcześniej wspomniano, mogą one znaleźć zastosowanie w tzw. hipertermii magnetycznej. Przypomnijmy, iż w wyniku zdalnej stymulacji nanocząstek z wykorzystaniem

⁵ O podstawach spektroskopii EPR można przeczytać w artykule: Tomasz Kubiak, Spektroskopia elektronowego rezonansu paramagnetycznego i jej przykładowe zastosowania w biofizyce i fizyce medycznej, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 2 (2016), s. 4-7.

zmiennego pola magnetycznego o częstotliwości kilkuset kHz wydzielana jest energia termiczna. Zasadniczo odpowiedzialne są za to dwa procesy. Jeśli pod wpływem pola rotuje tylko moment magnetyczny a cząstka jako całość zachowuje swą pozycję, mamy do czynienia z relaksacją Néela i rozpraszaniem energii na skutek zmiany ustawiania atomowych momentów dipolowych w kryształach. Z kolei w przypadku relaksacji Browna, która ma związek z obrotem całej cząsteczki, ciepło uwalniane jest w otaczającym płynie w wyniku tarcia.

Wykorzystanie hipertermii magnetycznej w praktyce klinicznej jako metody wspomagającej leczenie nowotworów, poprzedzone być musi jeszcze wieloma badaniami obejmującymi zarówno aspekty fizyczne, jak i materiałowe. Fot. 2 przedstawia przykładowe urządzenie wykorzystywane w laboratoriach do indukcyjnego nagrzewania nanocząstek. Problemem wymagającym rozwiązania pozostaje też opracowanie wydajnego sposobu dostarczania cząstek w obręb guza.

Nanocząstki jako radioczulacze

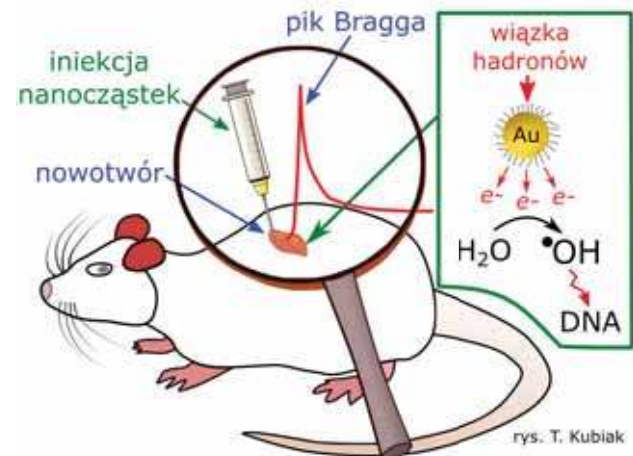
Zapewne wszyscy zdają sobie sprawę, że stosowane podczas radioterapii promieniowanie jonizujące nie wykazuje selektywności w stosunku do komórek nowotworowych. Zatem na jego działanie narażone są również zdrowe tkanki, umiejscowione zarówno w bezpośrednim sąsiedztwie guza, jak i na drodze wiązki promieniowania. Dlatego trwają badania nad możliwością wykorzystania nanocząstek złota, platyny i gadolinu jako radioczulaczy. Po zgromadzeniu się w tkance nowotworowej pozwoliłyby one poprawić efektywność zarówno klasycznej terapii fotonowej, jak i leczenia wiązkami protonów czy jonów węgla, poprzez lokalne zwiększenie skutków dostarczanej dawki.

Ustalono, iż w przypadku promieniowania rentgenowskiego efektem napromieniania nanocząstek o dużej liczbie atomowej jest zwiększona emisja fotoelektronów i elektronów Augera, co szczególnie widoczne jest dla energii rzędu kilkudziesięciu keV. Nanocząstki posiadają bowiem znacznie większy przekrój czynny na zjawisko fotoelektryczne niż tkanki miękkie. W wyniku emisji fotoelektronów w niskich powłokach elektronowych pojawiają się luki, które są następnie wypełniane elektronami z wyższych powłok. Taka reorganizacja elektronów skutkuje oddaniem energii w postaci kwantów charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego bądź energii kinetycznej, tzw. elektronów Augera. Te ostatnie, choć posiadają krótki zasięg, mogą niszczyć błony komórkowe i mitochondria komórek bezpośrednio sąsiadujących z cząstkami a także przyczyniać się do wytwarzania wolnych rodników.

W przypadku terapii hadronowej obecnie uważa się, że największy przyczynek do radioczulającego efektu nanocząstek ma właśnie wzmożona emisja elektronów o niskiej energii. Wywołują one radiolizę wody w sąsiedztwie cząstek i powstanie rodników niszczących komórki nowotworowe, co przedstawiono obrazowo na rys. 2. Wprawdzie działanie nanocząstek jako radio-



Fot. 2. Urządzenie do indukcyjnego nagrzewania rozтворów nanocząstek stosowane w badaniach nad hipertermią magnetyczną.



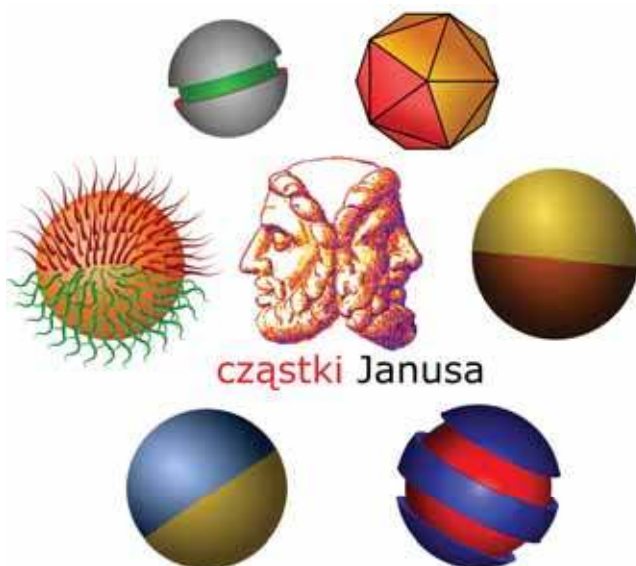
Rys. 2. Pokryte biokompatybilnym polimerem nanocząstki złota po wstrzyknięciu w obręb nowotworu mogą pełnić rolę radioczulaczy w terapii hadronowej.

uczulaczy zostało potwierdzone w wielu eksperymentach z wykorzystaniem zwierząt i hodowli komórkowych, ich potencjalne zastosowanie u ludzi wciąż jest utrudnione. Dzieje się tak m.in. ze względu na problemy z opracowaniem skutecznej metody pozwalającej na uzyskanie odpowiedniego rozkładu oraz stężenia cząstek w guzie, które przełożyłoby się na selektywne uwrażliwienie tego obszaru na promieniowanie jonizujące.

Cząstki heterogeniczne

Coraz szersze biomedyczne zastosowania nanocząstek sprawiają, że poszukuje się struktur posiadających jednocześnie kilka różnych funkcjonalności. Wymagania te spełniają cząstki łączone, złożone z przynajmniej dwóch składników o odmiennych właściwościach. W literaturze fachowej często przytacza się termin cząstki Janusa. Czytelnikom, zastanawiającym się nad jego źródłem, warto wyjaśnić, iż pochodzi on od nazwy rzymskiego boga Janusa, przedstawianego z dwiema głowami zwróconymi w przeciwne strony. Mitologiczne bóstwo posiada podwójne oblicze, a cząstki obszary o odmiennych charakterystyce (rys.3). Dla zainteresowanych warto dodać, iż koncepcję cząstek Janusa przedstawił w 1991 roku francuski fizyk i noblista Pierre-Gilles de Gennes, podkreślając drzemiący w nich potencjał.

Współcześnie wytwarza się hybrydowe struktury o różnorodnych kształtach (sferyczne, cylindryczne, wydłużone, dyskowate, asymetryczne, a nawet przypominające hantle), które posiadają części wykonane z odmiennych



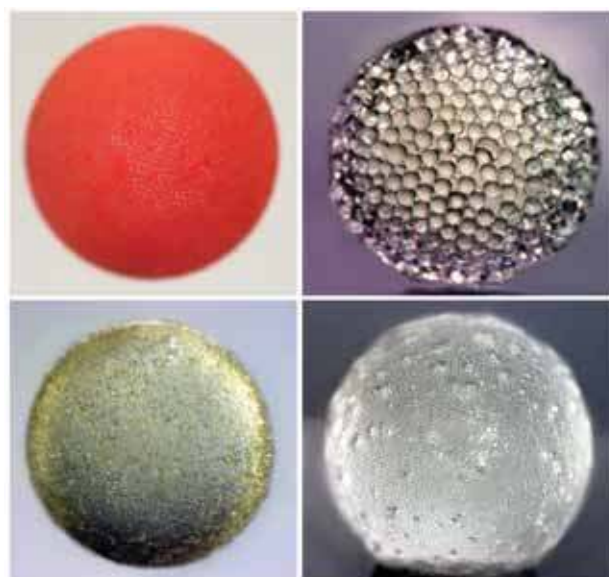
Rys. 3. Cząstki Janusa składają się z obszarów o odrębnych właściwościach.

materiałów, np. organicznych i nieorganicznych. Dzięki temu możliwe jest przestrzenne rozgraniczenie obszarów odpowiedzialnych za różne zadania. Dla przykładu region posiadający właściwości magnetyczne ułatwi nie tylko sterowanie cząstkami, ale również ich obrazowanie metodą MRI; część wykazująca właściwości fluorescencyjne lub plazmoneczne pozwoli na ich detekcję metodami optycznymi, natomiast obszar zawierający ligandy kierujące sprawi, że będą selektywne łączyły się tylko z wybranymi typami komórek. Najciekawsze wydają się jednak nanostruktury zdolne do samodzielnego ruchu w roztworze czy na powierzchni błon biologicznych. W przyszłości mogą one być wykorzystywane np. do transportu leków ze względu na zdolność poruszania się pod prąd w stosunku do płynącej krwi.

Mikrokapsułki

Mikrokapsułki to zazwyczaj sferyczne struktury posiadające mnóstwo zastosowań zarówno w przemyśle, jak i sferze usług. Aplikacje biomedyczne wiążą się przede wszystkim z możliwością ich wykorzystania do bezpiecznego transportu cząsteczek biologicznych czy substancji terapeutycznych. Taki ładunek zamknięty jest wewnątrz powłoki cechującej się ograniczoną przepuszczalnością. W drodze do miejsca docelowego nie wchodzi zatem w reakcje z otoczeniem, nie ulega dezaktywacji, a jego ewentualne toksyczne działanie jest ograniczone do minimum. Warto wspomnieć, iż ściany kapsuł mogą posiadać jedną lub kilka warstw wykonanych z różnych materiałów, np. kompleksów polielektrolitów.

Ciekawą grupą struktur są przedstawione na fot. 3 kapsuły tworzone przez cząstki polimerowe, unieruchomione na powierzchni kropli w wyniku spiekania. Należy jednak pamiętać, że zastosowania medyczne wymagają, aby transportery leków były biokompatybilne i biodegradowalne, co zapewnić może tylko odpowiednia otoczka. Dopiero wtedy będzie można wstrzykiwać je bezpośrednio do krwiobiegu albo podawać podskór-



Fot. 3. Obrazy mikroskopowe kapsuł złożonych z cząstek o różnych wielkościach.

nie, domięśniowo lub przezczaszkowo. Uwalnianie leku w wybranej lokalizacji ma charakter przedłużony lub wiąże się z koniecznością uszkodzenia powłoki w wyniku oddziaływania czynnika zewnętrznego o charakterze fizycznym (np. promieniowanie podczerwone, ultradźwięki), chemicznym (np. zmiana pH) bądź biologicznym (np. działanie enzymów).

W niniejszym artykule ze względu na obszerność tematu przedstawione zostały właściwości oraz potencjalne zastosowania medyczne tylko kilku wybranych rodzajów nano- i mikrostruktur. Pamiętajmy jednak, że każdego dnia interdyscyplinarne zespoły naukowców, pracują intensywnie nad rozwojem technik wytwarzania oraz charakteryzowania coraz bardziej innowacyjnych materiałów. Ich potencjalne zastosowanie w diagnostyce i terapii wywoła zapewne tytułową rewolucję w medycynie, której, miejmy nadzieję, wszyscy będziemy świadkami.

dr Tomasz Kubiak

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

LITERATURA

- [1] M. G. Krukemeyer i inni, History and possible uses of nanomedicine based on nanoparticles and nanotechnological progress, *Journal of Nanomedicine & Nanotechnology*, 2015, 6(6), s. 336 (1-7).
- [2] T. Kubiak, Nanoparticles as radiosensitizers in photon and hadron radiotherapy, *Acta Bio-Optica et Informatica Medica Inżynieria Biomedyczna*, 2017, 23(1), s. 29-36.
- [3] H. Boulaiz i inni, Nanomedicine: Application Areas and Development Prospects, *International Journal of Molecular Sciences*, 2011, 12, s. 3303-3321.
- [4] C. Kaewsaneha i inni, Janus colloidal particles: preparation, properties, and biomedical applications, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2013, 5, s. 1857-1869.
- [5] T. Kubiak, Wykorzystanie pokryć z poli(glikolu etylenowego) i chitozanu do zapewnienia biokompatybilności nanocząstkom w aplikacjach biomedycznych, *Polimery w Medycynie*, 2014, 44(2), s. 119-127.
- [6] A. E. Deatsch, B. A. Evans, Heating efficiency in magnetic nanoparticle hyperthermia, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2014, 354, s. 163-172.
- [7] T. Kubiak, Badanie metodą EPR funkcjonalizowanych nanocząstek magnetytu w surowicy i pełnej krwi ludzkiej, UAM Poznań, 2016, s. 10-43.
- [8] A. Walthers, A. H. E. Müller, Janus Particles: Synthesis, Self-Assembly, Physical Properties, and Applications, *Chemical Reviews*, 2013, 113, 5194-5261.

Czerwone krwinki reagując na siły ścinające zmieniają swój kształt

Według obecnej wiedzy [1-3], kształt czerwonych krwinek może zależeć od miejsca w układzie krwionośnym człowieka. Naukowcy z Niemiec oraz Francji, wykorzystując mechanikę płynów w skali mikro oraz symulacje komputerowe, chcą znacznie rozszerzyć istniejącą wiedzę na ten temat powiązując zmiany kształtu czerwonych krwinek z chorobami na jakie narażony jest człowiek.

Marcin Majka

Czerwone krwinki (erytrocyty) mają kształt dysku o średnicy około 8 μm (mikrometrów) i stanowią prawie połowę składu krwi [4-6]. W spoczynku, krwinki czerwone mają symetryczny kształt dysku z grubszymi krawędziami względem środka (patrz ryc. 1).



Ryc. 1. Grafika komputerowa erytrocytu (krwinki czerwonej) pokazująca kształt krwinki w spoczynku.

Erytrocyty nie są komórkami sztywnymi. Dzięki cytoplazmie zamkniętej w powłoce komórki ogólna jej struktura jest elastyczna [7]. Gdy krwinka czerwona przemieszcza się po ciele człowieka ma do pokonania szerokie tętnice i żyły, ale również niewyobrażalnie cienkie naczynia włosowate. Przez całą swoją podróż omawiana krwinka jest zanurzona w stosunkowo gęstym i lepkiem osoczku, co dodatkowo utrudnia jej pozostanie w niezmiennym kształcie [8, 9].

Kształt i ruch

Deformacja krwinek podczas przemieszczania się przez układ krwionośny człowieka wpływa znacząco na prędkości krwi w naczyniach krwionośnych [10, 11]. Dlatego zrozumienie mechanizmów odpowiedzialnych za ich zmianę kształtu oraz zbadanie jego związku z osiąganą prędkością przepływu jest kluczowym elementem całościowego opisu krążenia krwi. Takie badania w przyszłości mogą pozwolić na szczegółowy opis niektórych chorób jak i dystrybucji podawanych leków pacjentom.

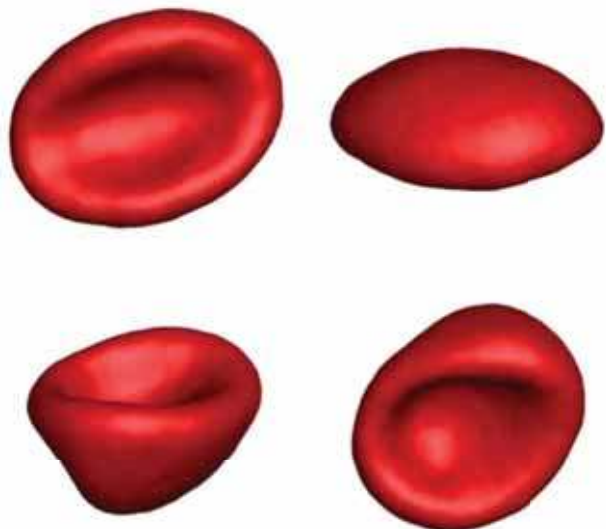
Nauka już wie, że czerwone krwinki w wąskich naczyniach krwionośnych przechodzą transformację kształtu. Dzieje się tak z powodu obecności sił ścinających [1-10]. Wraz ze wzrostem sił ścinających erytrocyty zaczynają powoli wirować a następnie przekształcają się w stomato-

cyty, które przypominają swoim kształtem asymetryczny spadochron (patrz ryc. 2.), które z coraz większą prędkością zaczynają poruszać się w naczyniu.

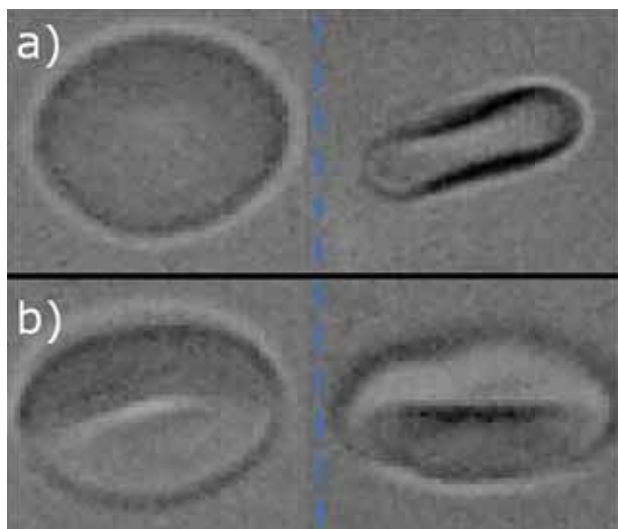
Niedawno Dmitry Fedosov wraz z współpracownikami z Instytutu Systemów Złożonych w Centrum Badawczym w Jülich oraz z Uniwersytetu w Montpellier przyglądali się, w jaki sposób przejścia między różnymi kształtami czerwonych krwinek zależą od zastosowanych sił ścinających oraz stosunku lepkości między cytozolem komórki (cytoplazmą krwinki czerwonej) a osoczkiem [12]. Badanie to miało na celu wyjaśnienie podstawowych mechanizmów odpowiedzialnych za zmianę kształtu oraz dynamiki krwinek z punktu widzenia fizyki. Niewątpliwie jest to pierwszy krok w stronę zrozumienia przepływu krwi przez mikroskopowe naczynia krwionośne.

Wąskie naczynia

Aby zbadać zmianę kształtu czerwonych krwinek naukowcy obserwowali krwinki przy relatywnie silnym przepływie w obecności dużych sił ścinających. Niestety stosując roztwory podobne do wody, nie mogli wykonać klasycznego badania reologicznego, ponieważ roztwory te mogą być niewystarczająco lepkie, aby pozostawić po sobie osocze z krwinkami w komorze reometru. Zatem obserwacja krwinek przy wysokich wartościach sił ścinających byłaby bardzo trudna, a nawet niemożliwa z punktu widzenia eksperymentalnego. W tym celu zastosowano układ bardzo wąskich naczyń (przewodów), pokonując



Ryc. 2. Grafika komputerowa stomatocyty w ruchu w różnych pozycjach [12].



Ryc. 3. Obraz krwinek czerwonych w ruchu wykonany za pomocą kamery szybko-klatkowej i mikroskopu. a) erytrocyt poruszający się przy słabych siłach ścinających, b) stomatocyt poruszający się przy dużych siłach ścinających [12].

w ten sposób ograniczenie związane z lepkością używanego roztworu.

Czerwone krwinki zostały odzyskane ze świeżej ludzkiej krwi, a następnie wszystkie erytrocyty zostały umieszczone w bardziej rozcieńczonym, ale nadal lepkiem płynie imitującym osocze. Tak przygotowany roztwór został przepuszczony przez układ wąskich naczyń w komorze reometru. Dodatkowo kształt i ruch komórek został zarejestrowany przez kamerę szybko-klatkową zamontowaną do mikroskopu. Otrzymane wyniki były zgodne z wynikami obliczeń (symulacji) komputerowych.

Przyszłe kroki

Ogromną zaletą przedstawionych badań jest to, że wykorzystano w nich dwa niezależne modele komputerowe oraz eksperyment, który potwierdził obliczenia. Ewidentnie jest to wstęp do bardziej złożonych badań,

w których potrzebna jest wiedza na temat zachowania pojedynczej komórki.

Naukowcy kontynuując swoją pracę nad dynamiką krwinek czerwonych, chcą powiązać ich zmianę kształtu ze znanymi w medycynie chorobami jak na przykład malarią czy anemią sierpowatą. Choroby te wpływają na kształt czerwonych krwinek. Zbadanie dynamiki w stanie patologicznym erytrocytów pozwoli w przyszłości rozwinąć diagnostykę na podstawie niewielkiej ilości krwi. Aby osiągnąć ten cel Dmitry Fedosov wraz z współpracownikami muszą przygotować układ naczyń o bardziej złożonej geometrii umożliwiając w ten sposób bardziej realistyczny przepływ badanych krwinek. Dodatkowo płyn imitujący przepływ krwi musi być bardziej zbliżony do prawdziwego osocza. Przygotowując modele stanów chorobowych będzie możliwe odtworzenie stanów patologicznych, a dokładnie, wpływ tych chorób na przepływy, zmianę kształtu krwinek oraz dystrybucję tlenu w organizmie.

Marcin Majka

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

LITERATURA

- [1] H. Schmid-Schönbein and R. Wells, *Science* 165, 288 (1969).
- [2] J. Dupire, M. Socol, and A. Viallat, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, 20808 (2012).
- [3] D. Cordasco and P. Bagchi, *Phys. Fluids* 25, 091902 (2013).
- [4] Z. Peng, A. Mashayekh, and Q. Zhu, *J. Fluid Mech.* 742, 96 (2014).
- [5] T. Omori, Y. Imai, T. Yamaguchi, and T. Ishikawa, *Phys. Rev. Lett.* 108, 138102 (2012).
- [6] C. Dupont, F. Delahaye, D. Barthes-Biesel, and A.-V. Salsac, *J. Fluid Mech.* 791, 738 (2016).
- [7] K. Sinha and M. D. Graham, *Phys. Rev. E* 92, 042710 (2015).
- [8] D. Cordasco, A. Yazdani, and P. Bagchi, *Phys. Fluids* 26, 041902 (2014).
- [9] L. Lanotte, J. Mauer, S. Mendez, D. A. Fedosov, J.-M. Fromental, V. Claveria, F. Nicoud, G. Gompper, and M. Abkarian, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 113, 13289 (2016).
- [10] D. A. Fedosov, M. Peltomäki, and G. Gompper, *Soft Matter* 10, 4258 (2014).
- [11] S. Mendez, E. Gibaud, and F. Nicoud, *J. Comput. Phys.* 256, 465 (2014).
- [12] J. Mauer, S. Mendez, L. Lanotte, F. Nicoud, M. Abkarian, G. Gompper, and D. A. Fedosov, *Phys. Rev. Lett.* 121, 118103 (2018).

Co w fizyce piszczy

Zmiana podstawowych definicji jednostek układu SI

W listopadzie w Sèvres pod Paryżem roku miała miejsce Generalna Konferencja Miar i Wąg. Celem tego spotkania największych metrologów świata było zdefiniowanie czterech podstawowych jednostek układu SI: kilograma, kelvina, mola i ampera. Pięć lat temu zmieniono definicję sekundy oraz metra.

Najważniejsza zmiana dotyczy niewątpliwie kilograma, który do tej pory był definiowany od 1875 r. jako masa równa masie odważnika wzorcowego wykonanego ze stopu platyny i irydu, przechowywanego w międzynarodowym biurze miar i wąg w Sèvres. Teraz jego masa będzie wyrażona poprzez stałą Plancka. Definicja ampera z kolei będzie nawiązywać do ładunku elementarnego. Kelvin z kolei będzie wyrażony przez stałą Boltzmanna. Mol, przestanie być już określany jako liczba atomów w kawałku odpowiedniego izotopu węgla, zostanie powiązany ze znaną nam ze szkoły stałą Avogadro. Wartości jednostek się nie zmieniają, nasza waga wyrażona w kilogramach się nie zmieni, ale dla naukowców, inżynierów, technologów życie stanie się dużo prostsze.

Przedstawione zmiany wejdą w życie od 20 maja 2019 roku.

Źródło: <https://physicsworld.com/a/kilogram-finally-redefined-as-worlds-metrologists-agree-to-new-formulation-for-si-units/>



Podstawy fizyki telekomunikacji światłowodowej

Valentyna Shvets

W monografii prof. G. Karwasza ze współautorami „Dydaktyka fizyki z elementami dydaktyki ogólnej i dydaktyki astronomii” jest zaznaczone: „Rozważania o rewolucji naukowo-technicznej ... pokazują uwarunkowania *interdyscyplinarne* fizyki” [1, s.52]. Jednym z takich uwarunkowań interdyscyplinarnych fizyki jest telekomunikacja światłowodowa, która wymaga posiadania wiedzy z optyki, teorii pola elektromagnetycznego, fizyko-chemii i inżynierii materiałowej.

Współczesne życie trudno wyobrazić sobie bez światłowodów: światłowodowe linie telekomunikacyjne zastąpiły miedzianą linię komunikacji i stały się najszybszym środkiem komunikacji, zapewniając międzynarodową sieć internetową niezbędną do prowadzenia biznesu, łączności wojskowej, operacji bankowych, działalności gospodarczej i edukacyjnej.

Protokół Międzynarodowej Akademii Komunikacji dla globalnego społeczeństwa informacyjnego, który zawiera propozycje opracowane na wniosek Światowego Szczytu Społeczeństwa Informacyjnego, składa się z 5 postulatów, z których drugi potwierdza istnienie społeczeństwa informacyjnego jako konsekwencji rozwoju technologii informacyjnych, a trzeci definiuje bazę techniczną społeczeństwa informacyjnego, która obejmuje: *transoceaniczne i międzykontynentalne światłowodowe linie* i *Systemy Łączności Satelitarnej* [2].

Historia komunikacji światłowodowej

Zainteresowanie falowodami dielektrycznymi pojawiło się w latach siedemdziesiątych dwudziestego wieku w wyniku stworzenia w 1974 roku laserów półprzewodnikowych działających w temperaturze pokojowej oraz sukcesu w badaniu modów w cylindrycznych falowodach

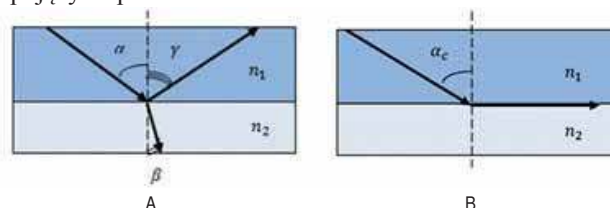
o okrągłym przekroju poprzecznym. Niskie straty optyczne w takich falowodach stały się czynnikiem, z powodu którego włókna światłowodowe okazały się głównymi kandydatami do roli medium transmisyjnego w systemach komunikacyjnych od 10 m do 10 000 m.

Pracownicy firmy Gorning Glass Works w 1970 roku po raz pierwszy stworzyli włókno o tłumieniu 20 dB/km przy długości fali 0.6328 μm , a w 1979 roku stworzono włókna o tłumieniu 0.2 dB/km przy długości fali 1.55 μm [3]. Początkowo prace prowadzone były z włóknami jednomodowymi, ale niska efektywność sprzężenia promieniowania lasera ze światłowodem laserowego i problemy z łączeniem falowodowym pobudzały poszukiwanie falowodów wielomodowych o profilu gradientowym współczynnika załamania.

Podstawy telekomunikacji światłowodowej

Zasada transmisji światłowodowej opiera się na zjawisku *całkowitego wewnętrznego odbicia*. Jeśli promień światła przechodzi z ośrodka optycznie gęstszy o współczynnika załamania n_1 do ośrodka optycznie rzadszego o współczynnika załamania n_2 ($n_1 > n_2$), to na granicy między dwoma środowiskami występuje: z jednej strony załamanie światła, a z drugiej odbicie światła (rys.1A).

Zjawiska odbicia i załamania światła są zgodne z następującymi prawami:



Rys.1. Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia: A – odbicie i załamanie na granicy dwóch ośrodków pod kątem padania promienia, który jest mniejszy od krytycznego; B – zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia na granicy dwóch ośrodków z kątem padania promienia, który jest równy krytycznemu.

1. Promień załamany leży w płaszczyźnie wyznaczonej przez promień padający i prostopadłą padania.
2. Kąt odbicia γ jest równy kątowi padania α : $\alpha = \gamma$, a promień padający, promień odbity i normalna do powierzchni odbicia, leżą w jednej płaszczyźnie.
3. Prawo Snelliusa: stosunek sinusów kątów padania i załamania jest stały i nosi nazwę współczynnika załamania ośrodka drugiego względem pierwszego:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1)$$

gdzie α jest kątem padania a β – kątem załamania.

W tym przypadku im większy kąt padania wiązki na granicy dwóch ośrodków, tym większa część tego promienia jest odbijana. W końcu, przy pewnym granicznym kącie padania, załamana wiązka zaczyna przesuwac się wzdłuż powierzchni styku dwóch ośrodków (rys. 1B). Zjawisko to nazywa się zjawiskiem *całkowitego wewnętrznego odbicia*.

Prawo Snelliusa do całkowitego wewnętrznego odbicia przyjmuje postać (2):

$$\frac{\sin \alpha_c}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

Biorąc pod uwagę, że $\sin 90^\circ = 1$, otrzymujemy relację do określenia granicznego kąta padania:

$$\alpha_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (3)$$

Struktura prostego światłowodu

Prosty falowod światłowodowy składa się z stałego rdzenia dielektrycznego otoczonego powłoką o współczynniku załamania niższym niż rdzeń: jeśli współczynnik załamania rdzenia równa się n_1 , a współczynnik załamania powłoki równa się n_2 , to $n_1 > n_2$. Światłowod wraz z rdzeniem i obudową pokryty jest powłoką ochronną (rys. 2) [4].

Rdzeń światłowodu jest wykonany ze szkła kwarcowego lub organicznego; włókno może być wykonane ze szkła kwarcowego domieszkowanego zanieczyszczeniami lub fluoropolimerami; pokrycie wykonane jest z polimeru (akrylanu). Aby zmienić współczynnik załamania, materiał rdzenia i powłoki jest domieszkowany zanieczyszczeniami GeO_2 , P_2O_5 , B_2O_3 . Tlenki germanu GeO_2 oraz fosforu P_2O_5 wprowadza się w celu zwiększenia współczynnika załamania światła; tlenek boru B_2O_3 wprowadza się w celu obniżenia współczynnika załamania światła. Średnica rdzenia światłowodu wynosi od 8 μm do 100 μm , średnica osłony włókien optycznych

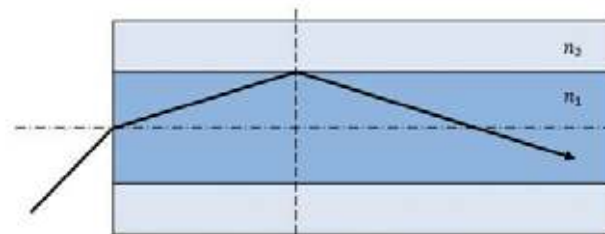


Rys. 2. Struktura prostego światłowodu.

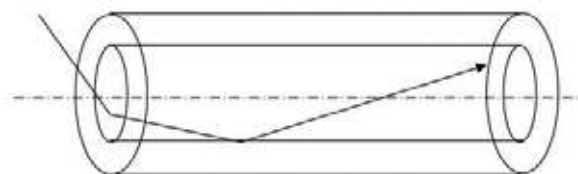
wynosi od 125 μm do 145 μm , średnica pokrycia warstwy ochronnej wynosi 250 μm .

Oto najczęściej spotykane rozmiary światłowodów [4, 5]:

- | rdzeń 8.3 μm i włókno o grubości 125 μm ;
- | rdzeń 9 μm i włókno o grubości 125 μm ;
- | rdzeń 62.5 μm i włókno o grubości 125 μm ;
- | rdzeń 50 μm i włókno o grubości 125 μm ;
- | rdzeń 100 μm i włókno 145 μm .



Rys. 3. Przebieg promieni południkowych (w rzucie planarym).



Rys. 4. Przebieg promienia ukośnego.

Światłowod jest oznakowany w zależności od stosunku wielkości rdzenia do włókna. Na przykład: 9/125, 50/125, 62.5/125.

W prostym światłowodzie występują 2 rodzaje promieni świetlnych: *południkowe* i *ukośne* [6]. Promień południkowy przechodzi przez oś światłowodu (rys.3), promienie skośne leżą na prostych liniach nie przecinających się z osią światłowodu (rys. 4).

Główne cechy światłowodu

Oprócz średnicy i współczynnika załamania rdzenia i powłoki, światłowod ma również szereg innych ważnych cech technicznych: ilość informacji przesyłanych przez światłowod, moc optyczną itp. Rozważmy najważniejsze cechy włókna optycznego.

1. Apertura numeryczna.

Rozważmy przypadek, w którym promień południkowy spada z ośrodka o współczynniku n_0 do rdzenia światłowodu o współczynniku załamania n_1 i podlega całkowitemu wewnętrznemu odbiciu na granicy między rdzeniem a włóknem, które ma współczynnik załamania n_2 . Oznacza to, że promień przesuwac się wzdłuż granicy kontaktu między rdzeniem a włóknem (rys.5).

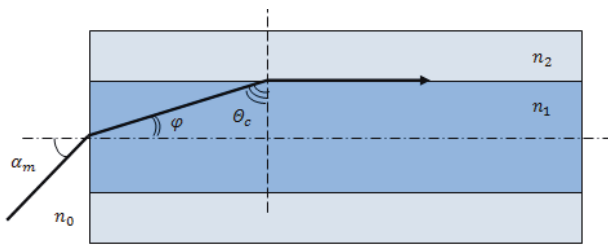
Zgodnie z prawem Snelliusa, następuje relacja:

$$\frac{\sin \alpha_m}{\sin \varphi} = \frac{n_1}{n_0} \quad (4)$$

Z równania (4) otrzymujemy:

$$n_0 \sin \alpha_m = n_1 \sin \varphi \quad (5)$$

Z drugiej strony z trójkąta prostokątnego o kątach wewnętrznych φ i θ_c otrzymujemy:



Rys. 5. Całkowite wewnętrzne odbicie na granicy „rdzenia-włókno” światłowodu.

$$\sin \varphi = \cos \Theta_c \quad (6)$$

Wtedy

$$n_1 \sin \varphi = n_1 \cos \Theta_c = \sqrt{1 - \sin^2 \Theta_c} \quad (7)$$

Zapiszmy prawo Snelliusa dla ośrodków o współczynnikach załamania oraz :

$$\frac{\sin \Theta_c}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \quad (8)$$

Z ostatniej równości otrzymujemy:

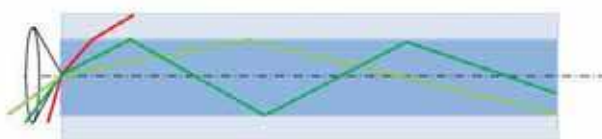
$$\sin \Theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (9)$$

Z równości (5), (7), (9) otrzymujemy aperturę numeryczną NA:

$$NA = n_0 \sin \alpha_m = n_1 \sin \varphi = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \Theta_c} = n_1 \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (10)$$

Gdy promień światła pada na rdzeń z powietrza ($n_0 \approx 1$), apertura numeryczna jest równa sinusowi maksymalnego kąta padania promienia światła na przekrój rdzenia, przy którym spełniony jest warunek całkowitego wewnętrznego odbicia. Wszystkie promienie wewnątrz stożka, określone przez aperturę numeryczną, doświadczą całkowitego wewnętrznego odbicia na granicy „rdzeń-włókno”: na rys. 6 te promienie są zaznaczone na zielono. Każdy promień znajdujący się poza stożkiem, który jest określony przez aperturę numeryczną, wykracza poza rdzeń i nie bierze udziału w transferze energii wzdłuż światłowodu: na rys. 6 taki promień jest zaznaczony na czerwono.

Tak więc apertura numeryczna określa liczbę modów propagujących się w światłowodzie. Określenie „mod” oznacza stabilny stan pola elektromagnetycznego wewnątrz światłowodu. Mod jest jednym z rozwiązań równań Maxwella dla pewnych, określonych przez strukturę warunków. Mod światłowodu jest czasami definiowany jako trajektoria, wzdłuż której przemieszcza się światło. Każdy mod ma swoje własne prędkości fazowe i grupowe. Liczba modów N zależy również od długości fali λ padającego promieniowania na światłowód, średnicy włókna rdzenia a , rodzaju światłowodu.



Rys. 6. Apertura numeryczna.

Wartość apertury numerycznej wpływa na dokładność, z jaką włókna światłowodowe powinny być połączone ze sobą i z innymi komponentami linii światłowodowej: kwadrat apertury numerycznej $(NA)^2$ określa ułamek mocy źródła wprowadzonego do światłowodu.

2. Częstotliwość znormalizowana

Znormalizowana częstotliwość jest określana przez formułę:

$$v = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (11)$$

Dzięki tej wartości można ocenić tryb działania światłowodu: wartość określa, czy światłowód jest jednomodowy, czy wielomodowy. Z powyższego wzoru wynika, że liczba modów zależy od długości fali promieniowania świetlnego: gdy długość fali λ jest mniejsza, włókno jednomodowe staje się wielomodowym.

3. Profil współczynnika załamania światła

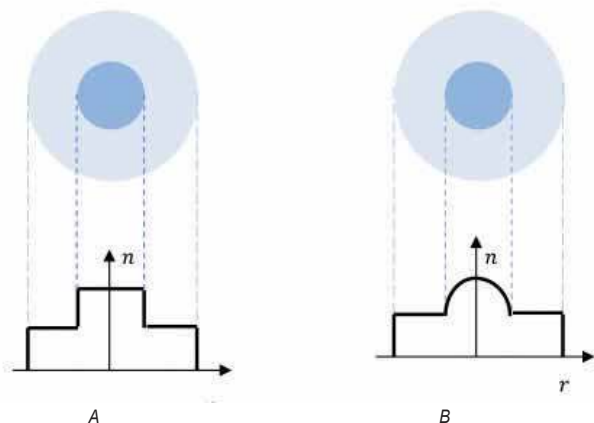
Profil współczynnika załamania światła jest zależnością współczynnika załamania rdzenia od jego poprzecznego promienia. **Światłowody** dzielą się na światłowody o skokowym profilu refrakcji oraz na światłowody gradientowe. W światłowodach o profilu skokowym współczynnik załamania rdzenia jest taki sam na całym przekroju poprzecznym; w światłowodach gradientowych współczynnik załamania rdzenia zmniejsza się od środka do obwodu (rys.7).

Najbardziej zbadane są cechy włókien światłowodowych, dla których profil współczynnika załamania opisany jest przez funkcję:

$$n(r) = n_1 \left\{ 1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^g \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (12)$$

gdzie r – obecny promień, $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$ – względna różnica współczynnika załamania światła (z reguły nie przekracza 0,01 lub 1%), n_1 – najwyższa wartość współczynnika załamania rdzenia, g – wykładnik, który określa charakter zmiany $n(r)$, a – promień rdzenia.

Światłowody z $g = 2$ nazywane są *parabolicznymi*, ponieważ profil współczynnika załamania opisany jest



Rys. 7. Profile współczynnika załamania światła różnych typów światłowodów: A - światłowód skokowy, B - światłowód gradientowy.

parabolą. Podczas wytwarzania światłowodów gradientowych często otrzymują rdzeń o zmniejszonej wartości n_1 wzdłuż osi rdzenia. Takie światłowody są nazywane światłowodami z osiową niewydolnością w dielektrycznym profilu przenikalności.

Istnieją również jednomodowe światłowody, które zachowują polaryzację przesyłanego promieniowania na dużej długości. Opracowane zostały polaryzacyjne światłowody z liniowymi i kołowymi polaryzacjami. Światłowody o polaryzacji liniowej są strukturami osiowo asymetrycznymi, w których może propagować się moda jednej polaryzacji lub dwie mody różnych polaryzacji. Te pierwsze są nazywane *absolutnie spolaryzowanymi światłowodami*, drugie zaś – światłowodami z linearną dwójłomnością.

4. Przepustowość światłowodu i szerokość pasma.

Przepustowość włókna zależy od długości włókna: im większa długość, tym więcej zakłóceń napotykanym jest na drodze wiązki światła. Przepustowość światłowodu podzielona przez jego długość określa poziom zakłóceń na jednostkę długości:

$$\frac{D_f}{l} = \frac{n_1}{n_2} \frac{\Delta}{c} \quad (13)$$

Jednostką miary $\frac{D_f}{l}$ jest $\left[\frac{\mu s}{km}\right]$. Wielkość fizyczna, odwrotna do $\frac{D_f}{l}$ nazywa się *pasmem przepustowości* mierzonym w $[MHz \cdot km]$. Pasma przepustowości (bandwidth) określa ciągle zakres częstotliwości, przy którym sygnał jest przesyłany w linii komunikacyjnej bez znaczących zniekształceń.

5. Współczynnik tłumienia

Tłumienie jest konsekwencją pochłaniania światła przez materiał światłowodu, rozpraszania światła przez niejednorodności i odbicia na końcach światłowodu. Utratę mocy optycznej opisuje współczynnik tłumienia α , który mierzy się w dB/km. Oszacowanie tego współczynnika jest możliwe na podstawie prawa Bouguera-Lamberta [7]:

$$P_L = P_0 e^{-\alpha L}, \quad (14)$$

gdzie P_L – moc linii o długości L , P_0 – wartość mocy wejściowej, α – współczynnik tłumienia w światłowodzie jednomodowym.

Z prawa Bouguera-Lamberta otrzymujemy wyrażenie na współczynnik tłumienia w światłowodzie jednomodowym:

$$\alpha = \frac{\ln \frac{P_0}{P_L}}{L} \quad (15)$$

Ten parametr mówi, że przy określonej częstotliwości (patrz poniżej) na kilometr kabla tłumienie sygnału wynosi α decybeli (dB).

W światłowodzie wielomodowym zmianę mocy promieniowania podczas propagacji przez światłowód określa suma podobnych wyrażenia dla każdego modu:

$$P_L = P_{0i} e^{-\alpha_i L}, \quad (16)$$

gdzie P_{0i} – moc promieniowania w i tym modzie światłowodu w punkcie jego wzbudzenia (na końcu światłowodu), α_i – współczynnik tłumienia dla i -tego modu, a P_L – moc promieniowania w światłowodzie w odległości L od punktu wzbudzenia

Praktycznie wszystkie światłowody charakteryzują się złożoną zależnością tłumienia od długości fali, której minima absorpcji są w ~ 850 nm, 1300 nm i ~ 1500 nm. Są one wykorzystywane do celów telekomunikacyjnych. Te obszary długości fal są nazywane oknami przezroczystości włókien optycznych, odpowiednio: pierwsze (850 nm), drugie (1300 nm) i trzecie (1500 nm). Przy długości fali 1300 nm dyspersja prędkości propagacji o różnych długościach fal jest minimalna. Typowe jest tłumienie światłowodu wielomodowego wynosi [9]: 3 dB/km w obszarze 850 nm; 1 dB/km w obszarze 1300 nm. Typowymi wartościami współczynnika załamania światła są: 1.49 dla włókna o średnicy rdzenia 62.5 μm w obszarach 850 nm, 1.475 dla włókna o średnicy rdzenia 50 μm w obszarze 850 nm i 1.465 dla włókien światłowodowych o średnicy rdzenia 50 μm w obszarze 1300 nm.

Przykład obliczenia światłowodu

Obliczmy światłowód (apertura numeryczna, częstotliwość znormalizowana, liczba trybów) gradientowego falowodu za pomocą powyższych wzorów, wykorzystując parametry określone w tabeli 1 [10].

Tabela 1. Wartości parametrów do obliczania światłowodu

Nazwa parametru	Notacja	Jednostka miary	Wartość parametru
Średnica rdzenia	$2a$	μm	10
Średnica włókna	$2b$	μm	125
Długość fali	λ	μm	1.3
Współczynnik załamania rdzenia	n_1	-	1.5
Współczynnik załamania włókna	n_2	-	1.47

Rozwiązanie

Apertura numeryczna równa się:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1.5^2 - 1.47^2} = 0,298$$

Komentarz do rozwiązania: apertura numeryczna pozwala obliczyć dwa parametry: maksymalny kąt wejścia promieni do światłowodu, który jest w tym przypadku równa się $\arcsin 0.298 \approx 17^\circ$; proporcję wiązki światła wtryskiwanej ze źródła światła do światłowodu: $(NA)^2 = 0.298^2 \approx 0.09$, lub 9%; w ten sposób wyraźnie widać, że wzrost NA zwiększa efektywność wprowadzania promieniowania laserowego do włókna, ale z drugiej strony jest to spowodowane wzrostem średnicy rdzenia i zwiększeniem dyspersji modowej; zazwyczaj wartość NA mieści się w zakresie od 0.15 do 0.25.

Znormalizowana częstotliwość równa się:

$$v = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2i 3.14 i 5i 10^{-6}}{1.3i 10^{-6}} i 0.298 = 7.19$$

Komentarz: Jeśli w światłowodzie z profilem schodkowym $v \leq 2.405$, to propagowana jest tylko jedna podstawowa moda. Jeżeli $v > 2.405$, ma miejsce tryb pracy wielomodowej. Z uzyskanej wartości v w danym rozwiązaniu

wynika, że tryb działania światłowodu jest wielomodowy. W przypadku włókna o profilu parabolicznego współczynnika załamania, warunek jednomodowy wynosi $v \leq 3.53$ [6]. Liczba modów dla światłowodu wielomodowego z *profilem schodkowym* jest określona przez formułę:

$$N = \frac{(NA)^2}{2} i \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \right)^2$$

Podstawiając wartości, otrzymujemy:

$$N = \frac{0.298^2}{2} i \left(\frac{2i 3.14i 5i 10^{-6}}{1.3i 10^{-6}} \right)^2 = 26$$

Komentarz: Liczba modów propagujących w światłowodzie określa poziom dyspersji modowej (rozmycie sygnału na wyjściu), co ogranicza przepustowość światłowodu. Rozmywanie sygnału na wyjściu występuje z przyczyny różnicy dróg propagacji od początku do końca włókna dla różnych modów. Powoduje to różne czasy propagacji modów, które przekazują energię sygnału i redystrybucji (rozmycia) całkowitej energii wyjściowej. W przypadku włókien o schodkowym profilu współczynnika załamania, dyspersja modowa jest wyższa niż dla włókien o profilu gradientowym współczynnika załamania światła. Zmniejszenie dyspersji modowej we włóknie o profilu gradientowym współczynnika załamania występuje dlatego, że w ośrodku o mniejszym współczynniku załamania (na krawędziach światłowodu) światło rozchodzi się szybciej, więc wszystkie mody kończą się w tym samym czasie na końcu włókna.

Kabel światłowodowy

Ze względów technicznych jednostkowe włókno światłowodowe jest montowane w kabel światłowodowy. Kabel światłowodowy jest ważnym elementem światłowodowych linii komunikacyjnych. Do najbardziej znanych firm produkujących światłowody należą AT & T, General Cable Company (USA), Silcov (Niemcy), BICC Cable (UK), Lees cables de Lion (Francja), NTT, Sumitomo (Japonia), Birelli (Włochy). Parametrami decydującymi o produkcji kabla światłowodowego są warunki użycia i przepustowość linii komunikacyjnych. Zgodnie z warunkami użycia, kable są podzielone na *montażowe, stacyjne, strefowe i magistralne*.

Pierwsze dwa rodzaje kabli są przeznaczone do układania wewnątrz budynków i konstrukcji: są one kompaktowe, lekkie i mają niewielką długość. Kable dwóch ostatnich typów są przeznaczone do układania kabli w studniach, w ziemi oraz pod wodą. Kable te mają ochronę przed wpływami zewnętrznymi i konstrukcję o długości ponad dwóch kilometrów. Aby zapewnić wysoką przepustowość, produkowane są kable światłowodowe zawierające niewielką liczbę (do 8) jednomodowych włókien o niskim tłumieniu, a kable dla sieci dystrybucyjnych mogą zawierać do 144 włókien, zarówno jednomodowych, jak i wielomodowych. Liczba światłowodów w kablu zależy od odległości pomiędzy segmentami sieci.

W produkcji kabli światłowodowych stosuje się głównie dwa podejścia:

- | konstrukcje z luźną tubą (Loose tube cables), w których włókna światłowodowe są ułożone luźno w tubie z ośrodkiem wypełniającym;

- | konstrukcje ze sztywnym połączeniem elementów.

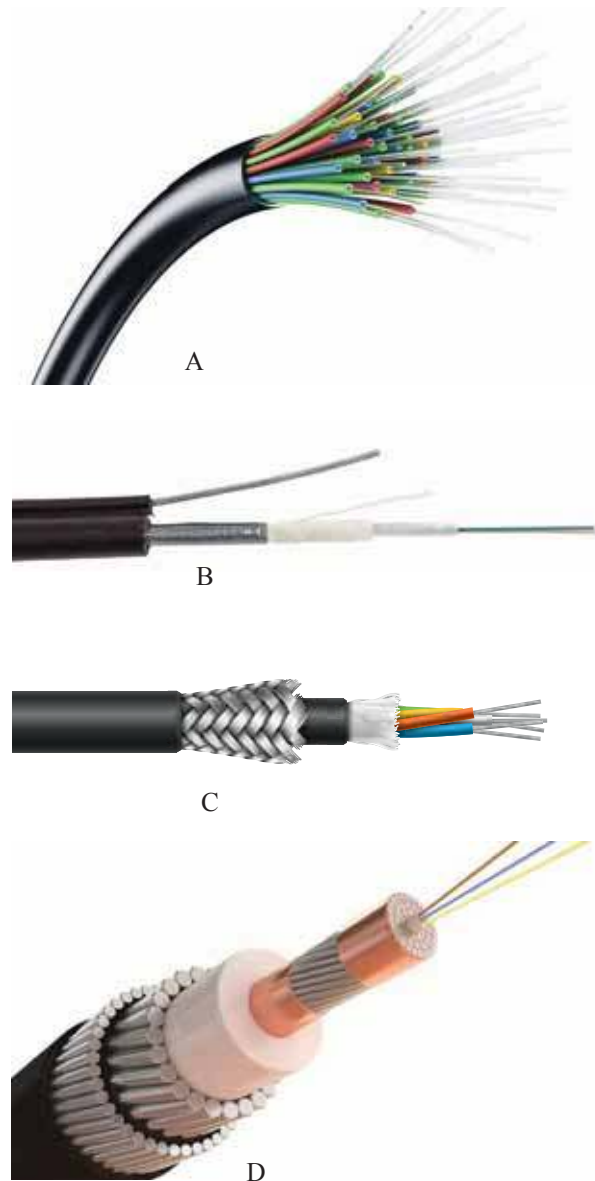
Kabel światłowodowy składa się z:

- | centralnego elementa siłowego;

- | modułów optycznych (umieszczane są w nich rurki polimerowe z włóknami światłowodowymi);

- | warstw ochronnych;

- | zewnętrznej powłoki kabla.



Rys. 8. Kable optyczne: A - kabel do układania wewnątrz budynków, B - kabel do uziemienia, C - kabel optyczny z liną, D - podwodny kabel optyczny

Łączenie długości konstrukcyjnych kabli optycznych odbywa się za pomocą specjalnych łączników, które mają co najmniej 2 wejścia kablowe, urządzenia do mocowania elementów kabli zasilających i jedną lub więcej płyt łączących (struktury do układania i mocowania splecionych włókien różnych kabli).

Łączniki do światłowodów są zwykle zaprojektowane w sposób pokazany na poniższym rysunku 9 [12]:



Rys. 9. Łącze światłowodowe.

Jeśli długość światłowodu powinna być znacząca ze względu na odległość i wzdłuż drogi nie ma konsumentów, są instalowane pośrednie wzmacniacze sygnału.

System transmisji światłowodowej

Światłowodowe systemy transmisyjne ogarnęły cały świat. Rysunek 12 pokazuje mapę transoceanicznych światłowodowych linii komunikacyjnych obejmujących Europę, Amerykę, Azję i Afrykę [5].

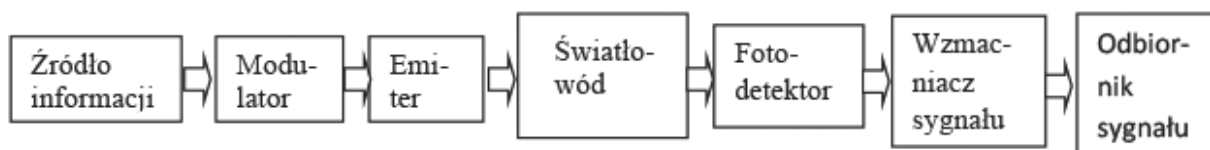
W najbardziej ogólnej formie zasadę przekazywania informacji w światłowodowych systemach łączności można wyjaśnić za pomocą rysunku 11.

Po stronie transmitującej, na emiter światła, którego źródłem jest dioda emitująca światło lub laser półprze-

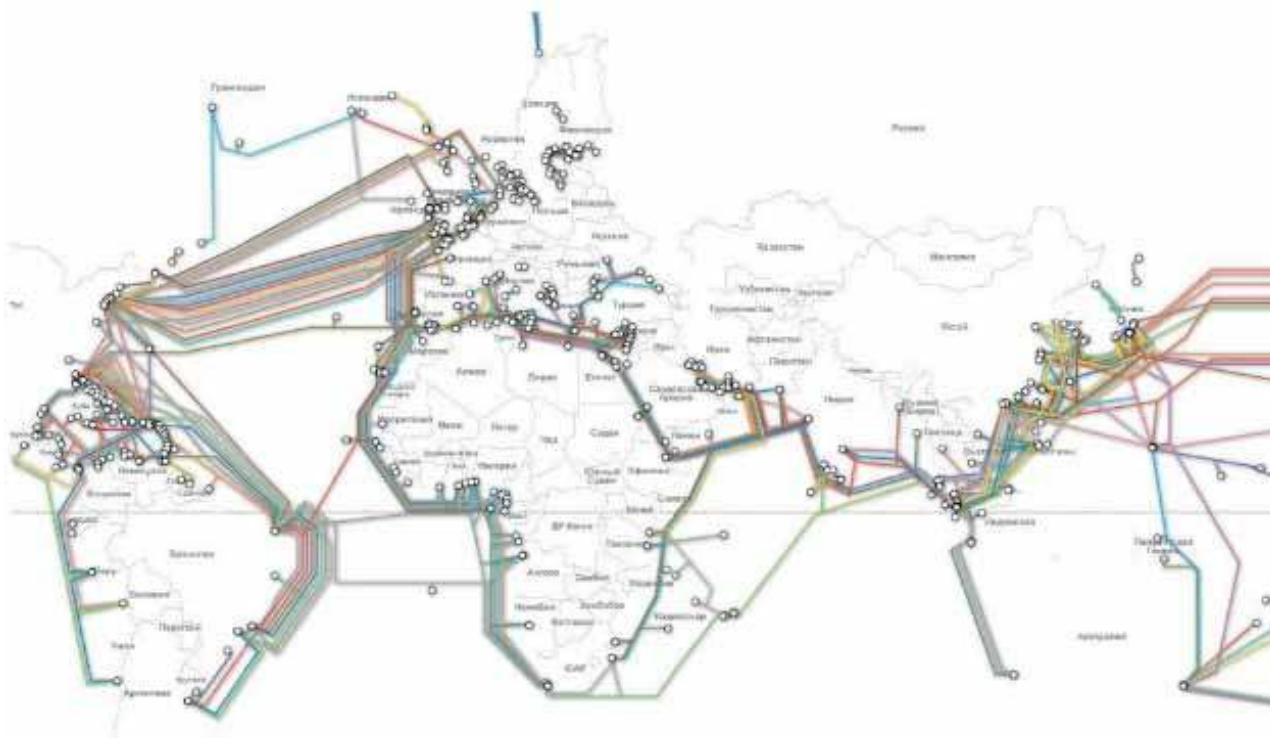


Rys. 10. Wygląd niektórych złączy optycznych.

wodnikowy, jest wysyłany sygnał elektryczny, przeznaczony do transmisji przez łącze komunikacyjne. Ten sygnał moduluje promieniowanie optyczne źródła światła, w wyniku czego sygnał elektryczny jest przekształcany na sygnał optyczny. Po stronie odbiorczej sygnał optyczny z światłowodu jest wprowadzany do fotodetektora. W nowoczesnych światłowodowych systemach transmisyjnych fotodetektorem jest fotodioda *p-i-n* lub *fotodioda lawinowa*. Fotodetektor konwertuje padające na niego promieniowanie na oryginalny sygnał elektryczny.



Rys.11. Schemat systemu transmisji światłowodowej.



Rys. 12. Mapa transoceanicznych światłowodowych linii komunikacyjnych. Źródło: Submarinecablemap.com

Sygnal elektryczny jest następnie wysyłany do wzmacniacza, a potem do odbiorcy wiadomości.

Szybkie wprowadzenie do sieci informacyjnych światłowodowych linii komunikacyjnych jest konsekwencją korzyści wynikających z cech propagacji sygnału w światłowodzie. Podajemy te zalety zgodnie z [14].

Szerokie pasmo. umożliwia przesyłanie w jednym światłowodzie strumienia danych o kilku terabitach na sekundę. Duża szerokość pasma jest jedną z najważniejszych zalet światłowodu nad miedzią lub jakimkolwiek innym medium transmisji informacji.

Małe tłumienie sygnału świetlnego w światłowodzie. Światłowod przemysłowy charakteryzuje się tłumieniem rzędu 0.2-0.3 dB/km przy długości fali 1550 nm. Małe tłumienie i małe rozproszenie pozwalają budować odcinki linii bez retransmisji o długości do 100 km i więcej.

Niski poziom szumów w kablu światłowodowym pozwala na zwiększenie szerokości pasma, poprzez transmisję różnych modulacji sygnału.

Wysoka odporność na zakłócenia. Ponieważ włókno jest wykonane z materiału dielektrycznego, jest ono odporne na zakłócenia elektromagnetyczne pochodzące z otaczających kabli miedzianych i urządzeń elektrycznych zdolnych do indukowania promieniowania elektromagnetycznego (linie energetyczne, silniki elektryczne itp.).

Mała waga i objętość. Kable światłowodowe mają mniejszą masę i objętość w porównaniu z kablami miedzianymi względem podobnej szerokości pasma.

Wysokie bezpieczeństwo przed nieautoryzowanym dostępem. Przez to, że kable światłowodowe praktycznie nie emitują promieniowania w paśmie radiowym, informacje nadsyłane przez nie są trudne do podsłuchania bez naruszania procesu odbioru i transmisji. Systemy monitorowania integralności optycznej linii komunikacyjnej, wykorzystujące właściwości o wysokiej czułości światłowodu, mogą natychmiastowo odłączyć „pęknięty” kanał komunikacyjny i wygenerować sygnał alarmowy. Systemy czujników mają bardzo wysoką czułość na drgania oraz na małe spadki ciśnienia. Takie systemy są szczególnie potrzebne do tworzenia linii komunikacyjnych w administracji, bankowości i niektórych innych usługach specjalnych, które nakładają zwiększone wymagania w zakresie ochrony danych.

Bezpieczeństwo przeciwpożarowe. Ze względu na brak iskier światłowodów zwiększa bezpieczeństwo sieci w rafineriach chemicznych, rafineriach ropy naftowej oraz w utrzymaniu procesów technologicznych wysokiego ryzyka.

Niska cena kabli światłowodowych. Włókno wykonane jest z kwarcu, szeroko rozpowszechnionego, więc niedrogiemu materiału, w przeciwieństwie do miedzi. Obecnie koszt włókna w stosunku do pary drutów miedzianych wynosi jak 2:5. Niemniej jednak kabel światłowodowy umożliwia przesyłanie sygnałów na znacznie większe odległości bez ponownego przesyłania.

Długi okres użytkowania. Z biegiem czasu włókno ulega degradacji. Oznacza to, że tłumienie w wyjścielnym kablu stopniowo się zwiększa. Jednak ze względu



na doskonałość nowoczesnych technologii wytwarzania światłowodów, proces ten jest znacznie spowolniony, a okres użytkowania światłowodu wynosi około 25 lat.

Źródła światła dla linii światłowodowych. Ponieważ światłowod (w szczególności światłowod jednomodowy) ma małą średnicę rdzenia, źródła promieniowania wykorzystują wąsko kierunkowe lasery półprzewodnikowe działające w drugim i trzecim oknie przezroczystym z włókna kwarcowego. Zazwyczaj stosuje się następujące rodzaje laserów [15]:

- 1) *Laser z rezonatorem Fabry-Perot* (FP – Fabry-Perot);
- 2) *Laser ze sprzężeniem zwrotnym* (DFB – distributed feedback) – są używane w szybkich systemach;
- 3) *Laser z modulacją zewnętrzną* (EML – externally modulated laser).

Valentyna Shvets

Artykuł został napisany na podstawie wykładów wygłoszonych przez autorkę artykułu na Uniwersytecie Technologii Informacyjnych i Komunikacyjnych [16] (Kijów, Ukraina).

LITERATURA

- [1] Karwasz G., Karbowski A., Rochowicz K. Dydaktyka fizyki z elementami ogólnej dydaktyki i astronomii. – 2014. – Wydawnictwo naukowe UMK. – Toruń. – 2014. – 128 s.
- [2] World Summit on the Information Society (WSIS): The Millenium Development Goals as the “Heart” of the Summit – UN ICT Task Force-16.10.12
- [3] Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов М.: Мир. — 1984. — 512 с.
- [4] URL: http://svarka-optiki.ru/article/read/Chto_takoe_optovolokno.html
- [5] URL: <https://habrahabr.ru/company/ua-hosting/blog/267859>
- [6] Основы волоконно-оптической связи / Пер. с англ. под ред. Е.М. Диданова. — М.: Советское радио. — 1980. — 232 с.
- [7] URL: <https://www.dltns.ru/optovolokno-1.html>
- [8] URL: http://nifiber.ru/biblioteka/stati/optical_fiber.html
- [9] URL: <http://izmer-ls.ru/w/o03.html>
- [10] Семенов Ю.А. Алгоритмы телекоммуникационных сетей. Часть I. Алгоритмы и протоколы каналов и сетей передачи данных. – М.: Бином. – 2016. – 637 с.
- [11] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Submarine_communications_cable
- [12] URL: http://book.itep.ru/3/optic_32.htm
- [13] URL: http://tkc.by/ru/infocenter/wiki/razem_opticheskij_optical_connector-383.html
- [14] URL: <http://www.tls-group.ru/sks/vols>
- [15] Зельто О. Принципы лазеров / Пер. под науч. ред. Т. А. Шмаюнова. 4-е изд. — СПб.: Лань. — 2008. — 720 с.
- [16] Швець В.Д. Управління навчальною діяльністю майбутніх фахівців з інформатики та обчислювальної техніки. — К.: Вид-во НПУ ім. М.П. Драгоманова. — 2013. — 367 с.

Termodynamika płynów i ośrodków ciągłych (Cz. 3.)

Alfred Zmitrowicz

Celem niniejszego cyklu artykułów jest przedstawienie krótkiego przeglądu głównych koncepcji, pojęć i metod, które odegrały kluczową rolę w kolejnych etapach rozwoju termodynamiki oraz pokazanie współczesnych zastosowań termodynamiki.

Termodynamika statystyczna płynów

Termodynamika statystyczna odwołuje się do molekularnej (cząsteczkowej) budowy wewnętrznej substancji materialnych oraz metod statystycznych. Najpierw sformułowano kinetyczno-molekularną teorię gazów. Według tej teorii gaz rozpatruje się jako zbiór bardzo małych cząsteczek znajdujących się w nieustannym chaotycznym ruchu (translacyjnym, rotacyjnym i wibracyjnym). Cząsteczki zderzają się ze sobą, tak że ich prędkości zmieniają się ciągle co do wielkości jak i kierunku. Układy złożone są z bardzo wielu cząsteczek. Miara liczebności cząsteczek gazu jest liczba Avogarda która mówi o liczbie cząsteczek w jednym molu. Z powodu dużej liczby cząsteczek konieczne jest posługiwanie się metodami statystycznymi. Takie podejście pozwala na zbudowanie pomostu między mikroskopową strukturą układów a obserwowanymi w skali makroskopowej procesami.

Émile Clapeyron w 1834 r. podał związek między ciśnieniem, temperaturą i objętością gazu, czyli równanie stanu gazu doskonałego. Prawo Clapeyrona ma następującą postać

$$pV = nRT$$

gdzie n , liczba moli gazu, R uniwersalna stała gazowa

$$R = N_A k_B$$

N_A liczba Avogarda (czyli liczba cząsteczek w jednym molu gazu), k_B stała Boltzmann

$$N_A = 6,02214179 \cdot 10^{23}$$

$$k_B = 1,3806 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Nm}}{\text{K}}$$

Za podstawowe zjawisko każdego procesu w kinetycznej teorii gazów uważa się zderzenie cząsteczek. Cząsteczki gazu zderzają się ze sobą oraz ze ścianami zbiornika, w którym się znajdują. Zderzenia cząsteczek są idealnie sprężyste. Ciepło jest to przekazywanie energii chaotycznego ruchu cząsteczek. Ciśnienie jest efektem uderzeń cząsteczek o ścianki zbiornika. Gaz ma makroskopowe parametry temperatury i ciśnienia, lecz pojedyncza cząsteczka gazu nie ma ani temperatury, ani ciśnienia.

Rudolf J. E. Clausius w 1857 r. obliczył prędkość cząsteczek gazów oraz wprowadził pojęcie średniej drogi swobodnej. James C. Maxwell w 1860 r. wyprowadził wzór opisujący rozkład prawdopodobieństwa dla prędkości cząsteczek gazu. Maxwell przy pomocy parametrów mikroskopowych określił również wzory na lepkość, dyfuzję, przewodnictwo cieplne i inne.

Ludwig Boltzmann (1844-1906) w 1877 r. podał statystyczną definicję entropii, tj. podał wzór wiążący entropię S (parametr makroskopowy) z logarytmem tzw. prawdopodobieństwa termodynamicznego W (parametr mikroskopowy) oraz k_B stałą Boltzmann:

$$S = k_B \ln W$$

W klasycznej termodynamice procesów odwracalnych temperaturę można zapisać analitycznie korzystając z równania Gibbsa. W termodynamice statystycznej temperatura jest proporcjonalna do średniej energii kinetycznej wszystkich cząsteczek danej substancji. Taka definicja temperatury wykorzystuje stałą Boltzmann i mówi, że temperatura jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek. Dla następującej średniej energii kinetycznej

$$E_k = \frac{3N}{2} k_B T$$

gdzie, N jest liczbą cząsteczek, definicja temperatury ma postać

$$T = \frac{2E_k}{3Nk_B}$$

Innymi koncepcjami termodynamiki statystycznej są: teoria fluktuacji wokół równowagi (np. ruchy Browna),

teoria samoorganizacji i symulacje dynamiki molekularnej.

Procesy wymiany ciepła w płynach i ciałach stałych

Jean-Baptiste Joseph Baron de Fourier (1768-1830) w 1808 r. sformułował paraboliczne równanie różniczkowe cząstkowe opisujące zjawisko przewodzenia ciepła (rozchodzenia się ciepła) w różnych substancjach materialnych (płynach i ciałach stałych) [1, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12]. Jest to równanie bilansu energii po podstawieniu definicji strumienia ciepła (tzw. równanie Fouriera-Kirchhoffa). Fourier opublikował monografię pt. *Théorie analytique de la chaleur*, Paris 1822 r., Rys. 18. Równanie przewodnictwa ciepła opisuje rozkład temperatur w substancji i ma następującą postać

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_3^2} \right) = 0$$

Współczynnik dyfuzyjności termicznej α jest określony przez

$$\alpha = \frac{K}{\rho c_p}$$

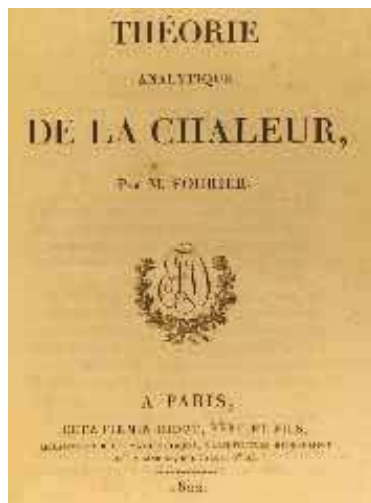
a strumień ciepła q_i zależy od gradientu temperatury

$$q_i = -K \frac{\partial T}{\partial x_i}, \quad i=1,2,3$$

gdzie, ρ gęstość masy substancji, c_p ciepło właściwe, κ współczynnik przewodnictwa cieplnego, $T(x_1, x_2, x_3, t)$ temperatura, $q_i(x_1, x_2, x_3, t)$ wektor strumienia ciepła. W termodynamice klasycznej ciepło właściwe jest uzależnione od rodzaju przemiany, temperatury i ciśnienia. Położenie cząstki substancji materialnej w trójwymiarowym układzie współrzędnych określa wektor x_l w konfiguracji aktualnej (tzw. opis Eulera) będący funkcją współrzędnych cząstki w konfiguracji odniesienia X_l (tzw. opis Lagrange'a), tj.

$$x_i = x_i(X_1, X_2, X_3, t)$$

Czas t występuje w sposób jawny w równaniu przewodnictwa ciepła. Innymi słowami, funkcje w równaniu przewodnictwa ciepła zależą jawnie od czasu t i od wektora położenia cząstki substancji.



Zgodnie z równaniem Fouriera-Kirchhoffa ciepło dochodzi w dowolnie krótkim czasie do każdego punktu przestrzeni, czyli rozchodzi się nieskończenie szybko. W rzeczywistości proces rozchodzenia się ciepła zachodzi

Rys. 18 Strona tytułowa, J.B. Fourier, *Théorie analytique de la chaleur*, Paris 1822 r., źródło: Wikipedia

ze skończoną i niezbyt wielką prędkością, a do dowolnego punktu przestrzeni ciepło dociera po skończonym czasie. Aby uwzględnić rozchodzenie się ciepła ze skończoną prędkością opracowano koncepcję „czasu relaksacji”.

Carlo Cattaneo (1911-1979) opracował nowy model przewodnictwa ciepła i opublikował artykuł pt. *Sur une forme de l'équation de la chaleur éliminant le paradoxe d'une propagation instantanée*, Comptes Rendus l'Académie des Sciences, 1958 r. Cattaneo założył, strumień ciepła zależy od gradientu temperatury i jego historii tj.

$$q_i + \tau \frac{\partial q_i}{\partial t} = -K \frac{\partial T}{\partial x_i}, \quad i=1,2,3$$

gdzie, τ jest czasem relaksacji strumienia ciepła, dla jednorodnych substancji przyjmuje się $\tau = 10^{-12} - 10^{-8}$ s. Wtedy hiperboliczne równanie różniczkowe przewodnictwa ciepła (tzw. równanie Cattaneo-Vernotte) ma postać

$$\tau \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} + \frac{\partial T}{\partial t} - \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_3^2} \right) = 0$$

Równanie przewodnictwa ciepła można przekształcić wprowadzając prędkość propagacji temperatury określoną wzorem

$$C_\tau = \sqrt{\frac{K}{\tau \rho c_p}}$$

Fourier opracował nową metodę matematyczną (tzw. metoda harmoniczna lub metoda Fouriera), zgodnie z którą dowolną funkcję można rozłożyć na sumę funkcji trygonometrycznych. Analiza harmoniczna znalazła liczne zastosowania w matematyce, fizyce i technice. Współczesne metody rozwiązywania równania przewodnictwa ciepła dzieli się na: analityczne (ściśle i przybliżone) i numeryczne. Do metod numerycznych należą: metoda różnic skończonych, metoda elementów skończonych, metoda elementów brzegowych, metoda objętości skończonych, metody bezsiatkowe (ang. *meshless*), itp. [9].

Aby rozwiązać zadanie przewodnictwa ciepła oprócz równania Fouriera-Kirchhoffa należy jeszcze określić warunki początkowe i brzegowe. Warunki brzegowe mówią o sposobach wymiany ciepła danej substancji materialnej z otoczeniem i są to: (a) przewodnictwo, (b) konwekcja, (c) promieniowanie. Przewodnictwo jest przeniesieniem ciepła z miejsc o wyższej temperaturze do miejsc o niższej temperaturze. Konwekcja polega na przenoszeniu ciepła przez przemieszczającą się ciecz lub gaz obok danej substancji. Promieniowanie bierze się stąd, że substancje ogrzane wypromieniowują ciepło za pośrednictwem fal elektromagnetycznych. Na przykład promieniowanie słoneczne jest promieniowaniem elektromagnetycznym Słońca, podobnie jest z promieniowaniem gwiazd. Z punktu widzenia promieniowania powierzchni ogrzanych ciał są dzielone na „czarne”, „szare” i „białe”. Do opisu radiacyjnej wymiany ciepła wykorzystuje się prawo Stefana-Boltzmann, prawo Plancka i inne.

Władysław Natanson tak pisał w 1901 roku: „...promieniowanie jest szczególnego rodzaju energią, która może płynąć z niezmierną prędkością przez powietrze,

przez wodę, przez szkło, przez puste pomiędzy gwiazdami przestworza lub przez ciała gęste i zbite“.

Rozszerzona termodynamika procesów nieodwracalnych w płynach i ciałach stałych

Zauważono, że termodynamika klasyczna może być niewystarczająca do opisu różnych zjawisk fizycznych w substancjach materialnych o złożonej strukturze ze względu na silne nieliniowości lub procesy mocno dyssypatywne. Dlatego współcześni badacze poszukują innych konstrukcji termodynamiki nie zawierających tych ograniczeń, np. (a) rozszerzona forma lokalnego równania stanu (J. Kestin), (b) termodynamika Onsagera z nieliniowymi relacjami „strumienie-siły” (I. Gyarmati), (c) idea „czasu relaksacji” i hiperboliczne równanie przewodnictwa ciepła (C. Cattaneo), (d) metoda parametrów wewnętrznych służących do opisu nierównowagi termodynamicznej (Maurice A. Biot), (e) uogólnienie równania entropii Gibbsa o strumienie dyssypatywne (G. Lebon), (f) metoda mnożników Lagrangea (I-Shih Liu, Ingo Müller), (g) termodynamika oparta na teorii informacji np. entropia informatyczna (Claud Elwood Shannon, 1948 r.), (h) chaos i samoorganizacja struktur dyssypatywnych tj. proces tworzenia się porządku przez fluktuacje (Ilya Prigogine, noblista z chemii w 1977 r.), itp. Nowe konstrukcje termodynamiki procesów nieodwracalnych powstają przez modyfikacje, uzupełnianie lub wzbogacanie istniejących modeli termodynamiki [3, 4, 5, 8, 12], w ten sposób, aby uwzględniały np. płyny nie-newtonowskie, gazy rozrzedzone, materiały w niskich temperaturach, itp.

Klasyczna termodynamika płynów operuje głównie wielkościami skalarnymi. W termodynamice rozszerzonej, zmiennymi mogą być nie tylko skalary, lecz również wektory (np. wektor strumienia ciepła, wektor prędkości) i tensory (np. tensor ciśnienia lepkiego, dewiator tensora naprężenia).

Jednym z głównych założeń termodynamiki rozszerzonej jest pominięcie hipotezy równowagi lokalnej. Dla opisu przebiegu czasowej zależności parametrów termodynamicznych dowolnie wybranego układu korzysta się z równań bilansów: masy, pędu, energii (czyli Pierwszej Zasady Termodynamiki) i entropii. Są to sformułowania globalne bilansów (w postaci całek) i sformułowania lokalne bilansów (w postaci równań różniczkowych).

Analitycznym sformulowaniem Drugiej Zasady Termodynamiki jest nierówność produkcji entropii (inaczej nierówność dyssypacji energii), która mówi o nieodwracalności procesów. W termodynamice rozszerzonej zakłada się istnienie pojęcia entropii również w stanach dalekich od równowagi termodynamicznej oraz korzysta się z pojęć produkcji entropii i wymiany entropii z otoczeniem. Konkretnie rozwiązania równań bilansów zależą od rodzaju i własności substancji materialnych. Na analityczne opisy własności substancji materialnych są nakładane ograniczenia np. aby nierówność produkcji entropii była zawsze spełniona. Do badania konsekwencji wynikających z nierówności produkcji entropii wykorzystuje się np. mnożniki Lagrangea.

Jeśli założymy, że wielkości termodynamiczne zależą od czasu t i czas występuje w sposób jawny jako zmienna, oraz jeśli skorzystamy z równania Gibbsa w klasycznej termodynamice płynów, to Drugą Zasadę Termodynamiki można zapisać następująco:

$$\frac{dS}{dt} - \frac{1}{T} \frac{dQ}{dt} \geq 0$$

gdzie, $S(t)$ entropia, $Q(t)$ ciepło pobrane z otoczenia, $T(t)$ temperatura, dQ/dt prędkość przepływu ciepła [3].

Do interesujących zagadnień należy termodynamika płynów i ciał stałych zawierających ruchomą, wewnętrzną powierzchnię nieciągłości. Wynika to stąd, że substancje materialne rozpatrywane w pewnej objętości mogą zawierać różne stany skupienia i różne fazy. Granice rozdziału poszczególnych faz substancji opisuje się powierzchniami na których niektóre lub wszystkie własności fizyczne zmieniają się skokowo np. gęstość masy. Postuluje się, że powierzchnie nieciągłości są powierzchniami niematerialnymi poruszającymi się poprzez substancję z prędkością inną niż prędkość cząsteczek substancji. Na powierzchni nieciągłości muszą być spełnione tzw. warunki zgodności (warunki Hugoniota). Powierzchnie nieciągłości służą do opisu takich zjawisk jak: (a) propagacja czoła fal (akustycznej, uderzeniowej, przyspieszenia) w płynach, (b) rozprzestrzenianie się granic faz w substancjach wielofazowych, (c) propagacja gęstości rozkładu dyslokacji w materiałach krystalicznych, (d) postęp reakcji chemicznych, itp.

Termodynamika ośrodków ciągłych (materiałów odkształcalnych)

Przykładem termodynamiki nieklasycznej jest termodynamika ośrodków ciągłych [3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 13]. Twórcami termodynamiki ośrodków ciągłych byli amerykańscy badacze: Walter Noll (1925-2017), Clifford A. Truesdell (1919-2000), Bernard D. Coleman (1930-), Richard A. Toupin (1926-2017), Ahmed Cemal Eringen (1921-2009), Morton E. Gurtin (1934-), Ray M. Bowen (1936-) i inni. Znaczący wkład w rozwój termodynamiki i mechaniki ośrodków ciągłych wnieśli badacze europejscy Ingo Müller (1936-) [3], Kolumban Hutter (1941-) [4] i polscy Zenon Mróz (1930-), Piotr Perzyna (1932-2013) [12], Krzysztof Wilmański (1940-2012) [5] i inni.

Termodynamika ośrodków ciągłych nie spełnia wszystkich hipotez i aksjomatów klasycznej termodynamiki płynów, wykorzystuje tylko część z nich oraz wprowadza nowe hipotezy i aksjomaty. Z tego powodu trwa gorący spór między badaczami. Dla ilustracji toczącej się dyskusji przytaczamy argumenty, które przedstawił Joseph Kestin (1913-1993) w artykule opublikowanym w 1992 r. [8].

Kestin pisze między innymi: „...większość badaczy z dyscypliny mechaniki ciała stałego przestała doceniać moc i trafność termodynamiki płynów (ang. *conventional thermodynamics*), która jest zbudowana na akceptacji hipotezy równowagi lokalnej (zasady stanu lokalnego) ... Minione lata ujawniły dwie podstawowe trudności. Pierwsza wynika z pełnego wigoru ataku na zasady ter-

modynamiki płynów. To prawda, że pewne własności formalizmu lokalnej równowagi ponoszą konsekwencje usterek estetycznych... Wierzę, że bardziej powszechne stosowanie termodynamiki płynów w badaniach problemów mechaniki ciała stałego będzie prowadziło do uproszczenia formalizmu i zgodności z wynikami doświadczalnymi... Druga trudność, którą następnie odkryłem jest ta, że skojarzenie między termodynamiką płynów i mechaniką ciała stałego nie jest ani proste ani łatwe... Przedmiot termodynamiki płynów, tak jak jest on nauczany, mniej lub bardziej poprawnie, na wydziałach inżynierii w uczelniach wyższych, na cywilizowanym świecie, oraz przedmiot mechaniki ciała stałego, często nauczany jako wytrzymałość materiałów rozwijały się w większości niezależnie jeden od drugiego. Jakkolwiek oba przedmioty, pozwalają w końcu inżynierom na stosowanie ich w pracach projektowych i badaniach sprawdzających z raczej zadawalającymi wynikami, są one niespójne jeden z drugim. Do chwili obecnej, na pewno, nie spełniają one warunku wzajemnej zbieżności. W tej sytuacji jest zupełnie zrozumiałym podejrzewać, że być może, podstawy obu przedmiotów są błędne... W skrócie, w tym pierwszym roku ostatniej dekady 20 wieku (1991 rok), student obu dyscyplin naukowych tj. termodynamiki płynów i mechaniki ciała stałego staje twarzą w twarz z prawdziwą Wieżą Babel.”

Należy zauważyć, że dotychczasowe polemiki niczego nie umniejszyły z popularności termodynamiki ośrodków ciągłych. Warto odnotować również pozytywne zmiany w ostatnich 30 latach polegające na tym, że rozwój komercyjnych programów komputerowych służących do obliczeń w mechanice płynów, dynamice gazów i mechanice ciał stałych przyniósł pewne ujednoczenie nazewnictwa, oznaczeń i równań [10].

Podstawowe zmienne

Opis deformacji i sił wewnętrznych w materiałach odkształcalnych jest bardziej złożony niż to ma miejsce w gazach i cieczach, nie można ich opisać za pomocą tylko deformacji objętościowej V i jednej składowej sferycznego tensora ciśnienia p . Geometrię trajektorii ruchu substancji materialnych bada kinematyka, ma ona za zadanie przedstawić badany ruch w sposób widoczny, tak aby się miało przed oczyma jego cały przebieg w czasie i przestrzeni. Dynamika bada przyczyny wywołujące ruch. Najmniejszym elementem materiału odkształcalnego jest cząstka materialna (punkt materialny) wraz z bliskim otoczeniem. Kinematyka opisuje przemieszczenia wybranej cząstki materiału za pomocą: wektora położenia, wektora przemieszczenia, wektora prędkości, wektora przyspieszenia. Miary odkształceń materiału definiuje się z pomocą: tensora gradientu deformacji, tensora obrotu, tensora odkształcenia, tensor prędkości odkształcenia. Miarami sił wewnętrznych w materiale są tensory naprężeń. Na fragmentach brzegu odkształcających się brył zakładane są więzy kinematyczne (geometryczne) np. w postaci ograniczeń na wielkość przemieszczeń. Również nakłada się więzy fizyczne np. określone siły istnieją na fragmencie brzegu bryły.

Termodynamika ośrodków ciągłych przyjmuje kilka założeń innych niż ma to miejsce w klasycznej termodynamiki płynów. Zakłada się (Tabela 2), że wszystkie zmienne termodynamiczne: temperatura absolutna, naprężenia, strumienie ciepła, energia wewnętrzna i entropia są funkcjami czasu t oraz położenia X_i cząstki materiału, mówi się, że są one określone dla każdego procesu termodynamicznego. Zakłada się, że entropia i temperatura absolutna są wielkościami pierwotnymi, czyli pewnymi zmiennymi. Entropia jest miarą nieodwracalności procesów fizycznych zachodzących w materiałach i nie jest wielkością mierzalną bezpośrednio.

Najpierw zapisuje się równania bilansu (masy, pędu, krętu, energii) w sformułowaniu globalnym (tj. dla całego układu materialnego) i lokalnym (tj. dla każdej cząstki układu). Tzw. „postulat lokalności”, pozwala zastąpić całki powierzchniowe występujące w globalnych równaniach bilansu na całki objętościowe (twierdzenie Gaussa-Ostrogradskiego) i następnie zamienić sformułowanie całkowe równań bilansu na sformułowanie różniczkowe (lokalna postać równań bilansu).

Po zapisaniu równań bilansu stwierdzamy, że potrzebujemy równań modelujących reakcję rozpatrywanej substancji materialnej na obciążenia mechaniczne i cieplne. Innymi słowami, potrzebujemy równań definiujących rodzaj materiału (nazywanych równaniami konstytutywnymi) dla następujących wielkości fizycznych (zmiennych zależnych w równaniach konstytutywnych): tensora naprężenia Cauchy’ego o składowych T_{ij} , wektora strumienia ciepła o składowych q_i i dwóch wielkości skalarnej opisujących gęstość energii wewnętrznej e i gęstość entropii η , Tabela 2. Energia wewnętrzna jest energią potencjalną wywołaną istnieniem odkształceń w materiale, np. jest to energia sprężysta w materiale sprężystym.

Tabela 2. Podstawowe zmienne termodynamicznych modeli ośrodków ciągłych

x_i	wektor położenia cząstki materiału	są to zmienne modeli niezależne i określają one proces termodynamiczny dowolnej cząstki materiału w dowolnej chwili czasu t
θ	temperatura absolutna	
T_{ij}	tensor naprężenia	są to zmienne modeli zależne od wektora położenia cząstki i temperatury absolutnej θ oraz ich gradientów względem współrzędnych i czasu
q_i	wektor strumienia ciepła	
e	gęstość energii wewnętrznej	
η	gęstość entropii	

Wskaźniki dolne w trójwymiarowym układzie współrzędnych przyjmują wartości $i, j=1,2,3$.

W termodynamice ośrodków ciągłych zakłada się, że równania konstytutywne substancji materialnej zależą od historii ruchu i historii temperatury, tj. zależą nie tylko od ruchu i temperatury w chwili aktualnej, lecz stan obecny substancji jest określony przez całą dotychczasową historię. Wobec tego zmiennymi niezależnymi równań konstytutywnych są historia ruchu całego układu i histo-

ria temperatury absolutnej θ całego układu, obie funkcje są określone dla każdej cząstki X_i materiału i dla każdej chwili czasu w przeszłości t' aż do chwili aktualnej t , Tabela 2. W ten sposób uwzględnia się wpływ wszystkich cząstek zawartych w objętości materiału na ustaloną cząstkę X_i oraz wpływ wszystkich przeszłych chwil czasu aż do chwili aktualnej t . Wtedy zmiennymi niezależnymi równań konstytutywnych są następujące funkcje przemieszczeń i temperatury

$$x_i(X'_1, X'_2, X'_3, t'), \theta(X'_1, X'_2, X'_3, t') \\ (X'_1, X'_2, X'_3, t') \in A \quad t' \leq t$$

gdzie, dodatkowy indeks górny prim oznacza cząstki inne niż aktualna i czasy inne niż aktualny. Z postulatu wynika, że materiał odkształcalny opisany jest przez następujący zbiór funkcjonalów tj. odwzorowań, których zmiennymi są funkcje:

$$\{T_{ij}, q_i, e, \eta\} = [x_i(X'_1, X'_2, X'_3, t'), \theta(X'_1, X'_2, X'_3, t'); X_i, t]$$

Równania konstytutywne zależą również od ustalonej cząstki w konfiguracji odniesienia i aktualnej chwili czasu t . Przedstawiony opis definiuje efekt, który nazywa się pamięcią materiału. Najczęściej nie dysponujemy informacją o historii badanego materiału. Z tego powodu zakłada się, że wpływ stanów z odległej przeszłości jest pomijalnie mały na aktualne wartości funkcji termodynamicznych (tzw. „efekt zanikającej pamięci”).

Inne ograniczenia na postać równań konstytutywnych nazywane są aksjomatami (zasadami) Nolla. Zgodnie z aksjomatem współobecności, wszystkie proponowane modele konstytutywne zależą od tych samych zmiennych niezależnych tj. od historii ruchu i historii temperatury. Zasada determinizmu zabrania stosowania modeli konstytutywnych, które zależą od przyszłej historii materiału. Z aksjomatu bliskiego sąsiedztwa (lokalnego działania) wynika, że w modelu materiałów można ograniczyć się tylko do efektów lokalnych (tj. małego otoczenia danej punktu). W tym przypadku jako zmienne niezależne równań konstytutywnych, zamiast funkcji, można wprowadzić gradienty przemieszczeń i temperatury względem współrzędnej przestrzennej i czasowej (wynika to z rozwinięcia funkcji ruchu i temperatury w szereg Taylora). Wtedy wartości funkcjonalów konstytutywnych zależą jedynie od parametrów ruchu i temperatury w ustalonej cząstce materiału. Dla tzw. „materiału prostego” możemy ograniczyć się tylko do gradientów pierwszego rzędu (pochodnych przestrzennych i czasowych pierwszego rzędu). Materiały proste obejmują większość ważnych dla zastosowań modeli materiałów odkształcalnych oraz cieczy i opisane są w następujący sposób

$$\{T_{ij}, q_i, e, \eta\} = f[x_i, grad(x_i), \frac{dx_i}{dt}, \theta, grad(\theta), \frac{d\theta}{dt}; X_i]$$

Konkretnym przykładem materiału prostego jest materiał termosprężysty, którego zmiennymi niezależnymi są: tensor odkształcenia Lagrangea E_{ij} , temperatura absolutna θ i gradient temperatury $grad(\theta)$ tj.

$$\{T_{ij}, q_i, e, \eta\} = f[E_{ij}, \theta, grad(\theta); X_i]$$

Innym przykładem materiału prostego jest płyn termosprężysty, którego zmiennymi niezależnymi są: tensor gradientu prędkości D_{ij} , temperatura absolutna, gradient temperatury i gęstość masy ρ tj.

$$\{T_{ij}, q_i, e, \eta\} = f[D_{ij}, \theta, grad(\theta), \frac{1}{\rho}]$$

Zasada obiektywności materialnej mówi, że wszystkie funkcjonały konstytutywne muszą być niezależne od położenia i ruchu obserwatora (tj. muszą być niezmiennicze względem odpowiedniej transformacji). Warunek ten dotyczy samych równań jak i argumentów równań konstytutywnych. Do sformułowania zasady obiektywności materialnej przyczynił się polski badacz Stanisław Zaremba (1863-1942), profesor matematyki na Uniwersytecie Jagiellońskim. W 1903 r. podał pewien warunek niezmienniczości równań konstytutywnych, współcześnie nazywany pochodną Zaremba-Jaumanna.

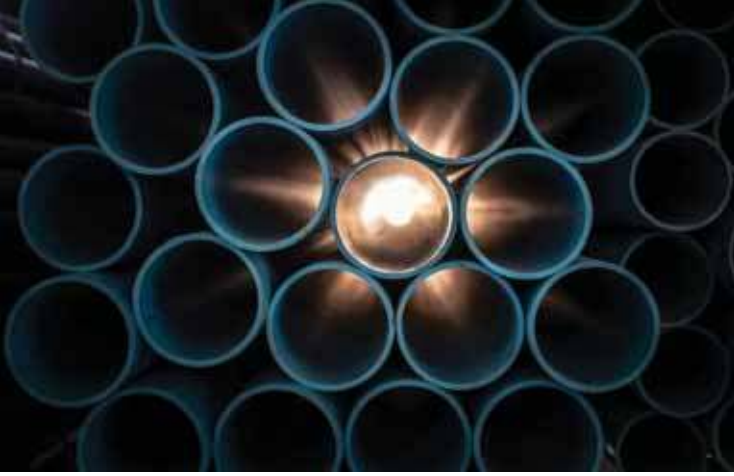
W termodynamice klasycznej, Druga Zasada Termodynamiki może być zapisana w formie analitycznej na kilka różnych sposobów, np. sformułowania Kelvina, Caratheodoryego, Daya i inne. Twórcy termodynamiki ośrodków ciągłych zapisali Drugą Zasadę Termodynamiki w postaci nierówności produkcji entropii, tzw. nierówności Clausiusa-Duhema. Przy tym założono istnienie strumieni entropii, źródeł entropii i gęstości entropii. Nierówność Clausiusa-Duhema ma następującą postać

$$\rho \frac{D\eta}{Dt} + div \left(\frac{q_i k_i}{\theta} \right) \geq 0$$

gdzie, ρ gęstość masy, η gęstość entropii, $q_i k_i$ wektor strumienia ciepła, θ temperatura absolutna, k_i wersor kartezyjskiego układu współrzędnych, D/Dt pochodna materialna (opisuje szybkość zmian danej funkcji).

Modele konstytutywne materiałów muszą spełniać warunek nierówności produkcji entropii. Wtedy wyeliminowane będą niepożądane i niekontrolowane efekty dyssypacji energii, a entropia będzie zawsze wzrastać (nie maleć). W termodynamice ośrodków ciągłych Druga Zasada Termodynamiki jest pewnym ograniczeniem nakładanym na zbiór dopuszczalnych procesów termodynamicznych, tj. możliwe są tylko te procesy zachodzące w materiale, dla których przyrost entropii jest nieujemny. Po podstawieniu równań konstytutywnych materiału do nierówności Clausiusa-Duhema otrzymuje się analityczne ograniczenia na dopuszczalne wartości parametrów (współczynników) występujących w równaniach konstytutywnych. Po uwzględnieniu tych ograniczeń, równania konstytutywne materiału spełnią nierówność Clausiusa-Duhema dla wszystkich niezależnych procesów termodynamicznych, tj. dla wszystkich rozwiązań równań bilansów masy, momentu, krętu i energii.

Klasycznymi modelami materiałów odkształcalnych są materiały sprężyste (termosprężyste) i materiały plastyczne (termoplastyczne) np. materiał idealnie plastyczny (model Saint-Venanta) oraz sprężysto-plastyczny. Gdy materiały o cechach niesprężystych mają własności sprę-



zyste typowe dla ciał stałych i jednocześnie lepkie, które mają ciecze, to nazywamy je lepko-sprężystymi (model Maxwella, model Kelvina-Voigta) [12]. W podobny sposób wyróżnia się materiały lepko-plastyczne [12]. Modelami cieczy z efektami deformacji są ciecze nienuwtonowskie, np. ciecze lepko-sprężyste mają własności zbliżone do ciał stałych.

Ważną grupę stanowią modele zachowania się materiałów odkształcalnych w przypadku wzajemnego sprzężenia różnych pól fizycznych, np. pól odkształceń sprężystych z polem elektromagnetycznym i polem temperatury (dielektryki, piezoelektryki, ferromagnetyki).

Termosprężystość

Termodynamika ośrodków ciągłych jest efektywnym narzędziem służącym do opisu ewolucji mikrostruktury w materiałach odkształcalnych (metalach, ceramikach, polimerach), np. materiały krystaliczne z przemianą fazową austenit-martenzyt, polimery z przemianą fazową stanów amorficznego (szklatego) i krystalicznego, dyfuzja różnych składników w metalach (np. gazów) jako jedna z metod utwardzania powierzchni metali, stopy zmiennofazowe do magazynowania ciepła z przemianami fazowymi ciało stałe – ciecz, ciecz – ciało stałe, itp. Termodynamikę ośrodków ciągłych stosuje się również do opisu ruchu defektów mikrostruktury w różnych materiałach (sprężystych, plastycznych, sprężysto-plastycznych) np. dyslokacje, defekty punktowe, mikro-pęknięcia, wtrącenia, poślizg, bliźniakowanie, itp. Można skorzystać z tzw. „zmiennych wewnętrznych”, które opisują mikrostrukturę np. koncentrację składników, gęstość dyslokacji, wzmocnienie lub osłabienie materiału sprężysto-plastycznego, itp.

Model cząstki materiału ze zmiennymi wewnętrznymi może być wyposażony w dodatkowe stopnie swobody (np. model Cosseratów), może mieć przypisane wyższe gradienty deformacji, może uwzględniać efekty nielocalne. Szczególnie ważne jest wyznaczenie reguł dyssypacji energii podczas procesów mechanicznych i cieplnych w materiałach z mikrostrukturą. Tzw. „funkcję dyssypacji” wykorzystuje się do wyprowadzenia równań ewolucji dla zmiennych wewnętrznych [12].

Po podstawieniu równań konstytutywnych materiału do równań bilansów dokonuje się uproszczeń tzw. linearyzacji równań, gdyż rozpatrywane problemy są geometrycznie i fizycznie nieliniowe. W tym celu zakłada się, że deformacje materiałów (konstrukcji) są małe a równania konstytutywne są liniowe. Wtedy analizowany proces w materiale opisują: równanie ciągłości masy,

równania ruchu (translacyjnego i obrotowego), równanie przewodnictwa ciepła, warunki początkowe i brzegowe. Pozwalają one na wyznaczenie niewiadomych wielkości, tj. gęstości masy, małych przemieszczeń, małych obrotów oraz temperatury jako funkcji wektora położenia cząstki materiału i czasu.

W licznych zastosowaniach technicznych bierze się pod uwagę naprężenia cieplne w materiałach. Wynika to stąd, że zmiana temperatury wywołuje zmianę odkształceń i naprężeń w materiale. Naprężenia cieplne występują w konstrukcjach inżynierskich: belkach, płytach i powłokach (metalowych, żelbetowych, kompozytowych). Termosprężystość zajmuje się sprzężeniami (wzajemnymi oddziaływaniami) pola deformacji z polem temperatur [11]. Termosprężystość bazuje na prawie sprężystości Hookea, które dla problemu jednowymiarowego ma postać

$$\sigma = E\varepsilon$$

prawo to podlega modyfikacji przez uwzględnienie liniowej rozszerzalności termicznej materiału i dla problemu trójwymiarowego zapisuje się następująco

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} - \beta_{ij} (\theta - \theta_0)$$

gdzie, σ naprężenie (jednowymiarowe), ε odkształcenie (jednowymiarowe), E moduł sprężystości, σ_{ij} tensor naprężenia, C_{ijkl} tensor stałych sprężystości, ε_{kl} tensor odkształcenia, β_{ij} tensor współczynników rozszerzalności termicznej, θ temperatura odniesienia. Po podstawieniu zmodyfikowanego prawa Hookea do równania ruchu translacyjnego otrzymuje się równanie ruchu Newtona sprzężone z równaniem przewodnictwa ciepła Fouriera-Kirchhoffa.

Do rozwoju termosprężystości przyczynili się polscy badacze, Witold Nowacki (1911-1986) autor jednej z pierwszych monografii na temat termosprężystości [11] oraz Ryszarda B. Hetnarski (1928-) założyciel międzynarodowego czasopisma naukowego pt. *Thermal Stresses*.

Alfred Zmitrowicz

Institut 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 ciepła*, 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.

Społeczne koszty reformy na bis



Arleta Biegańska

Przeładając stare roczniki „Fizyki w Szkole” natrafiam na referat wygłoszony na Zjeździe Fizyków Polskich we wrześniu 2011 r.¹ Jego autorzy analizując efekty reformy edukacji, która była wdrażana od 1999 r. zwrócili uwagę nie tylko na psychospołeczne aspekty reformy edukacji, ale również na społeczne skutki redukcji nauczania fizyki. Już w 2011 r. pisali o tym, że „W wymiarze społecznym redukcja nauczania fizyki jest źródłem postępującego analfabetyzmu fizycznego oraz wywołuje zaburzenia na rynku pracy, gdyż kurczy się kadra inżynierska”². Autorzy idą dalej – „Reforma systemu edukacji redukująca liczbę godzin przeznaczonych na zajęcia z fizyki i ograniczająca treści fizyczne z programów nauczania powoduje analfabetyzm fizyczny już nie tylko uczniów i studentów, ale także kadry akademickiej”³. Obszerne uzasadnienie znajdziemy w przywołanym referacie.

Czy zmiany wdrożone po 2011 r. wpłynęły na poprawę warunków nauczania fizyki? Co się zmieniło od 2011 r.?

Skutki analfabetyzmu fizycznego

Przykładem społecznych skutków braków w wykształceniu z zakresu fizyki i innych nauk przyrodniczych może być bezkrytyczne i nadmierne korzystanie przez dorosłych, ale niestety również młodzież z solarium. Moda na opaleniznę stała się tak poważnym społecznym zagrożeniem, że postanowiono uregulować tę kwestię prawnie. Została uchwalona ustawa zakazująca korzystania z solarium przez osoby niepełnoletnie⁴. Artykuł 5 ust.1 tejże ustawy zabrania udostępniania solarium małoletnim. Ustawa nakłada na organy administracji rządowej i jednostek samorządu terytorialnego obowiązek podejmowania

działań mających na celu ochronę zdrowia społeczeństwa przed następstwami korzystania z solarium (art 3 ust 1).

Sejm zamiast zajmować się ustawami strategicznymi dla państwa wyręcza rodziców. Czy naprawdę potrzebny jest akt najwyższej rangi, aby chronić młodych przed następstwami korzystania z solarium? Nieświadomość skutków promieniowania jest właśnie poważnym następstwem braków w wykształceniu młodzieży, ale również rodziców. To w szkołach powinno się uczyć o właściwościach różnego rodzaju promieniowania i sposobach ochrony przed negatywnym wpływem na zdrowie i życie. W tym miejscu pozwolę sobie przypomnieć, że rozporządzeniem MEN w sprawie podstawy programowej z 2008 roku wyeliminowano z programu nauczania fizyki w gimnazjum elementy fizyki jądrowej (przy tej okazji wykreślono dział poświęcony astronomii).

Tak to wskutek nieudolnego reformowania oświaty doprowadzono do sytuacji, że nastolatki opuszczają gimnazjum bez elementarnej wiedzy o różnych rodzajach promieniowania. To samo dotyczy będzie absolwentów zreformowanej szkoły podstawowej. Przecież obecna reforma powieliła program fizyki w gimnazjum. Potwierdza to komentarz MEN do podstawy programowej.

Skutki reformy strukturalnej

Jednym z założeń reformy z 1999 r. było wyrównywanie szans edukacyjnych uczniów wywodzących się z różnych środowisk, w tym wiejskich. Samorządy gminne będące organami prowadzącymi szkół na wsiach włożyły wiele wysiłku w poprawę warunków nauczania. Wybudowano wiele nowych budynków dla potrzeb gimnazjów, w których m.in. również przy wsparciu środków z EFS, powstały dobrze wyposażone pracownie przedmiotowe.

¹ E. Pietras, E. Rydygier, „Społeczne koszty reformy systemu edukacji”, *Fizyka w Szkole* nr 2/2012 s. 51

² tamże s.54

³ tamże s 56

⁴ Ustawa z dnia 15 września 2017 r. o ochronie zdrowia przed następstwami korzystania z solarium Dz U. poz. 2111.

W moim gimnazjum, poza istotną poprawą bazy materialnej, ważnym osiągnięciem było pozyskanie wysoko kwalifikowanej kadry pedagogicznej. Geografii uczył magister geografii a chemii magister chemii, o fizyce nie wspominając. Nawet w małych wiejskich gimnazjach specjaliści ci mieli zagwarantowany etat. W miarę zmniejszania w planach nauczania liczby godzin przeznaczonych na nauczanie wiodących przedmiotów przyrodniczych w gimnazjach 2-3 ciągowych zapewnienie etatu stawało się coraz trudniejsze.

Powstanie na terenach gmin wiejskich 3-4 szkół podstawowych zamiast jednego gimnazjum spowodowało sytuację, że nauczyciele fizyki, chemii, aby mogli pracować w pełnym wymiarze dojeżdżają do kilku szkół. Niektórzy podejmują kolejne studia podyplomowe w celu uzyskania kwalifikacji do nauczania drugiego i trzeciego przedmiotu! Działania te są wymuszone z jednej strony przez potrzebę zapewnienia nauczycielom likwidowanych gimnazjów pełnego zatrudnienia a z drugiej strony potrzebami kadrowymi ośmioklasowych szkół podstawowych.

Na wsi, ucząc nawet w 4 szkołach podstawowych, nauczyciele mają 16 godzin fizyki. Pensum uzupełniają innymi zajęciami. Nauka w kilku szkołach oznacza dla nauczycieli przedmiotów przyrodniczych prowadzenie 3-4 pracowni przedmiotowych (o ile takowe są w szkołach), wożenie ze sobą pomocy dydaktycznych. Oznacza to również dodatkowe obowiązki wynikające z członkostwa w 4 radach pedagogicznych. Na koniec okresu klasyfikacyjnego 4 zebrania plenarne, nie wspominając o pracy w zespołach nauczycielskich. Jeśli nauczyciel będzie uczyć różnych przedmiotów to ominą go wycieczki po szkołach, ale prowadzenie pracowni dla różnych przedmiotów już pewnie nie. Czy te warunki sprzyjają efektywności pracy?

Czy spośród absolwentów pełnych studiów magisterskich na kierunku fizyka, chemia itp. znajdzie się chętny do pracy na prowincji? Mocno w to wątpię.

Czy można postawić znak równości między kompetencjami magistra fizyki a nauczycielem po studiach podyplomowych dających uprawnienia do nauczania fizyki. Znam przypadki, że chemii, fizyki, biologii uczy nauczyciel wf, historii. Z drugiej strony nauczyciele przedmiotów przyrodniczych, w tym fizycy, podejmują studia podyplomowe dające kwalifikacje do nauczania przedmiotów bardzo odległych od studiów kierunkowych. Rodzice już to zauważyli i zaczyna to budzić ich niepokój. Spotkałam się z pytaniem czy można po technice uczyć historii. Nie przekonałam rozmówcy, że taka sytuacja jest możliwa i zgodna z prawem.

Spośród absolwentów mojego gimnazjum znam 1 (słownie jedną) nauczycielkę, która uczy w klasach I-III. Ci absolwenci, którzy ukończyli studia wyższe na kierunkach matematyczno-przyrodniczych czy technicznych szkołę omijają szerokim łukiem. Zresztą młodzież po studiach na wieś nie wraca.

Oznaki kryzysu kadrowego

W przyszłości może wystąpić kryzys kadrowy w szkołach wiejskich. Zresztą oznaki kryzysu kadrowego występują również w miastach.

Sytuacja nauczycieli w miastach jest o tyle lepsza, że szkoły miejskie są wielociągowe i łatwiej w nim o pełny etat. Choć przejazdy z jednej szkoły do drugiej w warunkach zatłoczonego miasta nie należą do łatwych. Słychać już o „okienkach” dla uczniów czekających na nauczyciela.

Sytuacja ta musi budzić niepokój o poziom nauczania. W ostatecznym rozrachunku to nie sztyld decyduje o jakości pracy szkoły. Nieważne czy szkoła nazywa się „szkołą podstawową”, „gimnazjum” czy jeszcze inaczej. Na poziom nauczania wpływają dobre programy, wysoko kwalifikowana kadra i warunki materialne.

Czy uczniowie szkół wiejskich mogą liczyć na równe szanse? Po roku wdrażania reformy oświaty sytuacja powoli się normalizuje. Wiele szkół podstawowych skorzystało z rezerwy budżetowej i organizuje pracownie do nauczania przedmiotów przyrodniczych. Nauczyciele mojego gimnazjum, podobnie w innych gminach czy miastach jeżdżą od szkoły do szkoły. Nawet mniej narzekają. Czy starczy im zapału do podnoszenia swoich kwalifikacji? Nauczycielom, którzy w ramach studiów podyplomowych zdobywają uprawnienia do nauczania drugiego czy trzeciego przedmiotu potrzeba wsparcia metodycznego. Potrzebują dobrej obudowy programu nauczania w postaci scenariuszy lekcji, planów pracy itp. Ośrodki metodyczne coraz częściej wyręczane są w tym zakresie przez wydawców podręczników, które oferują wiele gotowych scenariuszy lekcji, sprawdzianów itp.

Kompetencje dydaktyczne nauczyciela są ważne, ale nie można pomijać wymogu ciągłej aktualizacji jego wiedzy merytorycznej z zakresu nauczanych przedmiotów. W tym zakresie dużą rolę odgrywają specjalistyczne czasopisma dla nauczycieli. Niestety obserwuje się znaczące zmniejszenie nakładu tych pism. Nakład „Fizyki w Szkole” w roku 2018 wynosi 3000 egzemplarzy, podczas gdy w roku 1980 było to 16995 +140 egzemplarzy. W ilu szkolnych bibliotekach znajduje się komplet czasopism metodycznych?

Jako dyrektor szkoły zdaję sobie sprawę z tego, że budżety szkół są ciągle ograniczane i jednym z powodów ograniczania prenumeraty jest po prostu czynnik ekonomiczny, ale czy to jedyny powód? Czy bezpłatne zasoby Internetu wystarczą?

W latach osiemdziesiątych w szkołach, zwłaszcza wiejskich, występował poważny kryzys kadrowy, który próbowano załagodzić m.in. poprzez Kartę Nauczyciela. Zatrudniano wtedy nauczycieli ze średnim wykształceniem po rocznym kursie pedagogicznym. Jeśli już udało się zatrudnić nauczyciela z wyższym wykształceniem to uczył on wszystkich przedmiotów niezależnie od kierunków studiów. Historia podobno kołem się toczy, co nie napawa optymizmem.

Arleta Biegańska

dplomowany nauczyciel fizyki

dyrektor Szkoły Podstawowej im. Marii Skłodowskiej-Curie w Kawęczynie



Odkrywca fal

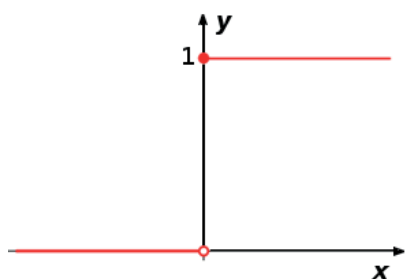
Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894) znany jest z tego, że jako pierwszy udowodnił istnienie przewidzianych teoretycznie przez Maxwella fal elektromagnetycznych. Historia tego odkrycia ma jednak swoje drugie, zapomniane dziś niemal zupełnie, oblicze.

Tadeusz Wibig

Hertz rozpoczął właściwą karierę naukową w roku 1880. Po napisaniu w rekordowo krótkim czasie, kilku miesięcy, doktoratu o polach tworzonych przez naładowane kule kręcące się w polu magnetycznym, został asystentem Helmholtza na Uniwersytecie w Berlinie. Rozwijając się naukowo przeprowadzał się, najpierw do Kilonii, gdzie został docentem i doskonalił się w fizyce matematycznej, aby na koniec osiąść w Karlsruhe, jako profesor nadzwyczajny. W zakurzonych magazynach Karlsruher Institut für Technologie natknął się na cewki Riessa (zwane też cewkami Knochenhauera). I taki był początek tej historii

W tym samym czasie Anglii, działało trzech mniej znanych dziś szerszemu ogółowi młodych fizyków. Byli to **Oliver Heaviside** (1850–1925), **George Francis FitzGerald** (1851–1901) i **Oliver Joseph Lodge** (1851–1940). Kontynuowali oni prace Maxwella i niezależnie od swoich niemieckich kolegów kładli podwaliny pod to, co dziś jest nosi nazwę elektromagnetyzmu. Heaviside znany jest dziś głównie z funkcji Heaviside'a: najprymitywniejszej funkcji świata (może poza taką, która jest tożsamościowo równą zeru wszędzie).

Funkcja Heaviside'a równa jest zeru dla ujemnych wartości argumentu i jedynie dla wartości pozostałych.



Funkcja Heaviside'a

Jest to wbrew pozorom bardzo ważna funkcja, w szczególności w nauce o elektryczności. Poza tym Heaviside przepisał z użyciem operatorów różniczkowania wektorowego oryginalne równania Maxwella, których było wtedy 20 i występowało w nich 20 zmiennych. Zmniejszył tym samym liczbę jednych i drugich do czterech.

FitzGerald był właściwie Irlandczykiem, stąd ta dziwna może pisownia jego nazwiska. Znany jest dziś głównie ze skrócenia Lorentza-FitzGerala, które jest jednym z bardziej znanych i paradoksalnych (dla laików) efektów szczególnej teorii względności. FitzGerald opisał swoje skrócenie w roku 1889, wyprowadzając je z równań Ma-

xwella (uporządkowanych wcześniej przez Heaviside'a). Jako pierwszy też zauważył, że zgodnie z równaniami Maxwella szybko oscylujący ładunek elektryczny powinien produkować fale elektromagnetyczne, cokolwiek by to znaczyło.

Lodge wyciągnął z prac Maxwella inny wniosek: wokół wszystkiego rozciąga się eter i on jest nośnikiem oddziaływań i pól elektrycznych i magnetycznych. Istnienie fal elektromagnetycznych rozchodzących się w eterze było zupełnie naturalne. Lodge już od 1879 zastanawiał się, jak można by je generować i rejestrować, ale niedługo potem udało mu się zdobyć etat wykładowcy w Liverpoolu i nie miał odtąd wiele czasu na myślenie i eksperymentowanie z eterem. Dodatkowo jeszcze na życzenie głównego inżyniera brytyjskiej poczty zajął się piorunami: powodowały one częste uszkodzenia linii telegraficznych.

A w tym samym czasie w Karlsruhe Hertz eksperymentował z cewkami Riessa. Był to właściwie przyrząd do ilustracji zjawiska indukcji, czyli rodzaj transformatora, ale dał on Hertzowi właściwy intelektualny impuls: rozładowując bowiem butelkę lejdejską (kondensator) przez jedno z uzwojeń, można było wytworzyć małą iskrę pomiędzy końcówkami drugiego uzwojenia. Hertz lubił eksperymentować.

Tymczasem w Liverpoolu badania nad wyładowaniami atmosferycznymi doprowadziły Lodge'a do stwierdzenia, że mają one charakter oscylacyjny, co miało duże znaczenie praktyczne dla ochrony przedpiorunowej, ale także i dla elektrodynamiki. Na wykładzie 10 marca 1888 roku przedstawił swe odkrycia publiczności naukowej. Później, 7 lipca tegoż roku, wysłał obszerny tekst do *Philosophical Magazine*. Opisał w nim generator fal elektromagnetycznych w postaci butelki lejdejskiej połączonej z anteną i iskrownikiem. A ponieważ było lato, pojechał na dłuższe wakacje do Cortiny d'Ampezzo.

A w Karlsruhe tego samego lata Hertz nie odpoczywał, a pracował ciężko rozładowując swój kondensator na rozmaite sposoby. A gdy był już pewny, że w jego laboratorium rozchodzą się fale elektromagnetyczne, gdy zaobserwował falę stojącą, efekty odbicia i ogniskowania przez mosiężne, paraboliczne zwierciadła, załamania (w półtorametrowym pryzmacie zrobionym ze smoły) i polaryzację fal, napisał o tym do czasopisma *Wiedemann's Annalen der Physik und Chemie*.

W lipcu w Cortinie Lodge przeczytał pracę Hertza. Preczytał ją także FitzGerald i obaj podczas Zjazdu Bry-

tyjskiego Towarzystwa Naukowego w Bath na początku września 1988 r. w swoich wystąpieniach wyrazili głębokie uznanie dla Hertza i pogratulowali mu wybitnego osiągnięcia.

Z historii tej prawdziwej wysnuć można co najmniej kilka morałów. Jeden jest taki, że aby do historii przejść, nie można robić sobie zbyt długich wakacji. Z drugiej strony jednak robiąc sobie długie wakacje można wpaść na wiele innych ciekawych pomysłów. Hertz, komentując swoje odkrycie stwierdził, że nie może ono mieć żadnych zastosowań praktycznych, jest to tylko dowód na słuszność teorii Maxwella, a Lodge w wolnych chwilach udoskonalił małe sprytne urządzenie nazwane przez niego kohererem i opatentował system strojenia odbiorników fal elektromagnetycznych. W pewnym sensie umożliwił tym samym Marconiemu, gdy tylko dogadali się co do praw

patentowych, zbudowanie pierwszego praktycznie działającego telegrafu bez drutu. W pewnym sensie jako efekt uboczny swoich naukowych dociekań Lodge opatentował jeszcze świecę iskrową (iskra!) do silników spalinowych i głośnik z ruchomą cewką (cewka!). W rezultacie dożył szczęśliwie i w dostatku wieku niemal 90 lat jako uznany fizyk, ale i spirytualista, znawca duchów i specjalista od życia pozagrobowego i podobnych fascynujących tematów. Być może i Hertz także dokonałby wielu innych ważnych odkryć i miałby ciekawe życie, gdyby nie zmarł przedwcześnie w wieku 36 lat.

W roku 1960 oficjalnie hertzem nazwano jednostkę częstotliwości. Jeden hertz (Hz) to „raz na sekundę”. W gniazdkach w ścianie mamy 50 Hz, a zegary w telefonach komputerowych „tykają” miliardy razy na sekundę, co mierzy się w GHz (gigahertzach).

Doświadczenie domowe:

Telegraf bez drutu – doświadczenie Hertza

A. Potrzebne materiały:

1. Cztery kawałki grubego miedzianego drutu o długościach kilkunastu centymetrów.
2. Dwie listewki (mogą też być np. dwie plastikowe linijki) dwa razy dłuższe od kawałków drutu.
3. Folia „stretch”, może też być taśma klejąca do mocowania.
4. Piezoelektryczna zapalarka do gazu.
5. Mała neonówka (do kupienia w sklepach elektronicznych za kilka złotych).
6. Cztery kawałki cienkich kabelków, w sumie wystarczy pół metra.

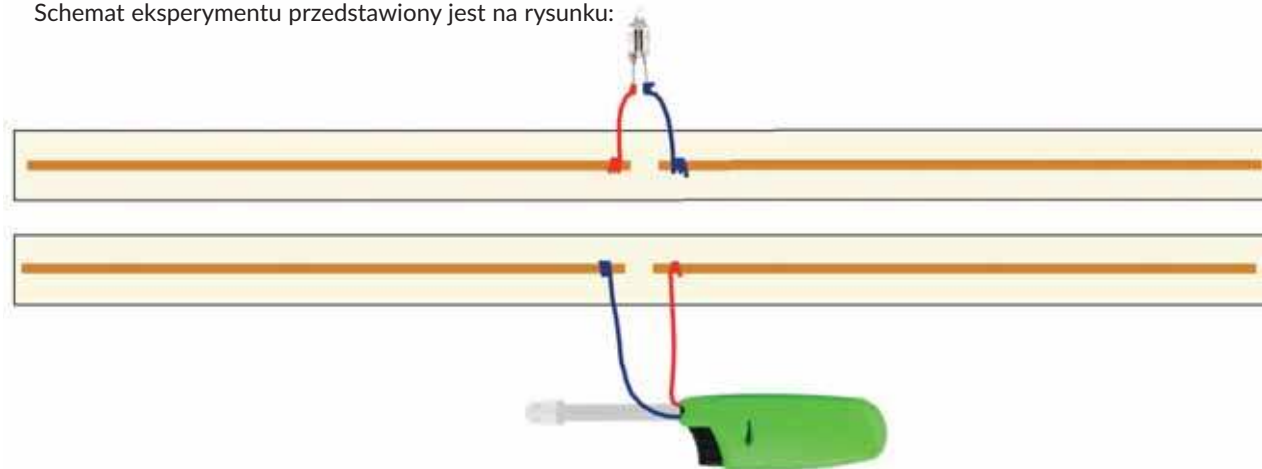
B. Narzędzia – nożyczki lub inny przyrząd do cięcia drutu, nóż, lutownica.

C. Kolejność czynności:

1. Jeśli neonówka jest w obudowie, wyciągnąć ją z niej i jeśli jest tam opornik, odlutować go.
2. Przylutować do wychodzących z neonówki dwóch drucików dłuższe kawałki kabelka.
3. Otworzyć piezoelektryczną zapalarkę, wyjąć z niej metalową rurkę i iskrownik i podłączyć (przylutować) do kabelków idących oryginalnie do iskrownika dłuższe kawałki drucików.
4. Do każdej z listewek przymocować wzdłuż folii (lub taśmą) dwa kawałki grubego drutu, tak, aby pomiędzy nimi była kilkumilimetrowa przerwa.
5. Przy końcach (wewnętrznych) drutów na jednej z listewek owinąć (można i spróbować przylutować) kabelki łączące je z neonówką.
6. Przy końcach (wewnętrznych) drutów na drugiej z listewek owinąć kabelki łączące je z zapalarką.
7. Położyć obie deseczki blisko siebie.
8. Zgasić światło w pokoju (nie musi być bardzo ciemno, ale im ciemniej, tym lepiej widać).
9. „Odpalić” zapalarkę. Pomiędzy drutami powinna przeskoczyć iskra. Jeśli nie przeskoczy może to oznaczać, że przerwę między drutami należy zmniejszyć, albo też źle podłączyliśmy kabelki w zapalarence.
10. Obserwować neonówkę.
11. Powinniśmy w momencie przeskoku iskry zauważyć impuls światła wewnątrz neonówki.

Możemy oddalać od siebie deseczki (anteny: nadawczą i odbiorczą), możemy obracać je względem siebie i w ogóle możemy eksperymentować – jak Hertz.

Schemat eksperymentu przedstawiony jest na rysunku:





Trzy przypadki rzutu ukośnego bez uwzględniania oporu powietrza

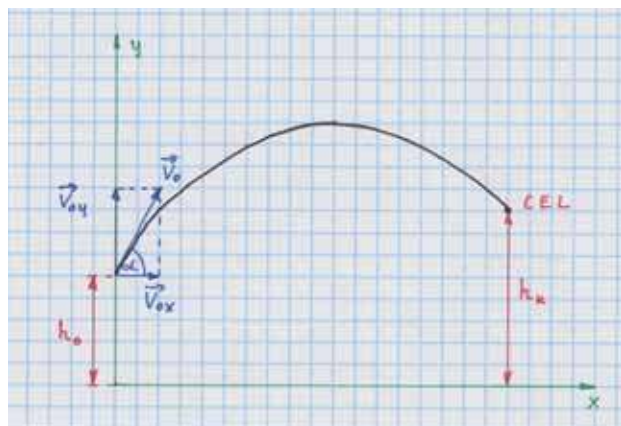
Marian Maciocha

W terenie płaskim maksymalny zasięg strzału pewnego Łucznika wynosi $D = 300$ m. Jaki jest maksymalny zasięg strzału tego Łucznika, jeśli:

1. Łucznik strzela z wieży obronnej o wysokości $H = 50$ m. (średniowieczne wieże ostatecznej obrony, tzw. stołpy miały nawet ponad 50 m wysokości)
2. Łucznik strzela do celu na wieży obronnej o wysokości $H = 50$ m.

Pod jakimi kątami $\alpha_{1,max}$, $\alpha_{2,max}$ powinien strzelać Łucznik w powyższych przypadkach, aby osiągnąć maksymalny zasięg strzału?

Torem ruchu strzały wystrzelonej z łuku z prędkością początkową v_0 (rys. 1.) jest część łuku paraboli opisanej parametrycznie: $x = v_{0x}t$, $y = h_0 + v_{0y}t - \frac{gt^2}{2}$, $t \in <0, t_L >$, gdzie: t_L – czas lotu strzały.



Rys. 1. Tor ruchu strzały wystrzelonej z łuku z prędkością początkową v_0 .

Rozważymy trzy przypadki strzelania z łuku.

0. Przypadek zerowy – strzelanie w terenie płaskim: $h_0 = h_k$.
1. Przypadek pierwszy – strzelanie z wieży obronnej: $h_0 = H, h_k = 0$.
2. Przypadek drugi – strzelanie do celu na wieży obronnej: $h_0 = 0, h_k = H$.

Warunkiem osiągnięcia celu jest, zgodnie z zasadą zachowania energii, jest spełnienie nierówności:

$$\frac{mv_{0y}^2}{2} \geq mg(h_k - h_0),$$

gdzie: m – masa strzały, g – przyspieszenie ziemskie. Warunek ten jest istotny tylko w przypadku drugim, gdyż w przypadkach zerowym i pierwszym mamy:

$mg(h_k - h_0) \leq 0$, co oczywiście zapewnia spełnienie nierówności:

$$\frac{mv_{0y}^2}{2} \geq mg(h_k - h_0).$$

W przypadku drugim warunkiem osiągnięcia celu jest, zgodnie z zasadą zachowania energii, jest spełnienie nierówności:

$$\frac{mv_{0y}^2}{2} \geq mgH$$

(gdzie: m – masa strzały, g – przyspieszenie ziemskie), czyli $v_{0y}^2 - gH \geq 0$. (1)

Czas lotu strzały jest większym pierwiastkiem z dwóch pierwiastków równania kwadratowego:

$$h_0 + v_{0y}t - \frac{gt^2}{2} = h_k \quad (2)$$

Spostrzeżenie 1:

W przypadku drugim gdy nierówność (1) redukuje się do równości – $gH = 0$ równanie kwadratowe (2) ma jeden (podwójny) pierwiastek i czas lotu strzały jest właśnie tym pierwiastkiem.

Z równania (2) wyznaczamy czas lotu strzały:

$$t_L = \frac{v_{0y} + \sqrt{v_{0y}^2 - g(h_k - h_0)}}{g}.$$

Zasięg strzału $x_{zasięg}$ jest równy iloczynowi $v_{0x}t_L$, czyli

$$x_{zasięg} = \frac{v_{0x} + \sqrt{v_{0y}^2 - g(h_k - h_0)}}{g}. \quad (3)$$

Zasięg strzału w przypadku zerowym ($h_0 = h_k$) wynosi:

$$x_{0, zasięg} = \frac{2v_{0x}v_{0y}}{g} = \frac{2i v_0 \cos \alpha i v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g},$$

a stąd zasięg $x_{0, zasięg}$ jest maksymalny ($D = 300$ m) wtedy i tylko wtedy, gdy $\alpha = 45^\circ$.

Zatem $\frac{v_0^2}{g} = D$, więc $v_0^2 = gD$.

W przypadku pierwszym podstawiamy $h_0 = H, h_k = 0$ oraz $v_0^2 = gD$ do (3) i otrzymujemy wzór na zasięg strzału w pierwszym przypadku $x_{1, zasięg}$:

$$x_{1, zasięg} = D i \cos \alpha i \left(\sin \alpha + \sqrt{\sin^2 \alpha + \frac{2H}{D}} \right) \quad (4)$$

Spostrzeżenie 2:

Wzór (4) można zapisać także w innych postaciach, ale postać (4) jest użyteczna do obliczeń numerycznych.

W przypadku drugim podstawiamy $h_0 = 0, h_k = H$ oraz $v_0^2 = gD$ do (3) i otrzymujemy wzór na zasięg strzału w drugim przypadku $x_{2, zasięg}$:

$$x_{2, zasięg} = D i \cos \alpha i \left(\sin \alpha + \sqrt{\sin^2 \alpha - \frac{2H}{D}} \right). \quad (5)$$

Spostrzeżenie 3:

Wzór (5) można zapisać także w innych postaciach, ale postać (5) jest użyteczna do obliczeń numerycznych.

Zamieszczona na końcu tego tekstu prosta funkcja maksymalnyZasiegRzutuUkosnego napisana w języku C podaje maksymalne zasięgi strzałów dla opisanych trzech przypadków (zerowym, pierwszym i drugim) strzelań z łuku oraz miary kątów pod jakimi możliwe jest osiągnięcie tych maksymalnych osiągnięć. Korzystając z tej funkcji otrzymamy następujące wyniki:

$$\alpha_{1,\max} 40x_{1,\max} 346 \text{ m}, \quad \alpha_{2,\max} 50x_{2,\max} 245 \text{ m}.$$

Interesujące jest porównanie powyższych zasięgów $x_{1,\max}$, $x_{2,\max}$ dla łuku o zasięgu 300 m w terenie płaskim z zasięgami możliwymi do uzyskania przy użyciu łuku janczarskiego. Zasięg łuku janczarskiego w terenie płaskim wynosił 400 m. Dla $D = 400$ m i $H = 50$ m otrzymamy następujące wyniki:

$$\alpha_{1,\max} 41x_{1,\max} 447 \text{ m}, \quad \alpha_{2,\max} 49x_{2,\max} 346 \text{ m}.$$

Spostrzeżenie 4:

Łucznik broniący wieży ostatecznej obrony o wysokości 50 m, który używał łuku janczarskiego miał ponad 200 m przewagi zasięgu strzału nad atakującym z łukiem o zasięgu 300 m w terenie płaskim.

Łucznik broniący wieży ostatecznej obrony o wysokości 50 m, który używał łuku o zasięgu 300 m w terenie płaskim nie miał przewagi zasięgu strzału nad atakującym z łukiem janczarskim.

Pytanie dla Czytelników: Jakie relacje zachodziłyby między zasięgami strzałów łuczniaka walczącego łukiem janczarskim a zasięgami strzałów łuczniaka używającego łuku o zasięgu 300 m w terenie płaskim w sytuacji, gdyby wysokość wieży ostatecznej obrony wynosiłaby:

- 40 metrów,
- 70 metrów.

Funkcja maksymalnyZasiegRzutuUkosnego zapisana w języku C

```
int maksymalnyZasiegRzutuUkosnego(przypadek, D, H)
{
    int przypadek; float D, H;
    {
        int kodWyniku=0;
        if((przypadek<0) || (przypadek>2) || (D<=0.0) || (H<0.0))
        {
            printf(„\n\nBledne dane poczatkowe !\n\n”); kodWyniku=-1;
        }
        else
        {
            printf(„\n\n\nMaksymalny zasieg łuku w terenie plaskim %fm.\n\n”, D);
            float PI=3.14159265, p=PI/180.0;
            float alfa, s2a, sa, ska, ca, wsp, w;
            float zasieg, zasiegMax=-1.0;
            int st, min, stMax=0, minMax=0;
            if(przypadek==0)
            {
                if(H==0.0)
                {
                    for(st=0; st<=89; st++)
                    {
                        for(min=0; min<60; min++)
                        {
                            alfa=p*(st+min/60.0);
                            s2a=sin(2.0*alfa);
                            zasieg=D*s2a;
                            if(zasieg>zasiegMax)
                            {
                                zasiegMax=zasieg;
                                stMax=st; minMax=min;
                            }
                        }
                    }
                }
                printf(„Maksymalny zasieg %fm dla kata %d stopni %d minut.”, zasiegMax, stMax, minMax);
            }
            else
            {
                printf(„UWAGA ! Sprzeczne dane. Przypadek 0 dotyczy sytuacji, gdy H=0m.”);
                printf(„\na w danych wejsciowych podana zostala wysokosc obronnej H=%dm.”, H);
                kodWyniku=-2;
            }
        }
    }
    if(przypadek==1)
    {
        wsp=2.0*H/D;
        for(st=0; st<=89; st++)
        {
            for(min=0; min<60; min++)
            {
                alfa=p*(st+min/60.0);
                sa=sin(alfa); ska=sa*sa; ca=sqrt(1.0-ska);
                zasieg=D*ca*(sa+sqrt(ska+wsp));
                if(zasieg>zasiegMax)
                {
                    zasiegMax=zasieg; stMax=st; minMax=min;
                }
            }
        }
    }
}
```

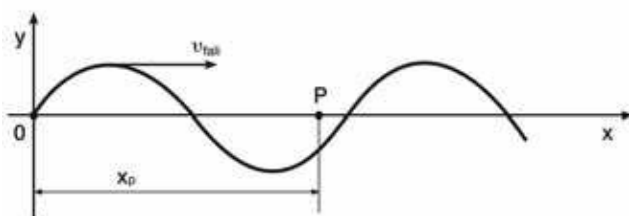
```

    }
}
printf("\n\nStrzelanie z wiezy obronnej o wysokosci %fm.", H);
printf("\n\nMaksymalny zasieg %fm dla kata %d stopni %d minut.", zasiegMax, stMax, minMax);
}
if(przypadek==2)
{
    wsp=2.0*H/D;
    for(st=0; st<=89; st++)
    {
        for(min=0; min<60; min++)
        {
            alfa=p*(st+min/60.0);
            sa=sin(alfa); ska=sa*sa;
            w=ska-wsp;
            if(w>=0)
            {
                ca=sqrt(1.0-ska);
                zasieg=D*ca*(sa+sqrt(w));
                if(zasieg>zasiegMax)
                {
                    zasiegMax=zasieg;
                    stMax=st; minMax=min;
                }
            }
        }
    }
}
printf("\n\nStrzelanie do celu na wiezy obronnej o wysokosci %fm.", H);
if(zasiegMax>0)
{
    printf("\n\nMaksymalny zasieg %fm dla kata %d stopni %d minut.", zasiegMax, stMax, minMax);
}
else
{
    printf("\n\nWieza obronna jest zbyt wysoka. Cel na wiezy nie jest osiagalny.");
    kodWyniku=-3;
}
}
if(kodWyniku==0)
{
    printf("\n\nDokladnosc obliczen kata: 2 minuty.");
}
}
printf("\n\n\n");
}
return kodWyniku;
}

```

O równaniu falowym słów kilka

Zwykle fala poprzeczna rysowana jest tak:



A tak zapisywane jest równanie fali:

$$y(x, t) = A \sin 2\pi(t/T - x/\lambda)$$

Czy rysunek i ta postać równania falowego odpowiadają sobie wzajemnie?

Jeżeli źródłem fali jest punkt materialny, poruszający się ruchem harmonicznym po osi OY wokół punktu o współrzędnej (0, 0) i wytwarzający falę biegnącą w prawo po osi OX, to w sytuacji przedstawionej na rysunku ma on fazę π (lub $\pi + n \cdot 2\pi$). Tak więc od położenia równowagi dla $\varphi(0) = 0$ (lub $n \cdot 2\pi$) minął czas $t = T/2$ (lub $T/2 + nT$), gdzie: $n = 1, 2, 3, \dots$

Obliczmy wychylenie punktu P fali dla $x = 11 \cdot \lambda/12$.

Wstawiając w/w dane, otrzymamy:

$$y_p = A \sin 2\pi(1/2 - 11/12) = A \sin 2\pi(-5/12) = A \sin(-5/6)\pi = A \sin(-150^\circ) = -A \sin 30^\circ = -1/2 A,$$

co jest zgodne z rysunkiem.

Ten sam wynik otrzymamy, gdy $t = T/2 + nT$.
Ponieważ $2\pi t/T = \varphi$, zatem równanie falowe można napisać również w takiej postaci:

$$y(x, \varphi) = A \sin 2\pi(\varphi/2\pi - x/\lambda),$$

gdzie kąt φ podany jest w radianach.

Wstawiając $\varphi = \pi$, otrzymamy:

$$y_p = A \sin \pi(1/2 - 11/12) = A \sin \pi(-5/6) = A \sin(-150^\circ) = -A \sin 30^\circ = -1/2 A,$$

Znów otrzymaliśmy poprawny wynik.

Ten sam wynik otrzymamy dla $\varphi(0)$ równego π lub $\pi + n \cdot 2\pi$.

Wniosek:

Ponieważ obraz fali o amplitudzie (A), długości (λ) i prędkości (v) zależy od fazy (φ) punktu będącego jej źródłem, dlatego falę tę rysujemy tak, by jej postać była zgodna z przyjętymi założeniami odnośnie tej fazy lub czasu, który upłynął od chwili, gdy ów punkt będący źródłem fali przechodził przez położenie równowagi, mając przy tym fazę $\varphi(0) = 0$ lub $n \cdot 2\pi$.

Uwaga! W podręcznikach uniwersyteckich można spotkać inne postaci równania falowego. Należy wówczas zwrócić uwagę na interpretację równania w proponowanej postaci.

Pokazy eksperymentów fizycznych podczas lekcji „na żywo” i eksperymentów uprzednio sfilmowanych, opracowanych i skomentowanych

Andrzej Kuczkowski

Obecnie nauczyciel ma do dyspozycji ogromną liczbę różnych sfilmowanych, opracowanych, skomentowanych i uzupełnianych animacjami eksperymentów fizycznych patrz np. „Video Encyclopedia of Physics Demonstrations”. Encyklopedia obejmuje 600 eksperymentów sfilmowanych, skomentowanych a znaczna liczba filmów zawiera dodatkowo animacje, grafikę, ujęcia w zwolnionym, względnie przyspieszonym czasie oraz zdjęcia stroboskopowe. Jedynym jej mankamentem jest jej cena. Cały zestaw kosztuje ponad dwa i pół tysiąca dolarów. Jednakże na pocieszenie można zauważyć, że z sieci można pobrać bezpłatnie kilka eksperymentów demo z całego zestawu.

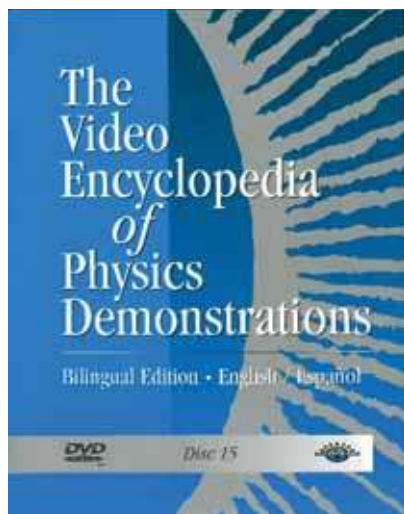


Foto 1. Okładka jednej z 25 płyt „The Video Encyclopedia of Physics Demonstrations” opracowanych przez The Education Group, Inc.

Szczególne interesujące są filmy tych eksperymentów, których nie można zaprezentować podczas lekcji ze względu na czas ich trwania, koszt wykonania oraz bezpieczeństwo. Przykładem może być np. film ilustrujący stan krytyczny dwutlenku węgla. Autor sam kiedyś miał trudności z wyobrazeniem sobie jak to w stanie krytycznym zanika różnica między cieczą i gazem i jak zanika powierzchnia cieczy, a podczas oziębiania w całej objętości tworzą

się i znikają małe objętości cieczy i obserwuje się zjawisko opalescencji. Obserwując kondensację dwutlenku węgla podczas ochładzania i stopniowe formowanie się powierzchni cieczy można mieć skojarzenie z procesem formowania się materii po wielkim wybuchu

Obecnie nauczyciel ma do dyspozycji w sieci bardzo obszerny i interesujący materiał, a podstawową trudność stanowi wybranie tylko najbardziej wartościowych i najbardziej ilustratywnych doświadczeń.

Musi on poza tym pamiętać, że nic nie potrafi tak naprawdę zastąpić rzeczywistego eksperymentu oglądanego bezpośrednio przez ucznia. Zdaniem autora, gdy mamy do dyspozycji we własnych zbiorach doświadczenie ilustrujące pewne zjawisko oraz film video tego zjawiska, zawierający dodatkowo animację oraz poglądowe rysunki, to należy najpierw zaprezentować rzeczywisty eksperyment, a następnie film video. Bardzo dobrym przykładem tego mogą być np. materiały przygotowane przez pracowników AGH, Politechniki Warszawskiej, Uniwersytetu Śląskiego i innych ośrodków. Tak przygotowane materiały są nieocenioną pomocą zwłaszcza podczas podsumowanie przerobionego działu fizyki, jak również podczas samodzielnej pracy ucznia.

Podczas lekcji natomiast sfilmowany materiał nie wymaga obszernego komentarza lektora. Może zrobić to sam nauczyciel i w sposobie jego przedstawienia może zaprezentować swoją osobowość.

Podobnie jak w przypadku eksperymentów na „żywo” ważny jest tu również element zaskoczenia czy niezwykłości, jak np. w przepadku ołówka przebijającego deskę. Wydaje się nieprawdopodobne, aby drewnia-



Foto 2. Zdjęcie dwutlenku węgla w stanie krytycznym („The Video Encyclopedia of Physics Demonstrations” Demo 15-11)

ny ołówek przyśpieszony do dużej prędkości przebił półtora calową płytę ze sklejk. Ale na sfilmowanym eksperymencie widać tak w rzeczywistym, jak i w zwolnionym tempie jak zjawisko to zachodzi („The Video Encyclopedia of Physics Demonstrations” Demo 02-17).

Mimo, że w sieci można znaleźć sporo sfilmowanych eksperymentów, oraz ich animacji, to jednak najbardziej wartościowym doświadczeniem jest własnoręcznie

wykonane i sfilmowane przez ucznia eksperymentu fizycznego. Obecnie można je wykonać korzystając z aparatu, a nawet komórki. We współpracy z nauczycielem informatyki uczniowie mogą następnie filmiki te opracować uzupełniając je komentarzem i ewentualnie animacją.

Doświadczenie pokazowe, podobnie jak każdy eksperyment, uczy pokory. Nie zawsze wynik eksperymentu jest zgodny z oczekiwaniami. Przykładem tu może być publikowany swego czasu w Paris Mach rysunek, gdzie obdarty i osmolony malec mówi do ojca „eksperyment z fizyki się nauczycielowi nie powiódł”.

Przy wyborze rzeczywistych i wirtualnych eksperymentów trzeba zachować umiar, tak, aby ilustrowały one i ubogacały omawiane zagadnienie, nie zaś przekształciły lekcje w cyrk, czy show. Zdaniem autora obecnie zachodzi pilna potrzeba zwiększenia liczby sfilmowanych eksperymentów z fizyki współczesnej zwłaszcza fizyki ciała stałego, nadprzewodnictwa, optyki kwantowej oraz nadciekłości. Materiały te powinny być szeroko rozpowszechnione i ogólnie dostępne.

Andrzej Kuczkowski

Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej
Politechniki Gdańskiej

Przybliżony techniczny wzór na rezystancję zastępczą układu równolegle połączonych oporników

Marian Maciocha

Możliwość wykonania prostych przybliżonych obliczeń dotyczących doświadczeń fizycznych daje nam dwie podstawowe korzyści:

- I Szybko możemy ocenić aktualną sytuację.
- I Łatwo wyeliminujemy błędy grube, które możemy popełnić przy dokładnych obliczeniach.

Oczywiście sposób wykonania prostych przybliżonych obliczeń powinien dawać nie tylko przybliżony wynik, ale również informować nas o błędzie jaki może się pojawić przy tych przybliżonych obliczeniach.

Chciałbym zaproponować pewien sposób na wykonanie prostych przybliżonych obliczeń rezystancji zastępczej układu równolegle połączonych oporników. Dlaczego tylko równolegle połączonych oporników? Otóż dla szeregowo połączonych oporników problem przybliżonego obliczenia rezystancji zastępczej jest bardzo prosty i polega tylko na umiejętności wykonania prostego sumowania algebraicznego. Problem przybliżonego obliczenia rezystancji zastępczej układu równolegle połączonych oporników nie jest już taki prosty.

Rezystancję zastępczą R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach r_1 i r_2 możemy obliczyć korzystając ze wzoru:

$$R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad (1)$$

Do obliczeń przybliżonych zamiast wzoru (1) możemy zastosować wzory (2a) i (2b), które zapewniają znacznie łatwiejsze obliczenia rachunkowe.

Zakładamy, że $r_1 \leq r_2$. Założenie to nie ogranicza ogólności przeprowadzanych rozumowań, oznacza tylko, że gdy rezystancje r_1 i r_2 są różne, to mniejszą z tych dwóch rezystancji oznaczamy przez r_1 , a większą przez r_2 .

Niech $r_1 \leq r_2$.

Jeśli $r_2 \geq 3r_1$, to $R \approx r_1$. (2a)

Jeśli $r_1 \leq r_2 \leq 3r_1$, to $R \approx \frac{r_1 + r_2}{4}$. (2b)

Aby móc zorientować się jak użyteczny mogą być wzory (2a) i (2b) rozwiążemy dwa zadania oraz wyznaczmy względne błędy ΔR obliczenia rezystancji zastępczej R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach r_1 i r_2 z wykorzystaniem wzorów (2a) i (2b). Zobaczmy także skąd biorą się kryteria: $r_2 \geq 3r_1$ oraz $r_2 < 3r_1$.

Zadanie 1:

Obliczyć rezystancję zastępczą R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach $r_1 = 400\Omega$ i $r_2 = 5M\Omega$.

Pierwsze rozwiązanie („według dokładnego wzoru”):

$$R = \frac{400\Omega \cdot 5M\Omega}{400\Omega + 5M\Omega} = \frac{400\Omega \cdot 5000000\Omega}{5000400\Omega} = \frac{5000000\Omega}{12501} \approx 399,97\Omega.$$

Drugie rozwiązanie („według przybliżonego technicznego wzoru”):

$r_1 = 400\Omega$ i $r_2 = 5M\Omega$, więc $r_2 > 3r_1$. Zatem korzystamy ze wzoru (2a): $R \approx r_1 = 400\Omega$.

Zadanie 2:

Obliczyć rezystancję zastępczą R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach $r_1 = 887\Omega$ i $r_2 = 888\Omega$.

Pierwsze rozwiązanie („według dokładnego wzoru”):

Korzystając ze wzoru (1) mamy:

$$R = \frac{887\Omega \cdot 888\Omega}{887\Omega + 888\Omega} = \frac{787656\Omega}{1775} \approx 443,75\Omega.$$

Drugie rozwiązanie („według przybliżonego technicznego wzoru”):

$r_1 = 887\Omega$ i $r_2 = 888\Omega$, więc $r_2 < 3r_1$. Zatem korzystamy ze wzoru (2b):

$$R \approx \frac{r_1 + r_2}{4} = \frac{887\Omega + 888\Omega}{4} = \frac{888 + 888 - 1}{4} \Omega = (444 - \frac{1}{4}) \Omega = 443,75\Omega.$$

Wyznaczymy błędy względne wynikające ze stosowania wzorów (2a) i (2b).

Względny błąd ΔR_a obliczenia rezystancji zastępczej R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach r_1 i r_2 z wykorzystaniem wzoru (2a) wynosi:

$$\Delta R_a = \frac{\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} - r_1}{\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}} = - \frac{r_1}{r_2} \quad (3)$$

Względny błąd ΔR_b obliczenia rezystancji zastępczej R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach r_1 i r_2 z wykorzystaniem wzoru (2b) wynosi:

$$\Delta R_b = \frac{\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} - \frac{r_1 + r_2}{4}}{\frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}} = - \frac{(r_1 - r_2)^2}{4r_1 r_2} \quad (4)$$

Ze wzorów (2a) i (2b) powinniśmy stosować ten wzór, który zapewnia mniejszą wartość bezwzględną błędu względnego, więc wzór (2a) będziemy stosować, gdy: $|\Delta R_a| \leq |\Delta R_b|$.

Zatem dostajemy nierówność:

$$\frac{r_1}{r_2} \leq \frac{(r_1 - r_2)^2}{4r_1 r_2}, \text{ a stąd } r_2 \geq 3r_1.$$

Wzór (2b) będziemy stosować, gdy: $|\Delta R_a| \geq |\Delta R_b|$.

Zatem dostajemy nierówność:

$$\frac{r_1}{r_2} \geq \frac{(r_1 - r_2)^2}{4r_1 r_2}, \text{ a stąd } r_2 \leq 3r_1, \text{ a pamiętając o tym, że}$$

mniejszą rezystancję oznaczyliśmy przez r_1 , a większą – przez r_2 , rozwiązując nierówności to

$$r_1 \leq r_2 \leq 3r_1.$$

Spostrzeżenie 1

Maksymalna wartość bezwzględna względnego błędu obliczenia rezystancji zastępczej R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach r_1 i r_2 z wykorzystaniem wzorów (2a) i (2b) wynosi 1/3, czyli 33,(3)%. Błąd ten popełniamy wtedy i tylko wtedy, gdy $r_2 = 3r_1$.

Spostrzeżenie 2

Korzystając ze wzorów (3) i (4) możemy obliczyć, dla jakich rezystancji r_1 i r_2 wartość bezwzględna względnego błędu obliczenia rezystancji zastępczej R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach r_1 i r_2 z wykorzystaniem wzorów (2a) i (2b) jest mniejsza od 10%:

$$\frac{r_1}{r_2} < 0,1 \text{ lub } \frac{(r_1 - r_2)^2}{4r_1 r_2} < 0,1$$

Rozwiązując powyższe nierówności i pamiętając o tym, że $0 < r_1 \leq r_2$ dostajemy:

Wartość bezwzględna względnego błędu obliczenia rezystancji zastępczej R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach r_1 i r_2 z wykorzystaniem wzorów (2a) i (2b) jest mniejsza od 10%, gdy:

$$0 < r_1 \leq r_2 < \frac{6 + \sqrt{11}}{5} r_1 \approx 1,86r_1 \text{ lub } r_2 > 10r_1.$$

Wniosek

Jeśli $r_2 \in (1,86r_1, 10r_1)$, to wartość bezwzględna względnego błędu obliczenia rezystancji zastępczej R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach r_1 i r_2 z wykorzystaniem wzorów (2a) i (2b) może wynosić od 10% do 33,(3)%.

Spostrzeżenie 3

Korzystając ze wzorów (3) i (4) możemy obliczyć, dla jakich rezystancji r_1 i r_2 wartość bezwzględna względnego błędu obliczenia rezystancji zastępczej R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach r_1 i r_2 z wykorzystaniem wzorów (2a) i (2b) jest mniejsza od 1%:

$$\frac{r_1}{r_2} < 0,01 \text{ lub } \frac{(r_1 - r_2)^2}{4r_1 r_2} < 0,01$$

Rozwiązując powyższe nierówności i pamiętając o tym, że $0 < r_1 \leq r_2$ dostajemy:

Wartość bezwzględna względnego błędu obliczenia rezystancji zastępczej R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach r_1 i r_2 z wykorzystaniem wzorów (2a) i (2b) jest mniejsza od 1%, gdy:

$$0 < r_1 \leq r_2 < \frac{51 + \sqrt{101}}{50} r_1 \approx 1,22r_1 \text{ lub } r_2 > 100r_1.$$

Wniosek

Jeśli $r_2 \in (1,22r_1, 100r_1)$, to wartość bezwzględna względnego błędu obliczenia rezystancji zastępczej R układu równolegle połączonych oporników o rezystancjach r_1 i r_2 z wykorzystaniem wzorów (2a) i (2b) może wynosić od 1% do 33,(3)%.

W następnym numerze

Roboty Leonardo da Vinci w 500 rocznicę śmierci

Kazimierz Mikulski

Nie ma wątpliwości: wielu ludzi uważa, że Leonardo da Vinci był geniuszem. Mimo, że obecnie jest powszechnie uznawany za wielkiego artystę, to jego osiągnięcia w innych dziedzinach są również godne poznania i upowszechnienia. Ważny jest fakt, że był samoukiem w dziedzinach innych niż malarstwo. Jedną z dziedzin, godną przypomnienia jest budowa mechanizmów, pierwowzorów automatów, także programowalnych.



Język angielski a wspomaganie nauki fizyki w szkole podstawowej

Każdy przedmiot charakteryzuje ściśle określona nomenklatura. Opanowanie pojęć, definicji, symboli, jednostek jest integralną częścią nauki. Tak jest zarówno w przypadku przedmiotów humanistycznych, jak i ścisłych.

Na fizyce staramy się poznawać i wyjaśniać zjawiska zachodzące w otaczającej nas przestrzeni. Na początku prowadzimy proste obserwacje topnienia lodu, wrzenia wody, parowania jakiejś cieczy. Jednak po pewnym czasie okazuje się, że sam jakościowy opis procesu nie wystarczy. Zaczynamy zadawać pytania dotyczące wartości temperatury, szybkości poruszania się jakiegoś ciała, ciśnienia jakie panuje w danym pomieszczeniu, wartości natężenia prądu przepływającego przez przewód elektryczny i jego konsekwencji itp. I wtedy dane zjawisko staramy się jak najdokładniej opisać za pomocą cech ilościowych, które później można ująć w matematyczny zapis. Stąd tak często na fizyce wykorzystujemy wzory.

Dzieci już na przyrodzie poznają korelację między przebytą drogą, szybkością i czasem ruchu, czyli zapis $v=s/t$, na matematyce podając masę piszą $m = 2 \text{ kg}$, czas $t = 3 \text{ s}$ itp. Tylko dlaczego czas oznaczamy literą t , a siłę literą F ? Bardzo często z ust uczniów pada takie pytanie.

Naszym wychowankom dużą trudność sprawia opanowanie wzorów, symboli i jednostek. Jednym ze sposobów, który w wielu przypadkach ułatwi im ich zapamiętywanie, jest wprowadzenie angielskich wyjaśnień niektórych wielkości fizycznych.

W szkole podstawowej w klasach IV – VIII uczeń ma tygodniowo trzy godziny języka angielskiego w każdym roku. Fizyka realizowana jest w klasie VII i VIII po dwie godziny w tygodniu. Może warto więc zastanowić się nad korelacją międzyprzedmiotową (realizowaną np. w formie innowacji pedagogicznej), która pomoże poznać angielskie brzmienie wybranych wielkości fizycznych. Dzięki temu uczniowie nie tylko szybciej i przyjemniej będą mogli nauczyć się wzorów, ale również wykorzystają nabyte tą drogą umiejętności, podczas przeglądania anglojęzycznych stron internetowych, artykułów w prasie o tematyce fizycznej.

Zacznijmy tę naukę od podania najczęściej używanych symboli i wzorów. Przygotujmy naszym uczniom ich spis np. w formie tabeli. Nauczyciel języka angielskiego na swoich lekcjach może wprowadzić pisownię i wymowę, a nauczyciel fizyki będzie wskazał wykorzystanie we wzorach. Ułatwi to ich naukę.

Oczywiście musimy uczulić uczniów na to, że nie wszystkie symbole używane we wzorach da się bezpośrednio wyprowadzić z języka angielskiego. Dobrym przykładem będzie oznaczenie długości fali – grecka litera λ (lambda). Historię skrótów literowych niektórych wielkości trudno jest ustalić. I tak np. symbol natężenia prądu (I) został najprawdopodobniej zaczerpnięty od francuskiego określenia *intensité du courant*. W języku



angielskim do jego opisu stosuje się słowo *current* – prąd elektryczny (choć samo natężenie to *intensity*). Ale to są szczegóły, których nie musimy, choć możemy (może któryś wychowanek dzięki temu zechce zgłębić historię odkryć fizycznych), podać. Warto również wspomnieć o tym, że niektóre wielkości mogą posiadać dwa oznaczenia np. symbolem gęstości jest grecka litera ρ (ro) i litera d , pochodząca od angielskiego słowa *density*.

Możemy wprowadzane oznaczenia ograniczyć do niezbędnego minimum i podać je w najczęściej wykorzystywanych wzorach. Angielskie tłumaczenie prezentujemy jeden raz. Gdy poznana wcześniej wielkość pojawi się w nowym wzorze, przypomnijmy uczniom jej znaczenie (np. t - time będzie pojawiało się we wzorze na prędkość, drogę, moc, a F - force – we wzorze na przyspieszenie, pracę, ciśnienie). Nie tylko utwalimy w ten sposób poznane symbole, ale również pokażemy spójność tych wielkości w różnych działach fizyki.

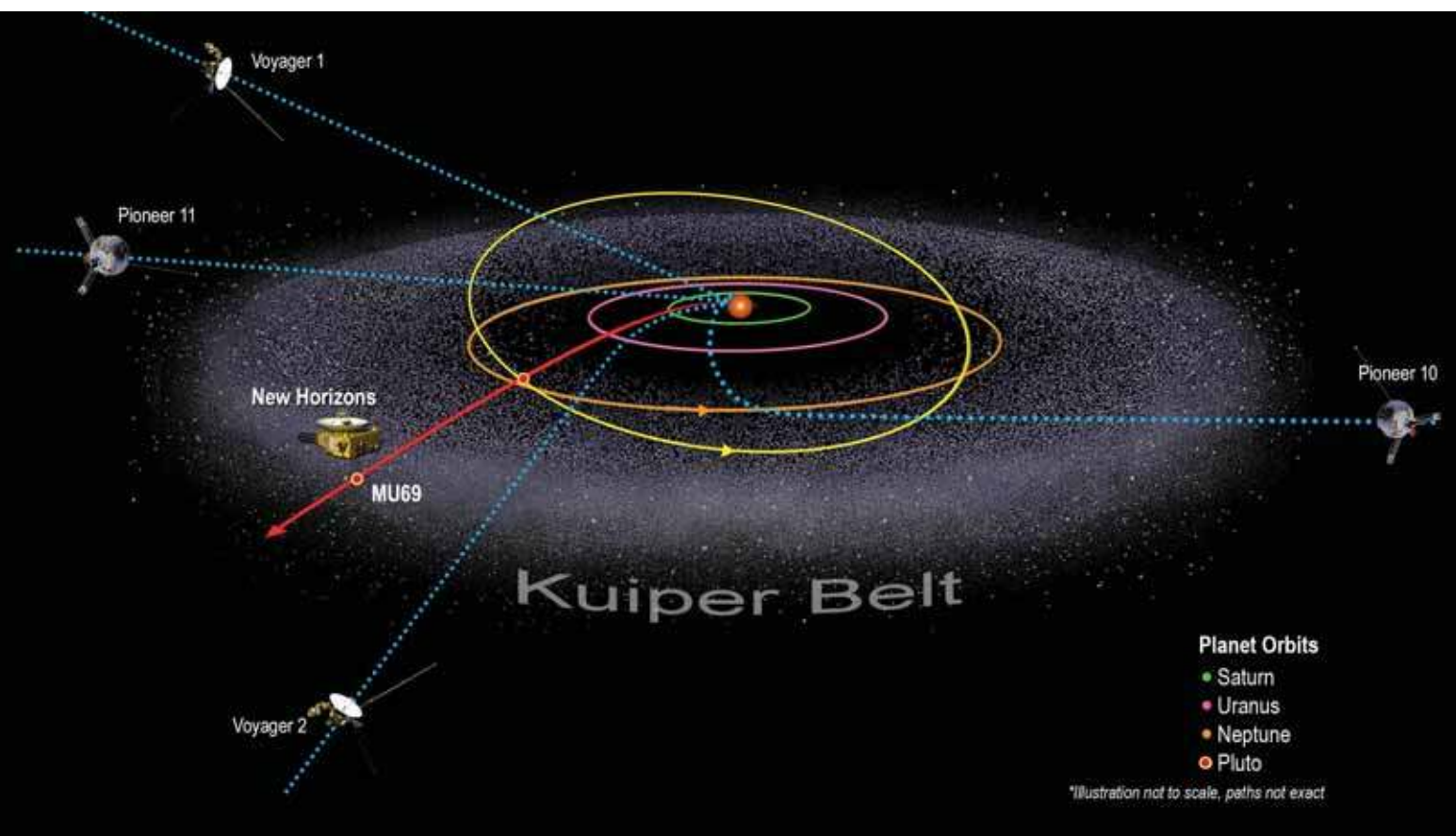
Proszę zwrócić uwagę na to, że tych symboli jest niewiele. Powtarzają się one w kilku działach. Raz opanowane oznaczenie prędkości, czasu, przyspieszenia, siły, masy będzie pojawiało się w licznych wzorach. Dlatego w tabeli nie ma wszystkich wzorów, które podajemy na lekcjach. Bardziej ambitnym wychowankom możemy rozszerzyć angielskie słownictwo fizyczne. Wprowadzenie takich zwrotów jak: *motion* – ruch, *matter* – materia, *resultant force* – siła wypadkowa, *measure* – mierzyć itp. wzbogaci słownictwo fizyczne uczniów i pozwoli im w pełni korzystać z anglojęzycznych pomocy. Zacznijmy jednak od niezbędnego minimum, tak aby przyswajanie przez naszych wychowanków wiedzy było efektywne i szybkie.

Powodzenia.

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

Dla poszczególnych treści podstawy programowej może to wyglądać w następujący sposób:

Wzór	Symbol	Tłumaczenie	Uwagi
Ruch i siły			
$v = s/t$	v – velocity	prędkość	I tu pojawia się problem wynikający z różnicy między prędkością i szybkością, przemieszczeniem i drogą. Sądzę, że uczniowie szczególnie zainteresowani fizyką samodzielnie lub na kole fizycznym spróbują pogłębić swoją wiedzę i rozwikłać tę różnicę. Ponieważ skupiamy się tu na metodach ułatwiających naukę podajmy uczniom, że: s- section (odcinek) d- displacement (przemieszczenie)
	t – time	czas	
$a = \Delta v/\Delta t$	a – acceleration	przyspieszenie	
$a = F/m$	F – force	siła	
	m – mass	masa	
$F_f = F_N \cdot f$	F_f – friction force	siła tarcia	W Polsce siłę tarcia najczęściej oznaczamy symbolem F_t lub T .
	F_N – normal force	siła nacisku	
	f – coefficient of static friction	współczynnik tarcia	
Energia			
$W = F \cdot s$	W – work	praca	
$P = W/t$	P – power	moc	
$E_k = m \cdot v^2/2$	E_k – kinetic energy	energia kinetyczna	
$E_p = m \cdot g \cdot h$	E_p – potential energy	energia potencjalna	
	g – acceleration of gravity	przyspieszenie grawitacyjne	
	h – height	wysokość	
Właściwości materii			
$d = m/V$	d – density	gęstość	
	V – volume	objętość	
$p = F/S$	p – pressure	ciśnienie	
	S – surface area	pole powierzchni	
Zjawiska cieplne			
$c = Q/m \cdot \Delta T$	c – specific heat capacity	ciepło właściwe	
	T – temperature	temperatura	
Elektryczność			
$F = k \cdot q_1 \cdot q_2 / d^2$	k – constant of proportionality (electrostatic constant)	współczynnik proporcjonalności (stała elektrostatyczna)	Bardzo często zamiast symbolu d , oznaczającego odległość między ładunkami, używamy symbolu r .
	q – quantity of charge	ładunek zgromadzony na kuli	
	d – distance between q_1 and q_2	odległość między kulami	
$R = V/I$	R – resistance	opór	W Polsce do oznaczenia napięcia używamy symbolu U , zaś literą V zapisujemy jednostkę napięcia.
	V – voltage	napięcie	
	I – current	natężenie prądu	
Ruch drgający i fale			
$f = 1/T$	f – frequency	częstotliwość	
	T – period of oscillations	okres drgań	
Magnetyzm			
$V_2/V_1 =$ $n_2/n_1 =$ I_1/I_2	V_2 – voltage induced in the secondary coil	napięcie na uzwojeniu wtórnym	
	V_1 – voltage applied to the primary coil	napięcie na uzwojeniu pierwotnym	
	n_2 – number of turns on the secondary coil	liczba zwojów uzwojenia wtórnego	
	n_1 – number of turns on the primary coil	Liczba zwojów uzwojenia pierwotnego	
	I_1 – primary current	natężenie prądu w uzwojeniu pierwotnym	
	I_2 – secondary current	natężenie prądu w uzwojeniu wtórnym	
Optyka			
$P = I/f$	P – optical power	zdolność skupiająca np. soczewki	W Polsce do oznaczenia zdolności skupiającej używamy symbolu Z .
	F – focal length	ogniskowa	



Poddasze Układu Słonecznego – cz. 2.

Foto. NASA

Klasyczne obiekty Pasa Kuipera

Choć wszyscy intuicyjnie rozumieją, o co chodzi, Pas Kuipera jako taki nie ma porządnej definicji. Jednak jest pewna grupa ciał, które są uważane za „klasyczne” jego obiekty.

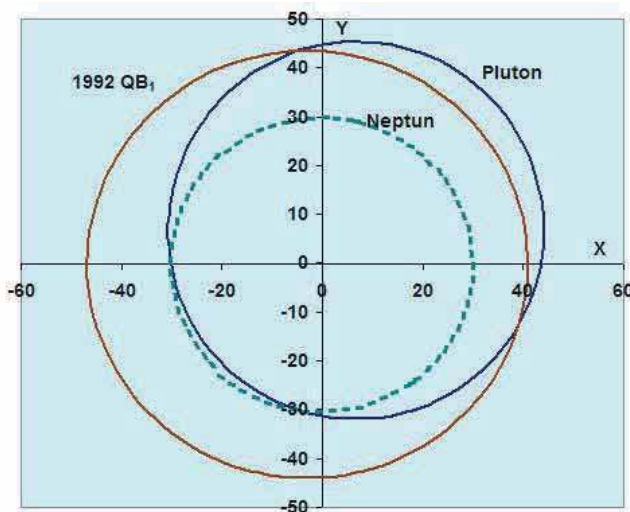
Jan Rokita

Od prowizorycznego oznaczenia pierwszego z nich, **1992 QB₁** (otrzymał potem „oficjalny” katalogowy numer **15760**), a właściwie od jego angielskiej wymowy, wzięła swoją nazwę cała klasa tych obiektów: **cubewano**. Niby, na dobrą sprawę, one też nie są ściśle zdefiniowane, a różne grupy badaczy różnie do nich podchodzą, pewne wspólne elementy z ich opisów da się jednak wysnuć.

Przede wszystkim, **nie podlegają one grawitacyjnemu wpływowi Neptuna**. Chodzi o to, bo cubewano nie są z nim w rezonansie orbitalnym, wielkie półosie ich orbit mieszczą się więc gdzieś między 40 AU (rezonans 2:3, to nasze plutonki), a prawie 50 AU (rezonans 1:2, czyli 1 obieg wokół Słońca asteroidy na 2 obiegi Neptuna, z angielskiego takie asteroidy określane są nazwą **twotino**), dokładną wartość tej górnej granicy (dolną przecież już znamy, to półosie np. Plutona!) może policzyć sobie z III prawa Keplera, rezonansom poświęćmy zresztą jeszcze trochę uwagi później.

Po drugie, **ich orbity mają umiarkowaną, a czasem wręcz małą ekscentryczność** (mimośród orbi-

ty naszego „protoplasty” grupy, to 0,0741). Wreszcie po trzecie: **równie umiarkowane są nachylenia ich płaszczyzn do płaszczyzny ekliptyki** (dla orbity 1992 QB₁ jest to 2,18°, ale nie dla wszystkich są aż tak małe). Oczywiście im większa wielka półosć – tym dłuższy i okres



Porównanie orbity 1992 QB₁ z orbitami Neptuna i Plutona (w płaszczyźnie ekliptyki)

obiegu, więc np. na 1992 QB₁ „rok” trwa $293\frac{1}{3}$ ziemskiego.

Prowadzony w chilijskim obserwatorium Cerro Tololo projekt Deep Ecliptic Survey (mający na celu właśnie poszukiwanie obiektów Pasa Kuipera) używa do określenia wpływu Neptuna tzw. **parametru Tisseranda**, definiowanego za pomocą wzoru:

$$T_N = \frac{a_N}{a} + 2 \cdot \cos i \cdot \sqrt{\frac{a}{a_N} \cdot (1 - e^2)}$$

gdzie a i a_N oznaczają wielkie półosie orbit obiektu i Neptuna, e – mimośród orbity obiektu, zaś i – jej nachylenie do płaszczyzny ekliptyki.

Parametr ten jest chętnie stosowany do opisu wpływu dużych planet na orbity komet i asteroid, dla np. Jowisza trzeba tylko wstawić jego półoś wielką orbity zamiast a_N . DES przyjmuje, że dla obiektów typu cubewano jest $T_N > 3$. Diabeł, jak zwykle, tkwi w szczegółach, i gdy np. DES dopuszcza mimośrodory orbit nie większe od 0,2, to inni do 0,24, nie ma jasno określonych granic ich wielkich półosi orbit itp.

Niezależnie od definicji, za najbardziej wewnętrzne cubewano uważana jest dość duża, prawie 500-kilometrowy planetoida, oznaczana jako **(119951) 2002 KX₁₄**, u której decydującym argumentem jest brak rezonansu orbitalnego z Neptunem, Wielka półoś orbity (39,024 AU) i okres obrotu wokół Słońca (243,78 roku) mają wartości mniejsze,

niż dla plutonków, za to niemal kołowa orbita (mimośród 0,042) leży niemal dokładnie w płaszczyźnie ekliptyki (tworzy z nią kąt zaledwie 0,401°). Za najbardziej zewnętrzne cubewano uchodzi 1500-kilometrowy (to imię męskie!) **Makemake**, także – podobnie, jak Pluton – planeta karłowata. Wielka półoś jego orbity to 45.715 AU, a okres obrotu – 309 lat. Dość duży jest też mimośród (0,156) i nachylenie tej orbity do płaszczyzny ekliptyki (29°).

Do niedawna za cubewano uważana była również trzecia z pozaneptunowych planet karłowatych, **Haumea**, jednak okazało się, że jest w rezonansie orbitalnym 7:12 z Neptunem (czyli w ciągu jej 7 okrążeń wokół Słońca – Neptun wykonuje 12), a jednym z warunków przynależności jest właśnie brak rezonansu. Dlatego opowiemy o niej później, a jest to ciekawy obiekt.

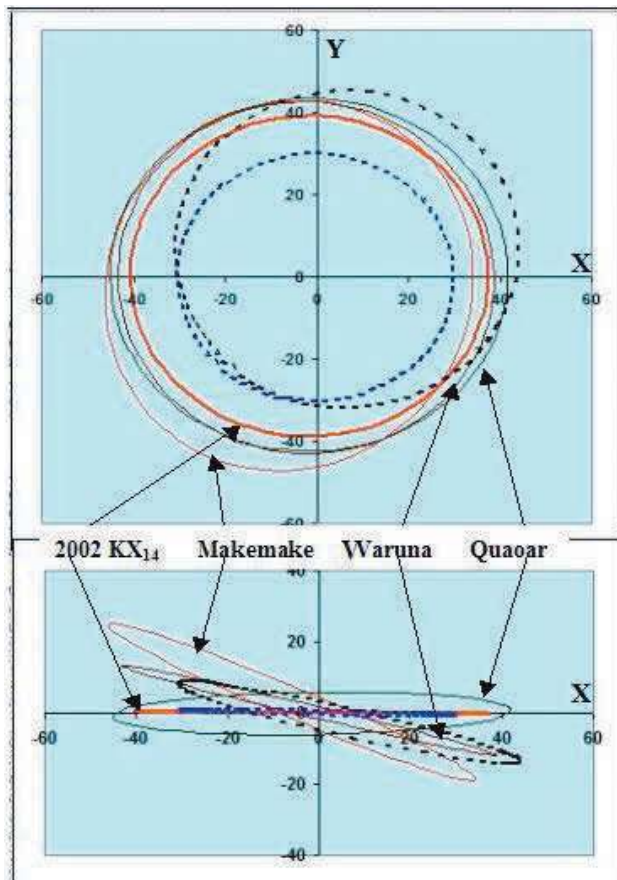
$$\frac{T_N^2}{T_N^2} = \frac{a^3}{a_N^3} \Rightarrow a = a_N \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{T}{T_N}\right)^2} = \begin{cases} 39,4AU & \text{dla } \frac{T}{T_N} = 3:2 \text{ (plutonki)} \\ 47,7AU & \text{dla } \frac{T}{T_N} = 2:1 \text{ (twotina)} \end{cases}$$

Matematycznie więc rzecz biorąc, dolną i górną granicę obszaru cubewano obliczymy z III prawa Keplera. Jeśli przez a_N oznaczymy wielką półoś orbity Neptuna (30,068 AU), przez a – obiektu, a przez T_N i T ich okresy obrotu, to mamy

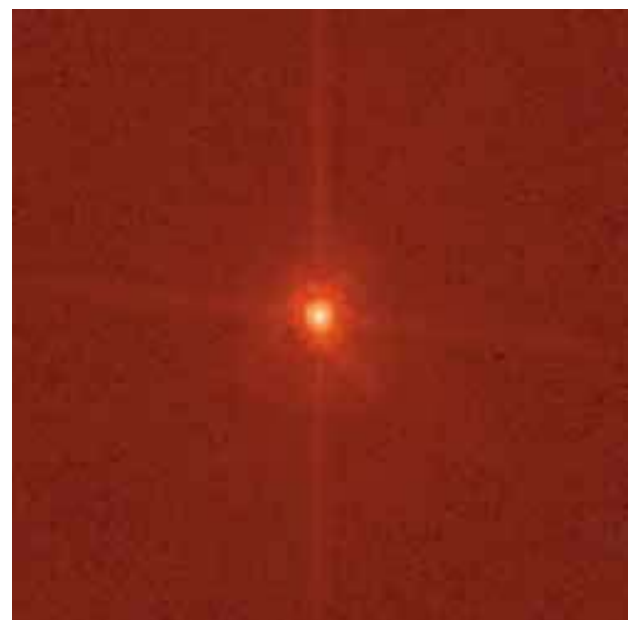
O ile więc Makemake ledwo-ledwo, ale się w tych granicach mieści, o tyle 2002 KX₁₄ – niekoniecznie. Ale skoro nie jest w rezonansie z Neptunem i ma taką ładną orbitę... Część badaczy chce za klasyczne obiekty Pasa Kuipera uważać te, które się w tym przedziale mieszczą, bliższe (jak nasz 2002 KX₁₄) za elementy **wewnętrzne** Pasa Kuipera, a te, dla których $a > 48$ AU (czyli już poza rezonansem 1:2) – **zewnętrznego**.

Zimne i gorące cubewano

Generalnie – im większa jest półoś wielką orbity, tym większy rozrzut (i większa średnia wartość) mimośródów i nachyleń orbit do płaszczyzny ekliptyki. Jest wręcz tak, że im większa odległość od Słońca, tym te orbity o małym nachyleniu trudniej znaleźć.



Porównanie orbit 2002 KX 14 i trzech największych cubewano z orbitami Neptuna i Plutona (linie przerywane) w płaszczyźnie ekliptyki i płaszczyźnie do niej prostopadłej. Wyraźnie widać, do której populacji należy który obiekt.



Makemake na zdjęciu z teleskopu Hubble'a.

Astronomowie dzielą cubewano na dwie populacje: „zimną”, której członkowie mają orbity niemal kołowe i bardzo bliskie płaszczyzny ekliptyki, oraz „gorącą” – o orbitach bardziej ekscentrycznych i bardziej odchylnych. 2002 KX₁₄ i 1992 QB₁ są typowymi przedstawicielami populacji zimnej, a Makemake – gorącej. Nie chodzi tu jednak o ich temperatury, bo te są jednakowe i bardzo niskie („pi razy oko” 40K): mówi się, że są zimne lub gorące **dynamicznie** i – jak się powszechnie sady – wiąże się to z ich przeszłością.

Obiekty „zimne” (około 2/3 elementów Pasa Kuipera) mają mimośrodory orbit nie większe od 0,1, a kąty nachylenia do ekliptyki od 5°, więc tworzą istotnie wąski i stonkowo cienki pas, natomiast „gorące” – raczej torus. Znacznie więcej tych pierwszych ma satelity (przy tym różnice mas w takich układach są większe dla gorących cubewano), a co najbardziej istotne – różnią się barwą: zimne są bardziej czerwone, niż szare. To wyraźna wskazówka, że powstawały, u zarania historii Układu Słonecznego, w różnych jego rejonach: „zimne” tam, gdzie są dzisiaj, a „gorące” bliżej Słońca, skąd zostały wyrzucone przez migrujące planety, głównie – oczywiście – Jowisza. Potem ich orbity zostały zmodyfikowane przez Neptuna (który, podobnie jak Uran, powstał jakieś 15-20 AU od Słońca – i to Uran był wtedy dalej!).

Sam Pas Kuipera też miał być początkowo bliżej Słońca, w odległości 30 AU była jego **zewnętrzna** granica. Zmienił to, wyrzucając asteroidy na zewnątrz, a nawet „łapiąc” w rezonanse, wędrujący od Słońca Neptun. Tak przynajmniej twierdzi model. Choć jednak sporo rzeczy udało mu się wyjaśnić (owe „zimną” i „gorącą” populację cubewano, czy obiekty w rezonansie 2:5 z Neptunem), w 2015 roku pojawił się jeden artykuł, wnoszący do niego poprawki i jeden twierdzący, że jest błędny. Dla nas migracja planet była zaś o tyle ciekawa, że wywołała Wielkie Bombardowanie (woda na Ziemi!) i właśnie w tamtym okresie, wskutek zaburzeń grawitacyjnych lub jakiegoś zderzenia, o milimetry zmieniła się trajektoria dość dużej komety. Prawie 4 miliardy lat później ta kometka położyła kres erze panowania dinozaurów...

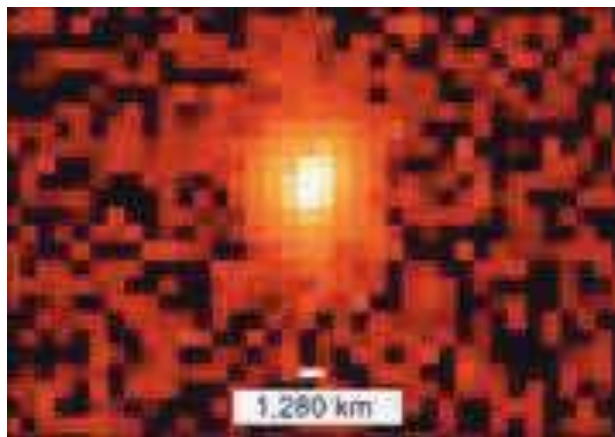
Transneptunowy Makemake

Szary kolor gorących cubewano kojarzy się z zabrudzonym, wodnym lodem z ewentualnymi domieszkami (azot, amoniak, krzemiany...), czerwony zaś „zimnych” od razu – i słusznie, jak pokazała sonda New Horizons – także z węglem (a właściwie z sadzą), lodem metanowym i prostymi węglowodorami, łączącymi się pod wpływem promieniowania UV w bardziej złożone (to właśnie tholiny Carla Sagana). Wydaje się potwierdzać to i fakt, że te „gorące” mają na ogół wyższe albedo (na przykład Makemake aż 0,81, przy zaledwie 0,07 1992 QB₁), a potwierdzają na pewno – badania widmowe.

Wśród cubewano znajdziemy kilka ciekawych i dość dużych obiektów, nawet takich, które w przyszłości mogą zostać zaklasyfikowane jako planety karłowate. Największy, **Makemake** już nią jest. Może nieco zaskakiwać fakt, że ciało tylko 5-krotnie słabsze od Plutona odkryto dopiero w 2005 roku (jego prowizoryczne oznaczenie, to 2005

FY₉), podczas, gdy wcześniej znaleziono sporo jeszcze słabszych obiektów Pasa Kuipera. Co więcej, w 1930 roku, mając jasność +16,5^m (obecnie około +17^m) i przebywając ledwie kilka stopni od ekliptyki, na granicy Byka i Woźnicy, był w zasięgu możliwości obserwacyjnych Clyda Tombaugh, polującego akurat na Plutona. Niestety, tak naprawdę, nie bardzo wiedział on wtedy, czego szuka, a do tego przez ten obszar nieba przebiega Droga Mleczna z milionami gwiazd o porównywalnym blasku. Tombaugh był praktycznie bez szans. W dniu odkrycia Makemake przebywał na tle... Warkocza Bereniki (pamiętamy przecież, że płaszczyzny jego orbity i ekliptyki tworzą kąt 29°). Jest coraz słabszy, ponieważ powoli zbliża się do aphelium swej orbity (52,8 AU od Słońca) i osiągnie je w 2033 roku.

Jest, na dzień dzisiejszy, trzecim co do rozmiarów i masy (szacunki mieszczą się w przedziale od 1/6 do 2/5 masy Plutona) obiektem transneptunowym: średnicę rów-



Quaoar – obraz uzyskany z HST.

nikową oceniono, jak podaje angielska Wikipedia, na 1502 km, a biegunową na 1430 km (plus-minus błędy pomiarowe), jest więc to trójosiowa elipsoidalna z najdłuższą osią równikową. To nie może zaskakiwać, bo Makemake dość szybko rotuje: raz na 7 godzin i 46,5 minuty. W ocenie rozmiarów pomogły m.in. zakrycia słabszych gwiazd, a rotacji – krzywa blasku. Badania widmowe pozwoliły zaś ustalić, że na czerwonej powierzchni jest metan – podobnie, jak np. na Plutonie. Analizy w podczerwieni wskazują na to, że występuje on m.in. w postaci... przynajmniej centymetrowych ziaren. Powierzchnia ta nie jest przy tym jednorodna: są miejsca o albedo aż 0,9, ale i takie od 0,02 (czyli prawie czarne!) do 0,12.

Na tej powierzchni stwierdzono też obecność azotu, więc spodziewano się śladowej azotowej atmosfery, podobnie, jak na Plutonie. Tymczasem blask zakrywanych podczas okultacji gwiazd gasł natychmiastowo, bez fazy osłabienia, wywołanego przechodzeniem ich światła przez gazową otoczkę, jeśli więc na Makemake istnieje jakakolwiek atmosfera, to jej ciśnienie nie osiąga poziomu nanobarów. Możliwe, że pojawia się – wskutek sublimacji azotowego lodu – w pobliżu peryhelium. Duże ilości azotu są też wtedy tracone w efekcie ucieczki w kosmos, stąd i jego obserwowana ilość jest sporo mniejsza, niż na powierzchni Plutona czy neptunowego Trytona.

Jako jeden z niewielu dużych obiektów transneptunowych, Makemake nie ma satelitów. Między innymi dlatego trudno jest doprecyzować wartość jego masy.

Obliczono, że z wykorzystaniem asysty grawitacyjnej Jowisza możliwe byłoby zrealizowanie misji automatycznej sondy do Makemake. Lot rozpoczęty między 21 sierpnia 2024, a 24 sierpnia 2036 potrwałby 16 lat, a kiedy sonda by dotarła, ta karłowata planeta byłaby około 52 AU od Słońca. Byłoby niezwykle ciekawe zbadać tak odległy obiekt.

Inne planetoidy

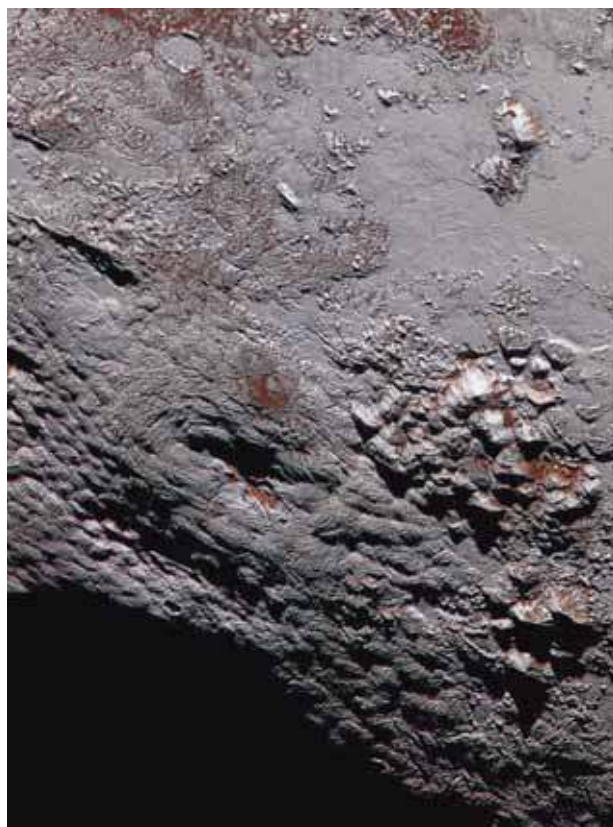
Duża, ale też i sporo mniejsza od Makemake, ze średnicą szacowaną na 668 km i masą 33 razy mniejszą od plutonowej, jest **20000 Waruna**. Swój „okrągły” numer katalogowy zawdzięcza faktowi, że (podobnie, jak **50000 Quaoar**, o którym opowiemy dalej) w momencie odkrycia była największym znanym cubewano. Okrążyła ona Słońce raz na 281 lat po orbicie o wielkiej półosi prawie 43AU, zorientowanej w przestrzeni bardzo podobnie do orbity Plutona (patrz drugi rysunek w tym rozdziale).

Bardzo szybka rotacja (raz na $6\frac{1}{3}$ godziny) sprawia, że planetoida jest silnie spłaszczona, a do zmian jej blasku najlepiej pasuje model elipsoidalny o średnicach a i b w płaszczyźnie równikowej i c w kierunku biegunów, dla której $b/a = 0.63-0.80$, $c/a = 0.45-0.52$, jest to więc glob bardzo spłaszczony. I to pewnie dlatego na podstawie obserwowanego w obserwatoriach brazylijskich zakrycia przez Warunę pewnej gwiazdy 11-ej wielkości, oceniono jej rozmiary na 1003 km.

Chłodna (41-43K), umiarkowana czerwona powierzchnia wydaje się bardzo jednorodna. pokryta mieszaniną bezpostaciowych krzemianów (25%), złożonych związków organicznych (35%), amorficznego węgla (15%) i wody (25%). Jednak możliwy jest także udział 10% lodu metanu. Dla dość lekkiego obiektu z charakterystyką Waruny, jeśli się to potwierdzi, to nie może być metan pierwotny, więc trzeba będzie jakoś wytłumaczyć jego obecność na powierzchni. Jakies zderzenie?

Ocenia się jako wysoce prawdopodobne, że asteroida, nazwana imieniem boga oceanów i deszczu (czyli w ogóle wód, taki trochę odpowiednik Posejda i Neptuna), jednego z najważniejszych w hinduizmie, wkrótce zostanie przekwalifikowana do grona planet karłowatych. Wspomniany już **50000 Quaoar**, noszący imię boga-stwórcy w mitologii Indian Tongva (od 8000 lat zamieszkujących okolice dzisiejszego Los Angeles i, być może, pochodzących od samych Azteków), jest jeszcze większy: jego średnicę ocenia się na około 1100 km, więc to też poważny kandydat na kolejną planetę karłowatą. Choć „oficjalnie” odkryty w 2002 roku (prowizoryczne oznaczenie – to **2002 LM₆₀**), został wcześniej rejestrowany na zdjęciach już w roku 1954. Takie odnajdywania na zdjęciach sprzed lat jest zresztą wcale nie tak wyjątkowe w przypadku obiektów transneptunowych.

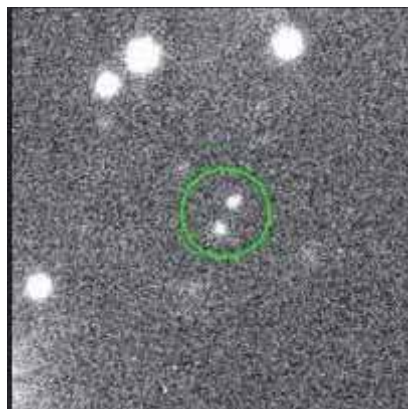
Jego średnica jest połową średnicy Plutona (tylko trochę mniejsza, niż Charona), masa również jest porównywalna z masą Charona (stanowi jej $\frac{8}{9}$). Gęstość, szacowana na około 2 g/cm^3 , wydaje się typowa dla obiektów z tamtych okolic. Choć wielka półoś orbity 43,4 AU jest większa od plutonowej, dzięki niewielkiemu mimośro-



Ciemna, okrągła dziura w plutonowych Górach Wrighta, to może być kriowulkan. Jego długość – to 150 km, a wysokość 2,5.

dowi około 0,04) przez część swego, trwającego 286 lat obiegu przebywa on bliżej Słońca od Plutona. Wiruje stosunkowo wolno: raz 17 godzin i 16,5 minuty i zapewne dlatego jego krzywa zmian blasku wskazuje na kształt niemal bardzo zbliżony do sferycznego.

Powierzchnia jest oczywiście bardzo zimna (ok. 43K), czerwonawa i pokryta m.in. lodem wodnym. Średnie albedo, szacowane na 10% może jednak sugerować, że w przeciwieństwie niektórych do innych dużych obiektów Pasa Kuipera, Quaoar nie utrzymał do czasów współczesnych wewnętrznego oceanu ciekłej wody, w przeciwnym bowiem wypadku powierzchniowy lód mógłby stale być odświeżany i albedo byłoby wyższe (lód krystaliczny znacznie lepiej odbija światło, niż forma amorficzna). Dlatego też badacze byli zaskoczeni, gdy w widmie asteroidy znaleźli w 2006 r. ślady... lodu krystalicznego, co wydaje się świadczyć o kriowulkanizmie, powstaje



2001 QW322, niezwykle rozległy układ podwójny. Zdj. Gemini Observatory.

więc pytanie o źródło energii dla tego zjawiska. Czyżby jakieś rozpady radioaktywne? Planetoida posiada niby własny księżyc (nazwany **Weywot**, od imienia syna Quaoar'a w mitologii Indian Tongva), obiegający go niesynchronicznie z rotacją ciała centralnego (raz na prawie 12,5 dnia) i dość blisko (w odległości 14,5 tysiąca km), jednak mimośród jego orbity nie jest zbyt duży (0,14), a rozmiary niezbyt imponujące (średnica – to około 80 km), czy więc byłby zdolny do takiego grzania pływowego lodów Quaoar'a, by aż wywołać kriowulkanizm? A jak taki kriowulkanizm może wyglądać, pokazują zdjęcia, przekazane z Plutona przez sondę New Horizons (patrz obrazek obok).

Tak, czy inaczej, przekwalifikowanie globu o wielkości Quaoar'a na planetę karłowatą w niezbyt odległej przyszłości wydaje się niemal pewne. Rozważano go jako cel misji bezzałogowej sondy, która z wykorzystaniem asysty grawitacyjnej Jowisza miałaby tam dotrzeć po nieco więcej, niż 13,5 roku. Jeden z możliwych terminów startu, był w grudniu 2016 r., kolejny – najwcześniej w 2027, wydaje się więc, że na razie to rozważania czysto teoretyczne.

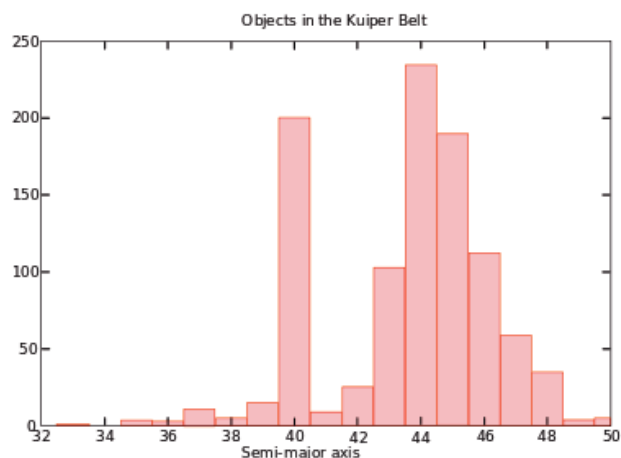
Kandydaci na planetę karłowatą

Tylko niewiele mniejsza od Quaoar'a jest **120347 Salacia**, o średnicy około 850 km. Z wielką półosią orbity niemal 42 AU i jej nachyleniem do płaszczyzny ekliptyki aż 23,9°, przez jednych zaliczana jest do „gorących” cubewano, a przez innych do obiektów **dysku rozproszonego**, o którym będzie dalej. Ma satelitę dużo lżejszego od siebie (96% masy układu stanowi sama Salacia), co też jest typowe dla obiektów o znacznie odchylnych od ekliptyki orbitach. Obiega on ciało centralne raz na 5,5 ziemskiej doby, dużo wolniej niż okres rotacji samej planetoidy (6 godzin i 5,5 minuty), w średniej odległości około 5600 km i wydaje się dość duży (286 km średnicy).

Obecnie to najciaśniejszy ze znanych pozaneptunowych układów podwójnych. Obydwa składniki, sadząc na podstawie widm, mają podobne powierzchnie (pokrycie lodem wodnym w mniej, niż 3%, reszta – to lody innych substancji), Salacia wydaje się posiadać skalne, dość porowate jądro, zajmujące 40 do 65% jej średnicy) i płaszcz z wodnego lodu (jego grubość zależy od przyjętego w modelu stopnia porowatości tego lodu). Więcej powinniśmy się dowiedzieć dzięki jej zakryciom przez satelitę, niestety dla nas – pierwsze nastąpi w 2067 roku. Tak, czy inaczej – to kolejny kandydat na planetę karłowatą.

Następny – to ponad 700-kilometrowa **174567 Varda**, której satelita jest tylko o połowę mniejszy od niej. Ponad 600 km średnicy ma **19521 Chaos**, obiegający Słońce w dostojnym tempie raz na 309 lat w średniej odległości 45,6 AU – i jest tam jeszcze kilka cubewano o może nie tak dużych, ale wciąż znacznych wymiarach.

My wymienimy tu jeszcze tylko niezwykle ciekawą planetoidę podwójną **2001 QW₃₂₂**, ekstremalnie rozległy układ o odległości składników 105-135 tysięcy km i okresie wzajemnego obiegu, szacowanym – uwaga! – na 25-30



Ilość obiektów Pasa Kuipera w zależności od odległości od Słońca. Klif Kuipera, to ich gwałtowny zanik około 48,5 AU. „Pik” około 40 AU – to plutonki.

lat. Takie parametry czynią go bardzo podatnym na wszelkie zewnętrzne zakłócenia, dlatego uważa się, że może się rozpaść w czasie rzędu miliarda lat. Jego składniki o porównywalnych rozmiarach (plus-minus 130 km średnicy) nazwano, od imion dwóch bliźniaków z szekspirowskiej „Komedii omyłek”, Antipholus i – co za niespodzianka! – Antipholus.

Równie interesujący, choć złożony ze względnie małych składników (80 i 66 km) układ podwójny stanowi **59534 Logos**. Obiegają się one w średniej odległości nieco ponad 8200 km raz na około 310 dni po orbicie o znacznym mimośrodku 0,546 (czyli raz na niemal ziemski rok!) i mają wysokie, niemal jednakowe albedo (odpowiednio 0,39 i 0,45). Z wokółsłoneczną orbitą o półosi wielkiej 45,1 AU, okresem obiegu prawie 303 lata, mimośrodem 0,12 i nachyleniem do płaszczyzny ekliptyki 2,9°, ten układ podwójny stanowi ładny przykład „zimnego” cubewano.

Kolejna duża, około 750-kilometrowa asteroida, w przyszłości też zapewne planeta karłowata, (**55565 2002 AW₁₉₇**) jest interesująca również dlatego, że mając wielką półosi orbity o wartości 47,3 AU obiega Słońce bardzo blisko **Klif Kuipera**, czyli miejsca, gdzie liczebność pozaneptunowych obiektów gwałtownie spada.

No i na koniec musimy wymienić asteroidę **2014 MU₆₉**. Nie jest może zbyt duża (średnica – to jakieś 45 km), za to **stanowi kolejny cel sondy New Horizons**.

Ten króciutki przegląd obiektów cubewano skończył, żeby nie było zbyt różowo, wspomnieniem asteroidy **1995 GJ**, pierwszą, dla której stwierdzono kąt płaszczyzny orbity względem płaszczyzny ekliptyki większy, niż 20°. Po 6 obserwacjach w ciągu dwóch nocy (3 i 4 kwietnia 1995 r.) obiekt został zgubiony... Można by oczywiście napisać i dużo więcej, ale ewentualnym chętnym polecam wpisanie w wyszukiwarkę hasła np. „category cubewano”, czy po prostu „cubewano” i na różnych stronach internetowych Czytelnicy sami znajdą odpowiednie odnośniki. Podajmy tylko jeszcze, że na 15 lutego 2015 r. sklasyfikowanych było 596 pewnych i 218 prawdopodobnych cubewano.

Ziemia, planeta wyjątkowa – cz. 9

Bilans energetyczny Ziemi

Zbigniew Wiśniewski

Jednym z ważniejszych uwarunkowań rozwoju życia jest to, aby równowaga energetyczna utrzymywała się na odpowiednim poziomie. Ustalenie się równowagi jest wynikiem równoważenia się dwóch strumieni. Pierwszym strumieniem jest strumień energii przychodzącej a drugim strumień energii emitowanej. Aby znaleźć informacje na temat bilansu energetycznego Ziemi obecnie używa się technik satelitarnych. Pozwalają one monitorować zarówno ilość ciepła, jakie Ziemia otrzymuje od Słońca, jak i ilość ciepła, jakie Ziemia emituje. Za pomocą technik satelitarnych dostajemy informacje nie tylko o ilości otrzymywanego promieniowania, ale i o jego rozkładzie.

Źródła energii

Podstawowym źródłem energii, jaką otrzymuje powierzchnia i atmosfera naszej planety jest Słońce. Słońce możemy opisać jako ciało doskonale czarne o temperaturze 5778 K. Gęstość mocy dostarczanej przez Słońce w rejon Ziemi wynosi 1361 W/m^2 . 46% tego promieniowania jest dostarczane pod postacią promieniowania widzialnego, 47% pod postacią promieniowania podczerwonego, 7% pod postacią promieniowania nadfioletowego (Chromow 1973).

Powierzchnia Ziemi jest czterokrotnie większa niż powierzchnia jej przekroju więc na jednostkę powierzchni Ziemi pada średnio 340 W/m^2 . Wartość tę wyznaczył w 1835 roku J. Herschel. Z tej liczby przeciętnie 100 W/m^2 jest natychmiast odbijanych. Albedo Ziemi wynosi około 0.3. Wynika ono głównie ze składu chemicznego substancji stanowiących powierzchnię Ziemi a właściwie jej koloru. Ponieważ Ziemia stanowi najbardziej zróżnicowaną pod tym względem planetę w Układzie Słonecznym, również albedo jest silnie zróżnicowane. Największe wartości albedo wystąpią w rejonach pokrytych śniegiem. Z tego wynika, że okolice biegunów szczególnie niechętnie absorbują promieniowanie elektromagnetyczne. W skutek absorpcji promieniowania Ziemia sama zaczyna promieniować i średnia emisja z powierzchni wynosi 240 W/m^2 . Ziemia promieniuje mniej więcej jak ciało doskonale czarne z temperaturą emisyjną 254.5 K. Czyli znacząco niższą niż średnia temperatura powierzchni Ziemi. Podane tu wartości są wartościami uśrednionymi dla całej planety. Zmiana temperatury emisyjnej pociąga za sobą zmianę długości fali, dla której obserwujemy maksimum emisji. Ta zmiana skutkuje tym, że promieniowanie emitowane przez Ziemię jest w dużej części z powrotem emitowane ku Ziemi, o czym za chwilę.

Na powierzchnię Ziemi padają dwa rodzaje promieniowania. Promieniowanie bezpośrednie i promieniowanie rozproszone. Bezpośrednie to te, które nie uległo rozproszeniu w drodze przez atmosferę. Promieniowanie rozproszone, jak nietrudno się domyślić to takie, które takiemu

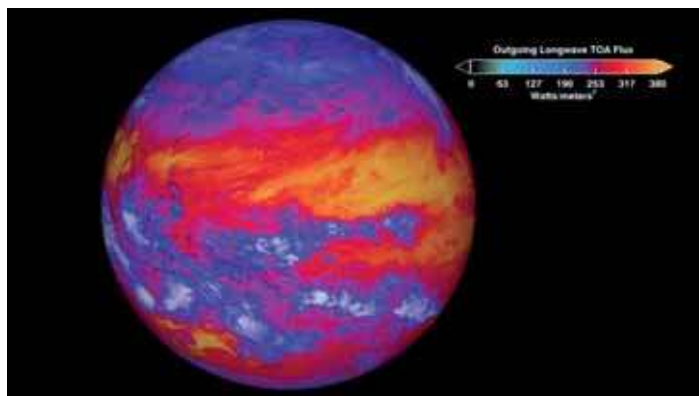


Fig. Emisja ciepłą z powierzchni Ziemi źródło Wikipedia NASA.

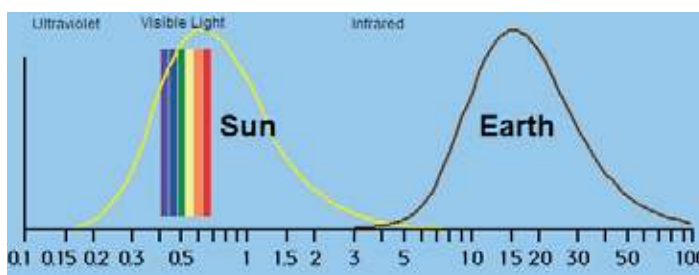


Fig Emisja fal elektromagnetycznych Ziemi i Słońca: <http://www.oocities.org/marie.mitchell@rogers.com/GreenhouseEffect.html>.

zjawisku uległo. Wielkość tego promieniowania zależy po pierwsze od szerokości geograficznej, po drugie od składu atmosfery, a w szczególności zawartości w niej aerozoli.

Emitowane fale z powierzchni Ziemi mają inny rozkład niż te otrzymywane ze Słońca. W wyniku tego większość fal padające na powierzchnię Ziemi nie są w przeważającej części odbijane w kosmos. Fale emitowane z powierzchni Ziemi są z kolei w większości pochłaniane i reemitowane lub odbijane w stronę powierzchni Ziemi, co stanowi istotę efektu cieplarnianego. Za efekt cieplarniany odpowiedzialny jest nie tylko dwutlenek węgla, lecz też i para wodna.

Zróżnicowanie równoleżnikowe

Należy pamiętać o dużym zróżnicowaniu powierzchni Ziemi oraz o różnicy w ilości ciepła napływającego nad tereny podbiegunowe i podzwrotnikowe.

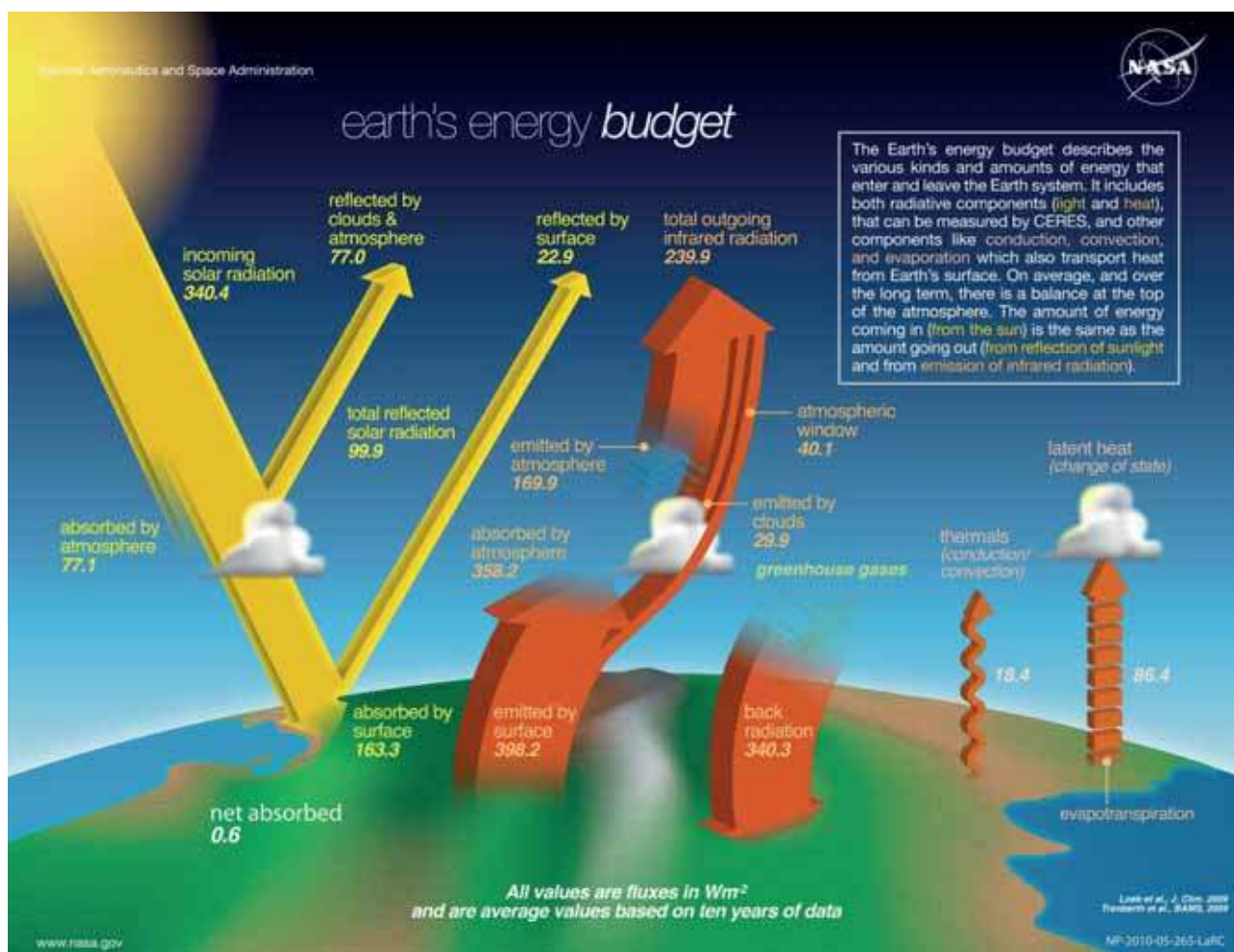
Natężenie promieniowania padającego bezpośredniego na powierzchnię nachyloną pod kątem α do pionu wynosi

$$I = I_0 \cos(\alpha).$$

Choć tak naprawdę lepiej się posługiwać wysokością Słońca nad horyzontem i wtedy powyższy wzór będzie miał postać

$$I = I_0 \sin(h).$$

Ponieważ tereny podzwrotnikowe leżą „najbardziej prostopadle” do kierunku padającego Słońca to one dostają największą porcję energii. Tereny podbiegunowe dostają znacznie mniej, bo kąt alfa jest duży. Rozkład promie-



Rys. Bilans energetyczny Ziemi NASA. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The-NASA-Earth%27s-Energy-Budget-Poster-Radiant-Energy-System-satellite-infrared-radiation-fluxes.jpg>

niowania całkowitego nie jest jednak równoleżnikowy. Znaczące odchylenia są spowodowane głównie obecnością aerozoli w atmosferze, w szczególności kroplel pary wodnej tworzącej chmury. Innym źródłem cząstek tworzących aerozol są wulkany. Silne erupcje wulkaniczne będące źródłami pyłów potrafią znacząco wpłynąć na bilans energetyczny Ziemi. Ekstremalnym przykładem takiego zjawiska są wybuchy tzw. superwulkanów, które to zjawiska mają miejsce raz na kilkanaście tysięcy lat. Po takim wybuchu następuje kilkuletni okres znacznego obniżenia temperatury. Przykładem takiego superwulkanu, który tylko czeka, aby eksplodować jest superwulkan pod parkiem Yellowstone. Innym źródłem pyłów atmosferycznych są pustynie. Oczywiście nie możemy też zapomnieć o emisji spowodowanej działalnością człowieka. W tym przypadku mamy do czynienia z bardzo ciekawym zjawiskiem wzajemnego znoszenia się efektów. Otóż emisja dwutlenku węgla będąca wynikiem działalności człowieka wpływa dodatnio na temperaturę, a emisja pyłów ujemnie.

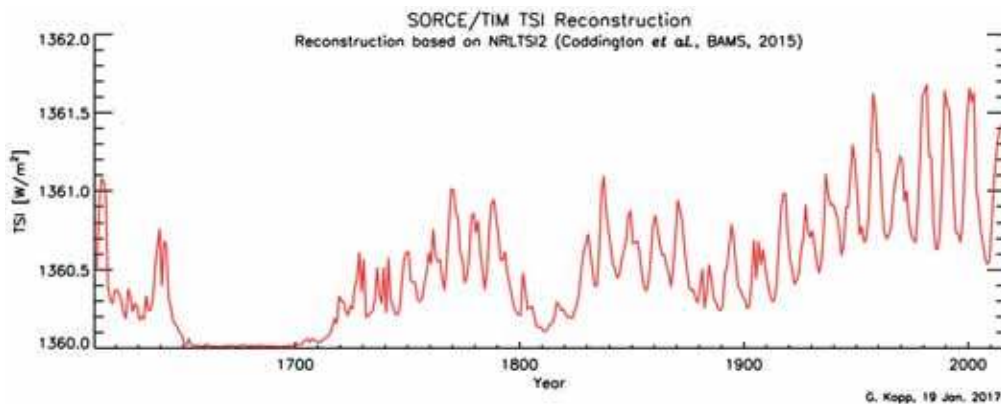
Ziemiński silnik cieplny

Rozważając bilans cieplny Ziemi nie można pominąć faktu, że Ziemia posiada atmosferę, w której zachodzi konwekcyjny transport gazów. Dzięki temu ciepło jest

przenoszone z mocniej nagrzewanych rejonów do słabiej nagrzewanych rejonów. Czasami do opisu tego procesu używa się określenia ziemski silnik cieplny. Prowadzi on do wyrównywania temperatur a tym samym do zmiany ilości energii emitowanej przez Ziemię, ponieważ ilość energii emitowanej przez jednostkę powierzchni jest proporcjonalna do czwartej potęgi temperatury. Do czego prowadziłyby brak takiego mechanizmu możemy się przekonać obserwując Merkurego, gdzie występują obok siebie rejony o temperaturze powyżej 100 °C i tereny z wiecznym śniegiem.

W wyniku występowania silnika cieplnego tereny podzwrotnikowe emitują mniej ciepła niż dostają. Tereny podbiegunowe więcej. Do pełnego uwzględnienia bilansu cieplnego Ziemi konieczne jest uwzględnienie jeszcze ciepła, które jest dostarczane z jej wnętrza. W obecnych czasach wynosi jest to 0.087 W/m². Stanowi to 0.027% wartości strumienia energii dostarczanego do powierzchni Ziemi. Działalność człowieka dostarcza jeszcze mniej, bo nie więcej niż 0,01% strumienia energetycznego. Dużo ważniejszym procesem z punktu widzenia bilansu energetycznego Ziemi jest fotosynteza, który to proces wiąże ok 2% padającego promieniowania słonecznego.

Warto tu zaznaczyć, że Słońce jest dość kapryśnym źródłem energii. Słońce zmienia ilość emitowanej ener-



Rys. Zmiana stałej słonecznej w ciągu ostatnich 300 lat.
Źródło DOI: 10.1007/s11207-016-0853-x
<http://lasp.colorado.edu/home/sorce/data/tsi-data/>

gii zarówno w krótkich, jak i bardzo długich okresach. W czasach, kiedy powstawała Ziemia moc promieniowania Słońca była o 30% niższa. Powstaje pytanie – jak w takich warunkach mogło pojawić się i przetrwać życie? Otóż pierwotna ziemska atmosfera zawierała znacznie więcej dwutlenku węgla. Efekt cieplarniany był więc znacznie silniejszy. Istnieje też hipoteza, że życie nie pojawiło się w proceanie, lecz w okolicach tzw. kominów termalnych stanowiących lokalne źródło ciepła.

Obecnie wartość stałej słonecznej też się waha. Te właśnie zmiany są jedną z przyczyn zlodowaceń. W krótszym okresie zmienność ta wynosi 11 lat i jest skorelowana z ilością plam słonecznych (Domański 2013). Co więcej w ciągu ostatnich 300 lat zaobserwować można jej pewien wzrost.

Przedstawione tu wielkości mają znaczenie nie tylko z punktu widzenia teorii, lecz także z punktu widzenia prognozowania zmian klimatu. Brak równowagi pomię-

dzy ciepłem otrzymywanym i emitowanym prowadzi do zmian temperatury Ziemi, czyli globalnego ocieplenia lub oziębienia. Według pracy Stephens, L'Ecuyer (Stephens, L'Ecuyer 2015) Ziemia obecnie nie jest w równowadze cieplnej, gdyż nadwyżka absorbowanego ciepła nad emitowanym wynosi $0.6 \pm 0.4 \text{ W/m}^2$. Taka nadwyżka ciepła najpierw pobierana jest przez oceany a następnie oddawana atmosferze. Wspomniany proces długofalowo prowadzi do ocieplania atmosfery.

Zbigniew Wiśniewski
Europejska Uczelnia w Warszawie

LITERATURA

- [1] S. P. Chromow „Meteorologia I Klimatologia” PWN 1973;
- [2] J. Domański “Zrozumieć piekło” Urania nr 3 (2013) str. 6.
- [3] A. Hołyst „Dlaczego powiało chłodem” Wiedza i życie Wiedza i życie 7. p. 53 (2016)
- [4] G. L. Stephens, L'Ecuyer (2015) “The Earth's energy balance”, Atmospheric Research 166 (2015) 195–203

Co w fizyce piszczy

Odkrycie egzoksiężyca i zderzających się wiatrów gwiazdowych

Odkrycie pierwszej egzoplanety przez Aleksandra Wolszczana stanowiło przełom w naszym pojmowaniu Kosmosu i swoistą sensację. Był to niezwykle przełom w astronomii obserwacyjnej. Z czasem jednak egzoplanety nam spowszechniały. Obecnie znamy ich ponad trzy tysiące. Nie byliśmy jednak do tej pory znaleźć ani jednego egzoksiężyca. Sztuka ta udało się dopiero zespołowi astronomów z uniwersytetu w Kolumbii (USA). Nie było to zadanie łatwe. Trudność polega jak zwykle na tym, że księżyc jest zazwyczaj mały w porównaniu z planetą, którą obiega. W związku z powyższym każdy sygnał, który pochodziłby od księżycy ginie w cieniu planety. Aby wykryć księżyc na tle planety trzeba więc przeprowadzić bardzo dokładne pomiary. Tak też zrobiono. Do wykrycia egzoksiężyca użyto aż dwóch teleskopów kosmicznych. Badany układ to słynny układ Kepler 1625. Pierwsze obiecujące dane otrzymano przy użyciu teleskopu Keplera. Dalsze pomiary wykonano podczas czterdziestogodzinnej sesji obserwacyjnej przy użyciu teleskopu Hubble'a. Planeta, którą obiega księżyc ma masę kilku mas Jowisza. Sam księżyc jest w porównaniu z nią mały i jego masa nie przekracza 1,5% masy planety.

Źródło: Alex Teachey, David M. Kipping. Evidence for a large exomoon orbiting Kepler-1625b. Science Advances, 2018; 4 (10): eaav1784 DOI: 10.1126/sciadv.aav1784

Instrument VISIR na należącym do ESO teleskopie VLT uzyskał niesamowite zdjęcie nowo odkrytego masywnego układu potrójnego gwiazd. Nazwany roboczo Apep, na cześć egipskiego bóstwa, może być pierwszym w historii odkrytym prekursorem rozbłysku gamma.



Siła słabych oddziaływań

Kobieca strona fizyki

Aleksandra Mielewczuk-Gryń i Marcin Zaród

Ten artykuł ma dwoje autorów, ale jedną genezę. Aleksandra i Marcin kończyli studia z fizyki technicznej w tej samej grupie i w tym samym momencie. Badania do prac magisterskich robili w tych samych laboratoriach. Aleksandra została zawodową badaczką nauk ścisłych i właśnie przygotowuje wniosek o habilitację. Marcin ostatecznie został socjologiem i kończy doktorat. Aleksandrze wielokrotnie zadawano pytanie: Jak to jest być kobietą-fizykiem? Marcinowi zaczęto zadawać pytania o fizykę, dopiero gdy zajął się socjologią. Innymi słowy: Aleksandra musiała odpowiadać na pytania o tym, dlaczego została fizykiem, Marcin dopiero na pytania o to, dlaczego bycie fizykiem mu nie wystarcza. Ten paradoks jest genezą niniejszego artykułu.

Od czasów studenckich oboje zajmowaliśmy się popularyzacją nauki i rolą nauki w społeczeństwie. W tym artykule chcielibyśmy pokazać fizykę niekoniecznie jako sposób poznawania rzeczywistości, raczej jako zjawisko społeczne, uprawiane przez badaczki takie jak Aleksandra i badane przez socjologów nauki takich jak Marcin. Wspólnie chcemy zastanowić się nad mechanizmami karier naukowych kobiet w fizyce i przy okazji przejrzeć wybrane fragmenty debaty o społecznych lub biologicznych uwarunkowaniach pracy naukowej. Mamy nadzieję, że dzięki naszej pracy nauczyciele fizyki będą mogli lepiej przygotować uczniów i uczennice, nie tylko do pracy naukowej w fizyce, ale również do powiązanych z nauką problemów międzyludzkich.

Stojąc na ramionach gigantek, czyli krótka historia kobiet

Obecność kobiet na kartach nauki na przestrzeni setek lat może być dla wielu osób niezauważalna w ogromie postaci, które przychodzi nam omówić w trakcie lekcji historii czy też wiedzy o społeczeństwie. Jednakże nie jest to prawdą, że takowych postaci nie było i nic o nich nie wiemy. Zaczniemy od początków ery, którą przyjęto nazywać naszą. Jest IV wiek, miasto Aleksandria, Egipt. W mieście tym pracuje i naucza jeden z największych filozofów neoplatonickich tamtych czasów, a właściwie filozofka – Hypatia.

Aleksandria w tamtym czasie uznawana była za drugie, po Atenach, najważniejsze miejsce uprawiania filozofii w całym greko-romańskim świecie. Wiemy o jej pracy niewiele ze źródeł bezpośrednich. Nie zachowały się żadne jej prace w formie pisanej, ale przypisuje się jej współpracę z ojcem (matematykiem Teonem z Aleksandrii) przy redakcji pism Ptolemeusza i Euklidesa. Wiadomo, z pośrednich źródeł, że pracowała nad komentarzami i wydaniem traktatów *Arytmetyka* Diofantosa i *Stożkowe* Apoloniusza z Pergii. Nie wykluczone jest

również, że kształt tych dzieł, jaki dotarł do naszych czasów, a także *Tablic podręcznych* i *Almagestu* Ptolemeusza, jest jej zasługą¹. Jednakże, nauczanie oraz praca słynnej filozofki, jak i również szacunek jakim się szczyliła w całej Aleksandrii nie były wszystkim w smak. Do tych osób należał ówczesny biskup Aleksandrii Cyryl, najprawdopodobniej był zazdrosny o popularność Hypatii, która nie tylko była wykształconą kobietą to na dodatek nie była chrześcijanką, co już wtedy, w IV wieku, nie było postrzegane pozytywnie.

Historycy nie są zgodni co do tego czy Cyryl bezpośrednio spowodował śmierć Hypatii, jednakże z pewnością w jakiś sposób się do tego przyczynił, w grę wchodziły również kwestie polityczne takie jak przyjaźń Hypatii z namiestnikiem Egiptu i wrogiem Cyryla, Orestesem.

W 415 roku Hypatia została brutalnie zamordowana – wywleczono ją z powozu przed kościołem Caseareum, zdarto z niej ubranie, wylupiono jej oczy i ukamieniowano. Ówczesny chrześcijański filozof Sokrates Scholastyk tak opisuje Hypatię oraz to zdarzenie:

Żyła w Aleksandrii pewna niewiasta imieniem Hypatia, była ona córką filozofa Teona. Udało jej się osiągnąć tak wysoki stopień wykształcenia, że przewyższała współczesnych sobie filozofów, stała się kontynuatorką wznowionej przez Plotyna filozofii platońskiej i potrafiła wyklądać na prośbę zainteresowanych wszelkie, jakie by nie były, doktryny filozoficzne. Dlatego też garnęli się do niej zewsząd ci, którzy chcieli się poświęcić nauce filozofii. Ze względu na zmuszającą do szacunku szczerść i swobodę wypowiedzi, którą zapewniło jej posiadane wykształcenie, umiała mądrze występować także i wobec przedstawicieli władzy; i nie potrzebowała się wstydzić, kiedy się pojawiła wśród mężów: wszyscy nie tylko szanowali ją dla nieprzeciętnej roztropności, ale nawet czuli się onieśmieni. Otóż tym razem przeciwko niej uzbroidła się zawiść. Ponieważ bowiem dość często spotykała się z Orestesem, fakt ten skłonił ludzi ze sfer kościelnych do wysunięcia oszczerczego oskarżenia, że to właśnie ona stoi na zawadzie i sprzeciwia się nawiązaniu przyjaznych stosunków pomiędzy Orestesem a biskupem Cyrylem. Tak więc ludzie porywczego usposobienia, którym przewodził lektor Piotr, umówiwszy się między sobą upatryli moment, kiedy owa niewiasta wracała skądś do domu, i wyrzuciwszy ją z lektyki zawlekli pod kościół zwany Cezarejon; tu zdarłszy z niej szaty zabili ją odłamkami skorup. Następnie rozszarpawszy ciało na sztuki poznosili poszczególne części na miejsce zwane Kinaron i spalili w ogniu. Zbrodnia



Jules Maurice Gaspard (1862–1919) *Portrait d'Hypatie d'Alexandrie* (źródło: domena publiczna)

ta ściągnęła na Cyryla i na Kościół w Aleksandrii niemal hańbiących zarzutów. Bo ci, co żyją według religii Chrystusowej, nie mają absolutnie nic wspólnego z morderstwami, bitwami i podobnymi do tych sprawami².

Wielu naukowców upatruje w śmierci Hypatii kres ery filozofii starożytnej i początek ciemnych wieków chrześcijańskiego średniowiecza.

Ciemne strony Średniowiecza

W średniowieczu dostęp do nauki był praktycznie zamknięty dla kobiet. Większość uczonych należała do kleru i to osoby duchowne tworzyły obraz świata przedstawiany ludziom³. Kobietom szczególnie trudno w tym okresie było rozwijać się naukowo, czy nawet nauczyć się czytać⁴. 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 naukowczyń, 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.

W dziejach kobiet naukowczyń przełomową postacią na pewno możemy nazwać Elenę Lucrezję Cornaro Piscopia. Elena pochodziła z bogatego weneckiego rodu Cornaro, była nieślubną córką Gianbattisty Cornaro-Piscopia oraz jego kochanki Zanetty Boni. W owych czasach pochodzenie z nieprawego łoża oznaczało dla Eleny niemożność korzystania z przywilejów szlacheckich, ale dzięki wysokiemu statusowi swojego ojca, piastującego tytuł Procuratore di San Marco de supra (skarbnika miasta), miała możliwość odebrać staranne wykształcenie. Elena знаła wiele języków m.in. grekę oraz łacinę oraz kształciła się w filozofii, fizyce i teologii. Jej nauczyciele szybko zauważyli wielki talent naukowy swojej podopiecznej.

Pierwsze tytuły dla kobiet

Za namową ojca i dzięki protekcji ojca Elena rozpoczęła karierę naukową w zakresie filozofii oraz teologii na Uniwersytecie w Padwie. Obecność kobiety w murach uniwersytetu wzbudzała oburzenie w niektórych kręgach, dlatego też nie pozwolono Elenie przystąpić do obrony doktoratu w murach uczelni i dlatego też 25 czerwca 1678 r. to w Katedrze w Padwie odbyła się jej obrona doktorska. Elena Cornaro przeszła do historii jako pierwsza kobieta ze stopniem doktora, co ciekawe kolejna kobieta na Uniwersytecie w Padwie dostąpiła tego zaszczytu dopiero w XX wieku⁵⁻⁷.

Kolejną ważną postacią związaną z rozwojem kariery akademickiej kobiet, pochodzącą również z Włoch, jest Laura Bassi. Jest zyciorys był z kolei związany z Uniwersytetem w Bolonii, jak i również z samym miastem. Tam już jako 21 latka została wybrana 20 marca 1732 r. na stanowisko profesora anatomii uniwersytetu, a 2 lata później powierzono jej katedrę filozofii. Z kolei



Rys. 2 Wielkie damy włoskiej nauki: Autor nieznaną Elena Lucrezia Cornaro Piscopia (1646-1684) oraz Carlo Vandi Rittrato di Laura Bassi źródło: domena publiczna

17 kwietnia 1732 r. zakwalifikowano i przyjęto jej doktorat po dwuipółgodzinnej debacie na temat 49 tez z fizyki, logiki i metafizyki. Stopień doktora otrzymała 12 maja tego roku i została oficjalnie mianowana pierwszym w historii żeńskim profesorem fizyki^{5,8}.

Jej kariera naukowa była niestety napiętnowana przez to, że była kobietą, wiele osób nie zgadzało się, aby była dopuszczona do wykładania, dlatego też ze swoimi studentami spotkała się w domowym laboratorium. Pomimo przeciwności w 1776 r. powierzono jej katedrę fizyki eksperymentalnej Instytutu Nauk w Bolonii⁹.

Tak minął XVII i XVIII wiek, jeżeli chodzi o uhonorowanie kobiet na uniwersytetach, jednakże część z nich wybierała karierę naukową prowadzoną nie na uczelni, ale we własnym domu. Wiek XVII i XVIII wypełniają zyciorysy wielu kobiet zajmujących takimi dziedzinami jak np. astronomia. Do takich kobiet należała Elżbieta Koopman-Heweliusz, żona znanego nam wszystkim Jana Heweliusza. O samej Elżbiecie nie wiadomo zbyt wiele, ponad to, że była córką gdańskiego kupca i wieku lat 16 wydana ją za mąż za 52 letniego Jana, któremu urodziła kilkoro dzieci.

Wiadomo natomiast, z całą pewnością, że wraz z mężem prowadziła obserwacje astronomiczne, za które został on zapamiętany przez historię. Pracowała również z nim nad jego największym dziełem *Prodromus astronomiae*, które to wydała już po jego śmierci^{10,11}.

W XVII wieku wiele kobiet wybierało pracę wraz z mężami bądź braćmi. Możemy do nich zaliczyć również Maria Margarethe Kirch, która dzięki zamążpójściu za wybitnego astronoma Gottfrieda Kircha, pomimo braku wykształcenia, zapisała się historii astronomii. To małżeństwo umożliwiło właśnie tej ubogiej córce pastora rozwijanie swoich zainteresowań naukowych¹².

W zupełnie innej sytuacji była kolejna warta przytoczenia XVII wieczna postać – Margaret Cavendish. Urodziła się ona w bogatej arystokratycznej rodzinie, a małżeństwo z Williamem Cavendishem tylko umocniło jej pozycję. Przez wiele lat przebywała na dworze

francuskim jako dama dworu Henrietty Marii Burbon żony Karola I Stuarta. Margaret nie odebrała praktycznie żadnego wykształcenia, co było standardem w ówczesnych czasach, a wiele osób na dworze francuskim wręcz uważało, że jest niespełna rozumu i upośledzona intelektualnie, za jej plecami nazywano ją nawet „szaloną Magde”. Nie przeszkodziło to jej po powrocie do Anglii w pracy nad książkami teologicznymi oraz poezją. Wkrótce stała się ona najczęściej wydawaną autorką w ówczesnej Europie. W swoich pracach dotyczących filozofii przyrody, czyli tego co teraz nazywamy fizyką, Margaret odrzucała nauki Arystotelesa i podejście mechaniczne. Wiele uwagi poświęcała w swoich pracach właśnie tym zagadnieniom.

W ciągu swojego życia napisała wiele dzieł zarówno filozoficznych, poezji jak i nawet proto-science-fiction. Ta wybitna kobieta wyrosła zdecydowanie ponad to czego oczekiwano o przedstawicielkach jej płci w owych czasach^{13,14}.

Przeszło 30 lat po śmierci Margaret Cavendish urodziła się kolejna arystokratka, która udowodniła, że umysł kobiety na przekór wielu przekonaniom jest zdolny do analizy skomplikowanych zagadnień, czyli Gabrielle Émilie Le Tonnelier de Breteuil, markiza du Châtelet. Emilie była córką Louisa Nicolasa Le Tonnelier, barona de Breteuil, będącego w służbie Ludwika XIV, umożliwiło jej to obracanie się w kręgach najwybitniejszych intelektualistów Francji. Jednakże samo przebywanie w towarzystwie nie wystarczało jej. Była głodna wiedzy i intelektualnej rozrywki, pomimo tego, że już w wieku 19 lat została wydana za mąż za markiza du Châtelet, nie przeszkodziło jej to, aby rozwijać swoją wiedzę matematyczną. Do jej największych osiągnięć naukowych możemy zaliczyć jedno z pierwszych definicji zasady zachowania energii oraz ustalenie wzoru na energię kinetyczną (dobrze znane nam $E_k = mv^2/2$). Przewidziała ona również istnienie promieniowania podczerwonego. Jej największym osiągnięciem wydawniczym natomiast było z pewnością *Éléments de la philosophie de Newton*, w którym odnosi się do okryć współczesnego jej wybitnego fizyka brytyjskiego Izaaka Newtona.

W jej biografii często jest podkreślany jej związek z wybitnym myślicielem i pisarzem francuskim François-Marie Arouetem, którego wszyscy znamy pod pseudonimem Wolter. Nie wiadomo do końca czy Emilie i Wolter byli kochankami, jedno jest pewne, byli przyjaciółmi i spędzali długie godziny na dyskusjach filozoficznych. Warte podkreślenia było to, że Wolter zawsze traktował Emilie jako człowieka, dopiero później jako kobietę. Szanował ją pod względem intelektualnym, a po jej śmierci napisał „Był to wielki człowiek, którego jedynym błędem jest to, że był kobietą”¹⁵.

Rewolucja przemysłowa – bez przelomu

Tak dochodzimy do kolejnego stulecia, wieku rewolucji przemysłowej. Wydawać się by mogło, że wtedy powinna nastąpić rewolucja w dostępie kobiet do edukacji i pracy w nauce. Wielkiego przelomu próżno jednak szu-

kać. Pomimo dużej zmiany w dostępie do nauki dla osób o niższym statusie ekonomicznym czy wykształceniu – tu przykładem mógłby być samouk Maxwell – sytuacja kobiet nie uległa, właściwie aż do końca wieku zmianie³. Próżno szukać równie znanych fizyczek jak fizyków takich jak Thomson czy Rutherford, którzy robili wybitną karierę naukową. Główną przyczyną takiego stanu rzeczy można znaleźć w wciąż skrajnie patriarchalnym społeczeństwie dziewiętnastowiecznym^{16,17}. Pomimo tego, że już w 1882 roku pozwolono uczestniczyć kobietom w wykładach w Laboratorium Cavendisha to nie zmieniło to znacznie sposobu w jaki traktowano ich ambicje naukowe i intelektualne (na sam Uniwersytet w Cambridge kobiety mogły wstępować wcześniej bo w 1863 r.¹⁸). Dobrą tego ilustracją jest cytat z listu ówczesnego kierownika laboratorium J. J. Thomsona (późniejszego noblisty) do swojej krewnej pani H. F. Reid, który ten napisał 4 listopada 1886 r.:

„Wydaje mi się, że byłabyś rozbawiona gdybyś tu była i mogła zobaczyć moje wykłady. W trakcie moich wykładów podstawowych (z fizyki – przypisy tłumacza) cały pierwszy rząd jest zajęty wyłącznie przez młode kobiety (niektóre ponoć wcale nie są takie młode) które notują skrzętnie i pilnie. Najdziwniejsze jest jednak to, że jedna z nich uczęszcza na mój wykład zaawansowany. Mam obawy, że nie rozumie ani słowa i mam teorię, że uczęszcza na moje wykłady przypuszczając, że dotyczą one boskości, a jeszcze nie zorientowała się, że popełniła błąd.”¹⁹

Wydaje się, że ten cytat dość dobrze oddaje przyczyny, dla których kobietom ciężko było przebić się w dość skostniałym świecie nauki. Warto przytoczyć tutaj jednak biografie kobiet, którym się to udało, a więc Mary Somerville i Caroline Herschel, które jako pierwsze zostały przyjęte do Royal Astronomical Society. Obydwie panie były astronomkami i jako nieliczne kobiety w XIX wieku za życia uzyskały wysoką pozycję w środowisku naukowym.

Mary Somerville w nekrologu opublikowanym przez „The Morning Post” została opisana w następujący sposób: „Jakiegokolwiek trudności mielibyśmy w połowie XIX wieku w wyborze króla nauki, nie ma wątpliwości kim byłaby jej królowa.”²⁰. Z kolei Sir David Brewster, wynalazca kalejdoskopu, napisał o niej w 1829 r., że była „najbardziej niezwykłą kobietą w Europie – wybitną matematyczką z łagodnością kobiety”²¹.

Poza pracami dotyczącymi stricte astronomii pracowała również na zagadnieniach dotyczących fizyki takimi jak np. związkiem pomiędzy światłem a magnetyzmem. Opisała te zagadnienia w pracy „*The magnetic properties of the violet rays of the solar spectrum*” opublikowanej w 1826 r. w Proceedings of the Royal Society (na 5 lat przed urodzeniem Maxwella!)²². Takie postacie jak pani Somerville powinny być dla społeczności naukowej, czy też akademickiej, dowodem na to, że kobiety nie tylko chcą, ale i mają wszelkie zdolności, aby zajmować się zagadnieniami naukowymi. Jednakże tak nie było i potrzeba było kolejnego stule-

cia, aby kobiety, niekiedy łokciami, utorowały sobie drogę do kariery naukowej.

Maria Curie-Skłodowska

Wiek XX przyniósł wiele zmian w sytuacji kobiet, kiedy to ruch sufrażystek wywalczył dla nich prawa wyborcze w wielu krajach, w 1893 r. w Nowej Zelandii (pełne 1919 r.) i 1902 r. w Australii, czy po I wojnie światowej m.in. w Polsce oraz Niemczech (ciężkawostka – pełne prawa wyborcze w Szwajcarii w kantonie Appenzell Innerrhoden kobiety uzyskały dopiero w 1990 roku!)^{23,24}. Pomimo dużej zmiany sytuacji prawnej kobiet ich sytuacja w edukacji wyższej pozostawała trudna, zwłaszcza w przypadku nauk fizycznych i technicznych. Co prawda już w XIX wieku, jak wspomnieliśmy wcześniej, kobiety miały prawo uczęszczać na koedukacyjne uniwersytety, w 1855 r. Uniwersytet w Iowa jako pierwszy w USA czy 1880 r. University of London dopuściły kobiety do otrzymywania u nich stopni naukowych^{25,26}. Jednak w przypadku USA dopiero w 1929 roku pierwsza kobieta otrzymała stopień doktora fizyki (Jenny Rosenthal Bramley New York University²⁷), a dopiero w 1972 roku taki stopień otrzymała pierwsza afro-amerykanka (Willie Hobbs Moore, University of Michigan). Jak widać proces pojawiania się kobiet stricte w akademii był bardzo powolny nawet wśród z pozoru tak postępowych krajów jak USA.

Wkraczanie kobiet do świata wielkiej nauki najlepiej jednak zilustrować na przykładach. W pierwszej połowie XX wieku możemy znaleźć szereg przykładów karier akademickich kobiet, ale skupmy się na dwóch przypadkach, jednego bliskiego rzecz jasna sercu każdej Polki – Marii Curie-Skłodowskiej, a drugiego Lise Meitner. Wybór nie jest z góry przypadkowy, obie panie pracowały w podobnej dziedzinie – promieniotwórczości, jednakże ich kariery potoczyły się zgoła inaczej. Maria uzyskała światową sławę oraz dwie nagrody Nobla, natomiast Lise znana właściwie tylko w kręgach naukowych z nagrody tej została można powiedzieć ograbiona. Obie panie nie



Maria Skłodowska Curie

tylko były sobie współczesne, ale wiemy również, że znały się osobiście.

Zacznijmy jednak od początku Maria Skłodowska urodziła się w Warszawie w 1867 roku, gdzie rozpoczęła swoją edukację. Nie mogła jednak od razu po ukończeniu gimnazjum podjąć studiów, ze względu na warunki materialne, dlatego też zawarła ze swoją siostrą Bronisławą umowę, że wprawdzie Maria pójdzie do pracy i będzie utrzymywać studiującą siostrę, a następnie ta druga jej pomoże. Tak też zrobiły, zanim Maria miała możliwość podjęcia studiów zagłębiała, przy pomocy ciotecznego brata Józefa Boguskiego (byłego asystenta Dymitra Mendelejewa) oraz chemika Napoleona Milicera (współpracownika Roberta Bunsena) techniki laboratoryjne w laboratoriach Muzeum Przemysłu i Rolnictwa przy Krakowskim Przedmieściu²⁸. To właśnie wtedy Maria nauczyła się podstawowych technik analizy chemicznej tak przydatnych w jej późniejszej pracy naukowej.

W roku 1891 Maria rozpoczyna studia na Sorbonie, tam też w poznaje późniejszego męża Pierre'a (wraz z bratem już wtedy odkrywcy piezoelektryczności²⁹). Po ukończeniu studiów jej mentor – Gabriel Lippmann pomógł jej otrzymać stypendium naukowe na badania naukowe związane z magnetycznymi właściwościami stali³⁰.

Jednak to nie badania nad właściwościami stali przyniosły jej sukces, zafascynował ją zupełnie inny temat – odkrycie przez innego francuskiego fizyka Henriego Becquerela nieznanego dotąd wcześniej promieniowania, które emitowane było przez próbki zawierające uran. To badania nad tym tematem obrała Maria w 1897 r. jako temat swojej pracy doktorskiej. Zmodyfikowała sposób pomiaru nieznanego promieniowania, zamiast wykorzystania kliszy fotograficznej wykorzystwała dokładny elektroskop i dzięki temu udało jej się wyznaczyć zależność pomiędzy ilością uranu i natężeniem promieniowania. Jednocześnie zaobserwowała różnice pomiędzy wynikami otrzymanymi dla rudy uranu w postaci chalkonitu, a tego samego pierwiastka otrzymanego syntetycznie.

To właśnie wynik tego pomiaru zasugerował jej, że musi istnieć inny, nieznan pierwiastek promieniotwórczy niż uran, obecny w badanej rudzie. Te wnioski doprowadziły ją do odkrycia dwóch nowych pierwiastków chemicznych polonu (symbol Po, liczba atomowa 84) oraz radu (symbol Ra, liczba atomowa 88)³¹.

Za pierwsze odkrycia dotyczące właściwości promieni nazywanych wtedy promieniami Becquerela Maria otrzymała w 1903 swoją pierwszą nagrodę Nobla, była to nagroda z fizyki a współ-nagrodzonymi byli Becquerel oraz mąż Marii Pierre. Kolejną nagrodę, w 1911 r., otrzymała z chemii za odkrycie radu oraz polonu, oraz za pracę na właściwościach tego pierwszego, tę nagrodę otrzymała samodzielnie³².

Wiele osób na miejscu Marii po otrzymaniu nagrody Nobla (a co dopiero dwóch!) osiadłoby na laurach, ale nie ona. Między innymi wraz ze swoją córką Ireną Joliot-Curie (laureatką w wraz z mężem Fredericem nagrody Nobla z chemii w 1935 r.³³) kontynuowała pracę naukową. Jej zasługi dla nauki są niezaprzeczalne, warte jednak



Maria Skłodowska Curie z mężem (w środku) w laboratorium



Irena Joliot Curie

jest podkreślenia, że jej zainteresowania nie dotyczyły się tylko laboratorium. Ma ona również zasługi na polu wynalazczości. Otóż to właśnie ona wraz z Irene zbudowały pierwszy przenośny aparat rentgenowski! Było to w czasach I wojny światowej, dzięki temu wynalazkowi z pewnością uratowano setki żołnierzy. Poza budową samego aparatu Maria wykorzystywała swoją pozycję dla zbierania funduszy na szkolenia techników oraz budowę przenośnych ambulatoriów. Jak widać była to nietuzinkowa kobieta i pewnie dlatego udało jej się przebić w tym typowo męskim świecie.

Lise Meitner

Drugą postacią, która rozpoczynała swoją karierę w tym samym czasie co Maria była Austriaczka Lise Meitner. Lise była o 12 lat młodsza od Marii Curie, urodziła się 17 listopada 1878 roku w Wiedniu jako córka Philippa Meitnera i jego żony Hedwig Meitner-Skovran i z pochodzenia była żydówką (jako osoba dorosła w 1906 roku przeszła na protestantyzm). Ze względu na to, że w Austrii nie zezwalało dziewczynom uczyć się w szkołach publicznych Lise uczęszczała do szkoły prywatnej, którą ukończyła w 1901 roku. Po ukończeniu szkoły średniej wstąpiła na Uniwersytet w Wiedniu, gdzie studiowała pod okiem Ludwiga Boltzmanna.

W 1905 roku otrzymała stopień doktora fizyki za pracę nad radioaktywnością (jako druga kobieta w historii Austrii)³⁴. Krótko po obronie Lise ubiegała się o pracę u ... Marii Curie Skłodowskiej. Nie znamy przyczyn, dlaczego Maria nie zgodziła się przyjąć jej do pracy.

W 1907 roku Ludwig Boltzmann popełnia samobójstwo, śmierć mentora silnie wpłynęła na Marię, która przez rok nie wraca na uniwersytet i zostaje nauczycielką w szkole średniej. Wraca jednak na uczelnię, zwraca się do Maxa Plancka o pozwolenie na jej uczestnictwo w jego wykładach. Nie była to czysta



Lise Meitner i Otto Hahn w pracowni Kaiser-Wilhelm Institute w Berlinie w 1913 roku. Foto – wikimediacommons

formalność, Planck to tej pory nigdy nie zgadzał się na uczestnictwo kobiet w jego wykładach, a ponadto w ówczesnych czasach w Cesarstwie Pruskim kobietom uniemożliwiano uzyskiwanie dyplomów uniwersyteckich.

Planck pozwolił Lise uczęszczać w wykładach przez jeden semestr, a jej ojciec zgodził się ją w tym czasie utrzymywać. Została w Berlinie znacznie więcej, bo na trzy kolejne dekady. Chciała zajmować się radioaktywnością, jednak okazało się, że pomimo przyjaznego przyjęcia wśród fizyków, chemicy nie byli tak otwarci dla młodej badaczki. Udało się jej jednak nawiązać współpracę z młodym chemikiem Otto Hahnem, z którym rozpoczęła badania. Władze wydziału nie pozwoliły Hahnowi jednak wydzielić dla Lise części laboratorium, dlatego też jej sprzęt laboratoryjny został umieszczony w warsztacie.

Pracowali wspólnie nad zagadnieniami dotyczącymi radioaktywności i również wspólnie w 1908 roku odkryli nowy pierwiastek aktyn. Badali również wspólnie rozpad promieniotwórczy. W 1912 Planck zatrudnił Lise jako swoją asystentkę, niestety praca ta była bardzo zajmująca, musiała m.in. oceniać prace jego studentów. W 1912 roku otwarto Instytut Chemii Cesarskiego Wilhelma, w którym zatrudnienie znajdują zarówno Hahn jak i Meitner, wtedy to też uzyskała ona pierwszy raz niezależność finansową.

Kiedy w 1914 roku wybuchła I wojna światowa pracuje, tak jak Maria Curie, przy obsłudze urządzeń rentgenowskich. W 1917 roku Lise i Otto odkrywają proaktyn 231, nowy izotop proaktynu. W 1918 roku

Meitner w końcu zostaje uznana jako równorzędny naukowiec w środowisku berlińskim, zostaje dyrektorką laboratorium Fizyki Promieniowania, a w 1922 r. zostaje wykładowczynią a w 1926 roku profesorem na uniwersytecie berlińskim, jako pierwsza kobieta w Niemczech.

Niestety, wraz z dojściem Adolfa Hitlera do władzy, w 1933 roku, ze względu na żydowskie pochodzenie, Meitner dostaje zakaz nauczania na uniwersytecie. Jednak jako obywatelka austriacka postanawia zostać w Niemczech i kontynuować prace badawcze. W międzyczasie w Rzymie Enrico Fermi pracuje nad badaniami nad uranem. Bombardując uran wiązką neutronów obserwuje ich absorpcje, a następnie rozpad prowadzący do utworzenia protonu i elektronu o dużej energii (cząstki beta). Fermi sugerował, że może to prowadzić do wytworzenia pierwiastków cięższych niż uran.

Z kolei, zresztą słusznie, Ida Noddack, badaczka z laboratorium w Berlinie jako pierwsza uznała, że bombardowanie uranu neutronami powoduje jego rozpad na lżejsze pierwiastki. W ten sposób jako pierwsza sformułowała ideę rozpadu promieniotwórczego. Niestety badaczka nie kontynuowała prac nad tym zagadnieniem. Zrobili to za to Meitner, Hahn oraz nowy członek i zespołu Fritz Strassmann. Przyjęli oni za cel syntezę nowych transuranowców. Odrzucili oni jednak niesłusznie na samym początku koncepcję Idy Noddack, kontynuowali eksperymenty i otrzymywali niejednoznaczne wyniki, często pierwiastki o ekstremalnie krótkich czasach połowicznego rozpadu. Konsultowali się również z grupą Joliot-Curie, którzy to również w tym czasie pracowali nad tym zagadnieniem.

Pracę nad rozpadem promieniotwórczym kontynuowali wspólnie aż do 1938 roku. Wtedy to nastąpił anszlus Austrii i Meitner nie chroniło jej austriackie obywatelstwo. Jako żydówka musiała uciekać. Wielu znanych fizyków proponowało jej pracę m.in. Niels Bohr, jednak zdecydowała się na pracę w Sztokholmie w Noblowskim Instytucie Fizyki. W tym samym czasie Hahn i Strassman kontynuowali swoje eksperymenty nad rozpadem promieniotwórczym. Nie mogli jednak ciągle wyjaśnić tego co obserwują. Udało się to jednak zrobić Meitner oraz jej siostrzeńcowi Otto Frischowi, wykorzystując równowagę masy i energii wyjaśnili zjawisko rozpadu.

Przez wszystkie te lata Meitner korespondowała z Otto Hahnem dyskutując otrzymane wyniki. Jej rola w odkryciu i wyjaśnieniu rozpadu promieniotwórczego jest bezsprzeczna, jednak w 1944 komitet noblowski przyznał nagrodę tylko Otto Hahnowi. Sprzeciwiała się temu, wielu uczonych m.in. Niels Bohr. Otto Hahn pomimo tego, że umniejszył rolę w odkryciu jaką pełniła Lise, najprawdopodobniej czuł się winny, ponieważ oddał jej cześć pieniędzy które otrzymał oraz wspominał ją w swoim wykładzie noblowskim. Pomimo tej, zdecydowania karygodnej sytuacji, pozostali oni jednak przyjaciółmi³⁴.

Dzięki ich odkryciu możliwa była budowa bomby atomowej, dlatego też Lise Meitner często nazywana była matką bomby atomowej. Jako zdeklarowana pacyfistka nie znosiła jednak tego tytułu, na jej nagrobku w Cambridge napisano: „*Fizyczka, która nigdy nie straciła swojego człowieczeństwa*”. Na jej cześć pierwiastek o liczbie atomowej 109 nazwano meitner³⁵.

Aleksandra Mielewczyk-Gryń¹ i Marcin Zaród²

¹Politechnika Gdańska Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej

²Akademia Leona Koźmińskiego Katedra Zarządzania w Społeczeństwie Sieciowym

LITERATURA

- [1] Dzielska, M. *Hypatia Z Aleksandrii*. (Towarzystwo Autorów i Wydawców Prac Naukowych Universitas, 1993).
- [2] Scholastyk, S. *Sokrates scholastyk historia ko ścio i a*.
- [3] Wróblewski, A. *Historia Fizyki*. (Wydawnictwo Naukowe PWN, 2006).
- [4] Stuard, S. M. *Women in medieval society*. (The British Library, 1976).
- [5] Robin, D. M., Larsen, A. R. & Levin, C. *Encyclopedia of women in the Renaissance : Italy, France, and England*. (ABC-CLIO, 2007).
- [6] Elena Lucrezia Cornaro Piscopia | Università di Padova. Available at: <https://www.unipd.it/elena-lucrezia-cornaro-piscopia>. (Accessed: 20th August 2018)
- [7] History | Università di Padova. Available at: <https://www.unipd.it/en/university/history>. (Accessed: 20th August 2018)
- [8] Laura Bassi — University of Bologna. Available at: <https://www.unibo.it/en/university/who-we-are/our-history/famous-people-guests-illustrious-students/laura-bassi>. (Accessed: 20th August 2018)
- [9] Laura Bassi | Encyclopedia.com. Available at: <https://www.encyclopedia.com/people/science-and-technology/physics-biographies/laura-bassi>. (Accessed: 20th August 2018)
- [10] Williams, T. R. et al. in *The Biographical Encyclopedia of Astronomers* 503–504 (Springer New York, 2007). doi:10.1007/978-0-387-30400-7_619
- [11] Trójkąt wolnomularski Heweliusz. Available at: <http://www.loza-galileusz.pl/3.heweliusz.php>. (Accessed: 20th August 2018)
- [12] Schiebinger, L. Maria Winkelmann at the Berlin Academy: A Turning Point for Women in Science. *Isis* 78, 174–200
- [13] Cavendish, M. *Observations upon experimental philosophy. Cambridge texts in the history of philosophy* (Cambridge University Press, 2001). doi:10.1017/CBO9781139164504
- [14] Margaret Cavendish | English Heritage. Available at: <http://www.english-heritage.org.uk/learn/histories/women-in-history/womens/margaret-cavendish/>. (Accessed: 21st August 2018)
- [15] Allen, C., Nodelman, U. & Zalta, E. N. The Stanford Encyclopedia of Philosophy: A Developed Dynamic Reference Work. *Metaphilosophy* 33, 210–228 (2002).
- [16] DAVIS, N. Patriarchy from the Grave: Family Relations in 19th Century New Brunswick Wills. *Acadiensis* 13, 91–100
- [17] Gould, P. *Women and the culture of university physics in late nineteenth-century Cambridge*. *BJHS* 30, (1997).
- [18] Women at the University of Cambridge: Archival resources relating to the higher education of women in England. Available at: <http://www.victorianweb.org/history/education/trehub/3.html>. (Accessed: 21st August 2018)
- [19] Strutt R. J. *Life of Sir J. J. Thomson O.M. Sometime Master of Trinity College*. (1942).
- [20] Mary Somerville: Queen of Science - Dangerous Women Project. Available at: <http://dangerouswomenproject.org/2017/03/08/mary-somerville-queen-science/>. (Accessed: 21st August 2018)
- [21] Secord, J. Mary Somerville's vision of science. *Phys. Today* 71, 46–52 (2018).
- [22] Holmes, J. & Ruston, S. *The Routledge research companion to nineteenth-century British literature and science. The Routledge Research Companion to Nineteenth-Century British Literature and Science* (Routledge, 2017). doi:10.4324/9781315613338
- [23] Jenny Rosenthal Bramley – ETHW. Available at: https://ethw.org/Jenny_Rosenthal_Bramley. (Accessed: 22nd August 2018)
- [24] Mówią Wieki – Czasopismo Historyczne. Available at: <http://mowiawieki.pl/index.php?page=artykul&id=334>. (Accessed: 22nd August 2018)
- [25] Mould, R. F. Pierre Curie, 1859-1906. *Curr. Oncol.* 14, 74–82 (2007).
- [26] Gwiazdowska, B., Bulski, W. & Sobieszczak-marciniak, M. MARIA SKŁODOWSKA CURIE Znane i mało znane fakty z życia Uczzonej , ciąg dalszy Common known and undiscovered facts of scientist 's life. 58, 24–30 (2015).
- [27] Badash, L. Marie Curie: In the Laboratory and on the Battlefield. *Phys. Today* 56, 37–43 (2003).
- [28] Nomination Archive. Available at: <https://www.nobelprize.org/nomination/redirector/?redir=archive/show.php&id=902>. (Accessed: 22nd August 2018)
- [29] Nomination Archive. Available at: <https://www.nobelprize.org/nomination/redirector/?redir=archive/show.php&id=485>. (Accessed: 22nd August 2018)
- [30] Lise Meitner: Life, Findings and Legacy. Available at: <https://www.livescience.com/62162-lise-meitner-biography.html>. (Accessed: 23rd August 2018)
- [31] Lise Meitner (1878-1968) – Find A Grave Memorial. Available at: <https://www.findagrave.com/memorial/15166236/lise-meitner>. (Accessed: 23rd August 2018)
- [32] Maria Goeppert Mayer – Biographical. Available at: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1963/mayer/auto-biography/>. (Accessed: 23rd August 2018)

Szerokość geograficzna czy geocentryczna?

(miniaturka dydaktyczna)

Szerokość geograficzna (φ) to kąt pomiędzy płaszczyzną równika niebieskiego a pionem wyznaczonym w punkcie obserwacji (zenitem). Na różnego typu ilustracjach pokazywany jest on jako kąt pomiędzy płaszczyzną równika ziemskiego a promieniem Ziemi w punkcie obserwacji. Nie wszyscy jednak zdają sobie sprawę z tego, że tak nie jest, gdyż pion wyznaczony jest przez kierunek siły ciężkości, a ta jest wypadkową siły grawitacji i siły odśrodkowej związanej z ruchem obrotowym Ziemi.¹ Na ogół więc pion nie wskazuje środka masy Ziemi. Wyjątkiem są bieguny oraz punkty na równiku. Przy czym tylko na biegunach można przyjąć, że siła ciężkości równa jest sile grawitacyjnej, a więc i przyspieszenie ziemskie (g_0) jest równe przyspieszeniu grawitacyjnemu (γ).²

Spróbujmy obliczyć kąt odchylenia pionu ($\Delta\varphi = \varphi - \alpha$) od promienia Ziemi w wybranym punkcie jej powierzchni. Niech ten punkt leży na 45° szerokości geograficznej. Wiemy, że na tej szerokości i na poziomie morza przyspieszenie grawitacyjne (g_0) ma wartość $9,80665 \text{ m/s}^2$. Natomiast wartość przyspieszenia odśrodkowego (układ nieinercjalny) obliczymy ze znanego wzoru:

$$a_{\text{odśr.}} = \omega^2 r = 4\pi^2 r / T^2,$$

gdzie $r = R_z \cos \alpha$.³

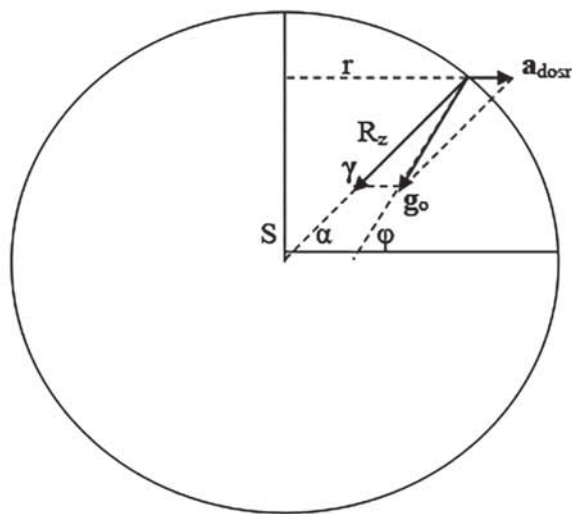
Wstawiając $r = 6371000 \text{ m}$, $\alpha = 45^\circ$ oraz $T = 86164 \text{ s}$, otrzymamy $a_{\text{odśr.}} = 0,024 \text{ m/s}^2$.

Z rysunku wynika, że do dalszych obliczeń możemy skorzystać z twierdzenia sinusów: $g_0 / \sin 135^\circ = a_{\text{odśr.}} / \sin \Delta\varphi$.

Stąd $\sin \Delta\varphi = 0,00173$.

Zatem $\Delta\varphi = 0,1^\circ = 6 \text{ minut kątowych}$.⁴

Tak więc na tej szerokości geograficznej pion odchylenia jest ku równikowi o 6 sekund kątowych. Wdaje się, że jest to niewiele i nie warto się tym zajmować, ale obecnie położenie punktu na powierzchni Ziemi określa się z dużą dokładnością (nawet do kilku metrów!). Przyjęcie zaś, że $\varphi = \alpha$ dawałoby różnicę $s = R_z \sin \Delta\varphi = 6371000 \text{ m} \cdot 0,00173 = 11022 \text{ m}$ czyli ponad 11 km!



Waldemar Reńda
Olkusz

¹ Pomijam tu inne oddziaływania, gdyż mają niewielki wpływ na kierunek wektora siły ciężkości.

² Uwaga jak wyżej.

³ Tu z konieczności przyjąłem, że jest to kąt równy szerokości geograficznej, ale – jak dalej zobaczymy – kąty te różnią się nieznacznie i różnica ta nie ma znaczącego wpływu na wynik dalszych obliczeń.

⁴ W książce A. Opolskiego, *Astronomiczne podstawy geografii*, podana jest wartość $12'$.

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-mailem:** 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 21688e6e6cc

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.

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/

Prenumerata 2019



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/