

# FIZYKA

## w Szkole z Astronomią

WYDANIE DLA NAUCZYCIELI

379 (LXIV) indeks 35810X Nr 2 marzec/kwiecień 2022 CENA 35,00 zł (w tym 8% VAT)

Wszystkie  
stany skupienia  
– ile ich jest?

### **CREDO-Maze**

– szkolny pomiar  
promieniowania  
kosmicznego

**Pedagogika**  
outdoorowa  
w nauczaniu fizyki

### Misja kosmiczna DART

– pierwsza próba  
obrony Ziemi

Równania  
stanu  
**doskonałego gazu**  
w zadaniach

# Kuchenna mechanika płynów

sa.pl 79c85a6d0a  
48142769



9

# Jasne, że taniej...



## ROCZNIK 2021 50% taniej!

Szczegóły i formularz zamówienia na [www.aspress.com.pl/roczniki/](http://www.aspress.com.pl/roczniki/)

eprasa.pl 79e85a6d0a  
48142769

## Drodzy Czytelnicy!

**M**amy zaszczyt przekazać wam drugi w tym roku numer „Fizyki w Szkole”. Większości z Was fizyka eksperymentalna kojarzy się z laboratoriami naukowymi. Czy to małymi, przyszkolnymi, czy też dużymi, wielkogabarytowymi laboratoriami, jak laboratoria w CERN. W każdym z tych laboratoriów zazwyczaj panują ściśle reguły, określające co wolno, a czego nie wolno, tymczasem ostatni nobel z fizyki był bardziej proekologiczny niż laboratoryjny. Czy można więc zmienić sposób uprawiania fizyki i dostać Nobla? Czy można uprawiać fizykę na świeżym powietrzu w warunkach szkolnych? Pod tym względem interesujący jest artykuł Kazimierza Mikulskiego pt. elementy pedagogiki outdoorowej w nauczaniu fizyki. Jest to artykuł, w którym proponuje się przesunięcie punktu ciężkości dydaktyki fizyki z sali szkolnej na świeże powietrze. Dzięki takiemu podejściu uczniowie mają okazję poczuć praktyczny aspekt fizyki i rozwijać w sobie jej rozumienie intuicyjne. Pomoże im to zrozumieć np. dlaczego ptak, istota cięższa od powietrza, może latać. Dodatkowo autor zachęca do skoncentrowania się na wykonywaniu zadań praktycznych takich jak np. wykonanie latawca czy modelu samolotu. Dodatkową zaletą takiego modelu jest kształtowanie u wychowanków umiejętności miękkich, takich jak umiejętność analizy problemu, praca samodzielna czy praca w grupie. W proponowanym modelu nauczania zmienia się też rola nauczyciela. Przestaje on być jedynym dawcą wiedzy, wykładowcą. Staje się inspiratorem i koordynatorem.

No dobrze, ale co ma zrobić żądny wiedzy młody człowiek, gdy akurat pada albo jest huragan. Jedną z możliwości jest przenieść się do kuchni. Jak udowadnia w swoim artykule „Kuchenna mechanika płynów, czyli fizyce uwięzieni” Maciej Lisicki, kuchnia może być miejscem przeprowadzania olbrzymiej liczby interesujących obserwacji/eksperymentów. Wszystkie zjawiska opisane w tym artykule dotyczą cieczy, przy czym ciecz będącym obiektem naszych obserwacji mogą być bardzo różne. Po pierwsze może to być woda w kranie, ale może być kawa czy herbata. Każda z tych cieczy może być materiałem na interesujące obserwacje.

Trzeci artykuł, na który chciałbym zwrócić Państwa uwagę to artykuł Czesława Surowca „Równanie stanu doskonałego gazu w zadaniach”, artykuł ten odbiega od dwóch poprzednich, ale nie możemy zapomnieć, że zbliżają się matury, a na maturach z dużym prawdopodobieństwem pojawi się termodynamika. Z całą pewnością nie jest to najłatwiejszy dział fizyki, więc może warto „przebrać” z uczniami kilka dodatkowych zadań.

Kończąc, życzę miłej lektury.

Zbigniew Wiśniewski

## Fizyka wczoraj, dziś, jutro

**4** U źródeł fizyki i cywilizacji (Szkieł problemu) | Waldemar Reńda

**8** Cztery i pół stanów skupienia. V. Wszystkie stany skupienia | Grzegorz Karwasz

W serii artykułów rozważaliśmy cztery stany skupienia. Podsumujmy główne punkty dydaktyczne. Za „moich” czasów szkolnych te punkty były proste: – ciała stałe mają określoną objętość i określony kształt, ciecze – tylko określoną objętość, a gazy – ani objętości, ani kształtu. Ale fizyka jest o wiele bardziej skomplikowana.



**16** Kuchenna mechanika płynów, czyli fizyce uwięzieni | Maciej Lisicki

Laboratorium zamknięte? Marsz do kuchni! Pandemia COVID-19 nauczyła nas wszystkich pracy w nowych i nieznanych dotąd warunkach.

**50** Otto Stern – fizyk noblista z Żor | Rafał Simon, Marta Wąsik

## 47. Zjazd Fizyków Polskich

**21** Dydaktyka i popularyzacja fizyki | Edward Rydygier

## Z naszych lekcji

**26** CREDO-Maze: promieniowanie kosmiczne w każdej szkole | Tadeusz Wibig

**31** Galileusz – astronom (1564 – 1642) | Tadeusz Wibig

**34** Równanie stanu doskonałego gazu w zadaniach | Czesław Surowiec

**37** Prosty sposób na wyprowadzenie wzoru Ciołkowskiego | Marian Maciocha

**38** Elementy pedagogiki outdoorowej w nauczaniu fizyki | Kazimierz Mikulski



## Astronomia dla każdego

**44** Misja kosmiczna DART – czyli pierwsza próba obrony Ziemi | Marcin Wesołowski

Pod koniec listopada 2021 roku z bazy Vandenberg w Kalifornii została wyniesiona w przestrzeń kosmiczną sonda DART (ang. Double Asteroid Redirection Test). Głównym celem tej misji jest przetestowanie obecnych technologii, które mogą pomóc w ochronie Ziemi przed potencjalnymi zderzeniami z obiektami należącymi do grupy NEO (ang. Near-Earth Objects).



**46** Kompendium astronomiczne – wybrane pojęcia i zagadnienia – cz. 8 | Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski

**FIZYKA**  
w Szkole z Astronomią

NUMER 2 MARZEC/KWIECIEŃ 2022  
379 (LXIII) indeks 35810X ISSN 0426-3383

CENA 35,00 zł  
(w tym 8% VAT)

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

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



# U źródeł fizyki i cywilizacji

## (Szkic problemu)

*Nie można zrozumieć współczesnej cywilizacji bez znajomości jej historii.*

Waldemar Reńda

W najbardziej ogólnym znaczeniu cywilizacja to wytwór rąk i umysłu człowieka od czasów *homo sapiens* po dzień dzisiejszy. W tym znaczeniu fizyka jest częstką osiągnięć naszej cywilizacji.

Chcąc prześledzić proces rozwoju cywilizacji, należy rozpocząć od jej początku. Rozwój ten przypomina bieg rzeki, której źródła znajdują się na łąkach i torfowiskach. Nawet nie zauważamy, kiedy pojawia się coś, co można by nazwać strumieniem. Potem dopiero pojawia się główny nurt, który z czasem staje się coraz szerszy i obfitszy w wodę. Podobnie było z rozwojem naszej cywilizacji. Milion lat temu *Australopithecus* posługiwał się najprostszymi narzędziami, ale dopiero *Pithecanthropus* 400 tys. lat temu nauczył się wzniesić ogień. Człowiek pierwotny zbierał i gromadził w swej pamięci (jednostkowej i zbiorowej) informacje o otaczającym go świecie, które miały wpływ na jego egzystencję. Z czasem nauczył się je praktycznie wykorzystywać.

Truizmem będzie stwierdzenie, że rozwój nauk był nieodłącznym składnikiem rozwoju cywilizacyjnego człowieka. Prześledźmy oba te procesy. Na wstępie zauważmy, że rozwój cywilizacji nie przebiegał liniowo. W społeczeństwach pierwotnych i starożytnych nie istniała nawet świadomość postępu cywilizacyjnego. Ich historia miała charakter cykliczny; zmieniały się pokolenia, ale ich życie nie ulegało zauważalnym zmianom. To było jak pory dnia: świt, dzień, wieczór i noc; i jak pory roku, którym towarzyszyły te same zajęcia.

Pewnego rodzaju liniowość w pojmowaniu dziejów pojawiła się w judaizmie: było stworzenie świata, oczekiwanie na mesjasza i koniec dziejów. Świadomość liniowości dziejów człowieka ujawniła się, gdy zaczęto badać te dzieje. Okazało się wówczas, że zmiany polityczno-społeczne nie podlegają zasadzie liniowości. Zasadzie tej nie podlegają też takie dziedziny działalności człowieka jak literatura czy sztuka. Eposy Homera, tragedie Ajschylosa, rzeźby Praksytelesa są równie doskonałe jak dzieła Michała Anioła, poezja Petrarcki czy obrazy Williama Bouguereau. Nie można też stwierdzić wyższości dzieł impresjonistów nad dziełami akademików, bo są to dwa różne rodzaje ekspresji malarskich.

Jedyną dziedziną, w której tę liniowość można zauważyć, to nauki przyrodnicze. I choć o naukowości tych dziedzin można mówić dopiero od czasów Bacona, Galileusza, Kartezjusza i Newtona, to nie należy odrzucić tego wszystkiego, co było udziałem ich poprzedników, bowiem nauki przyrodnicze mają charakter kumulatywny, tzn. kolejne generacje przejmują wiedzę i doświadczenie swych poprzedników.

### Kiedy zaczyna się historia fizyki?

Nie można stwierdzić kiedy zaczęła się historia fizyki. Zapewne już pierwotny człowiek obserwował właściwości ciał i starał się je wykorzystywać. Szybko zauważył, że ciała są ciężkie, a bezwładność kamienia ułatwia kruszenie kości lub ziaren; że krzemień jest twardszy od wapienia czy piaskowca, że upuszczone lub rzucone ciała spadają na ziemię, że woda płynie w dół, a nie w górę rzeki, że sprężystość gałęzi można wykorzystać do budowy

łuku, że bywają zimne noce i gorące dni. A gdy podniósł głowę, zobaczył wędrujące po błękitnym nieboskłonnie Słońce. W nocy zobaczył gwiazdy i Księżyc, który okresowo zmieniał swój kształt. Zauważył też, że pewne zjawiska wywołują określone skutki, a więc że z chmur pada deszcz, a po błyskawicy następuje grzmot; że gdy słońce przygrzewa, topi się śnieg; że wiejący wiatr może nie tylko uginać młode drzewa, ale i popychać łódź. Powoli gromadził elementarną wiedzę o przyrodzie i przekazywał ją swoim dzieciom. Był więc zarówno badaczem przyrody, jak i nauczycielem.

Warto zauważyć, że już wówczas człowiek szukał piękna i starał się je tworzyć. Świadczą o tym misterne zdobienia narzędzi czy do dziś budzące zachwyt rysunki w grotach Altamiry i Lascaux. A zatem już wówczas (górnicy paleolit) byli wśród nas artyści.

A astronomia? Pierwsze odkrycie polegało zapewne na dostrzeżeniu okresowych zmian pór dnia i zwiążanie ich z pozornym ruchem Słońca na niebie. Potem zauważono zmiany pór roku związane z wysokością Słońca na niebie, przesuwania się miejsc wschodu i zachodu Słońca na horyzoncie oraz długości dnia i nocy. Zapewne dla pierwotnych zbieraczy żyjących na afrykańskich sawannach różnice te mogły być niezauważalne, bo opisane wyżej zmiany są tam niewielkie, ale gdy człowiek zasiedlił tereny na północ od Morza Śródziemnego, to stały się one ważne, gdyż zależał od nich jego byt. Szczególnie ważne stały się one, gdy człowiek zaczął uprawiać ziemię. Decydujący był wówczas moment zasiewu. I tu na pomoc przyszły obserwacje astronomiczne. W starożytnym Egipcie zauważono, że gdy tuż przed wschodem Słońca pojawił się na niebie Syriusz<sup>1</sup>, wkrótce nastąpi zyciodajny wylew Nilu. To tylko krok do stwierdzenia, że zjawiskami na Ziemi – jak w astrologii – rządzą ciała niebieskie.

W Anglii zachowały się megalityczne budowle, składające się z koncentrycznie ułożonych głazów wskazujących punkty na horyzoncie, w których wschodzi lub zachodzi Słońce w dniach równonocy wiosennej i jesiennej oraz przesilen – letniego i zimowego. Najbardziej znanym tego typu obiektem jest – zbudowane ok. 2800 roku p.n.e.<sup>2</sup> – Stonehenge w Hrabstwie Wiltshire w południowej Anglii. Należy przy okazji podziwiać umiejętności techniczne, jakie były potrzebne do budowy tego prawdopodobnie pierwszego europejskiego obserwatorium astronomicznego

lub swoistego kalendarza pomagającego ustalać pory siewu.<sup>3</sup>

### A kiedy pojawiła się matematyka?

Zapewne wówczas, gdy pierwotny „matematyk” zauważył związek pomiędzy pięcioma zwierzętami na sawannie i jego pięcioma palcami. Dodam, że to matematyka i geometria były tymi naukami, które najlepiej rozwinęły się w starożytności.<sup>4</sup>

Duże sukcesy odnieśli też obserwatorzy nieba. Niech o tym świadczy fakt możliwości w miarę dokładnego określenia momentu mającego nastąpić zaćmienia Słońca, które opisał Bolesław Prus w *Faraonie*.<sup>5</sup> Świadczyć to może o znaczącej wiedzy astronomicznej egipskich kapłanów. Warto tu dodać, że kilka wieków później Tales z Miletu przewidział zaćmienie Słońca, które nastąpiło w 585 r. w czasie bitwy Medów z Licyjczykami.

Na uwagę zasługują także prace takich astronomów starożytnej Grecji jak: Eudoksos z Knidos (408-355 p.n.e.),<sup>6</sup> Arystarch z Samos (320-250 p.n.e.), Eratostenes Cyrene (275-194)<sup>7</sup>, Hipparch z Nicei (190-125 p.n.e.) a potem Klaudiusz Ptolemeusz (100-168 n.e.).<sup>8</sup>

Niestety, fizyka pozostawała w tym czasie nauką intuicyjną,<sup>9</sup> choć duże postępy poczyniono w mechanice. Prawdopodobnie było to potrzebne ówczesnym budowniczym. Starożytna Grecja dała ludzkości rozwój matematyki, myśli filozoficznej oraz wspaniałe dzieła kultury,<sup>10</sup> ale przyrodę rozumiano w sposób intuicyjny. Ówczesna fizyka była nauką spekulatywną i nie miała charakteru praktycznego. To był dział filozofii.<sup>11</sup> Zresztą, nazwa fizyki jako filozofii przyrody dotrwała niemal do czasów współczesnych.

Pierwsze dziesięć wieków historii nowożytnej nie były pomyślne dla rozwoju europejskiej nauki i techniki. Rozpad Cesarstwa Rzymskiego, najazdy plemion koczowniczych, ekspansja arabska nie sprzyjały polityczno-gospodarczej stabilizacji i rozwojowi cywilizacyjnemu. Jak duże było cofnięcie się nauki i techniki w porównaniu z czasem świetności Rzymu, niech świadczą trudności, jakie napotkali budowniczowie, gdy w 1586 roku papież Sykstus V zaproponował przesunięcie stojącego obecnie na Placu św. Piotra obelisku z miejsca oddalonego o 250 m od obecnego, choć dla inżynierów egipskich sprzed tysiąca lat fraszką było jego wykonanie oraz transport z Asuanu do odległego o blisko 1000 km Heliopo-

<sup>1</sup> Najjaśniejsza (po planetach) gwiazda naszego nieba, widoczna zimą na lewo od Oriona. Jej heliakalny wschód w Egipcie następuje w pierwszej dekadzie lipca.

<sup>2</sup> Na dość precyzyjne ustalenie tego czasu pozwalają metody dostarczone przez fizykę, a mianowicie: badanie zawartości radioaktywnego izotopu węgla <sup>14</sup>C w drewnie.

<sup>3</sup> Z tego typu budowłami wiązano wówczas elementy kultu religijnego.

<sup>4</sup> Warto wspomnieć tu choćby Talesa z Miletu (ok. 640–654 p.n.e.) czy późniejszego Pitagorasa z Samos (572–497 p.n.e.).

<sup>5</sup> Okres panowania Ramzesa II (?–1234 p.n.e.).

<sup>6</sup> Uczony ów kilka lat spędził w egipskim Heliopolis, gdzie zapoznawał się z osiągnięciami naukowymi kapłanów świątyni boga Słońca.

<sup>7</sup> Był on dyrektorem biblioteki w Aleksandrii, a wslawił się m.in. obliczeniem promienia Ziemi.

<sup>8</sup> Potem nastąpiła przerwa w zasadzie aż do M. Kopernika (1473–1543), Galileusza (1564–1642) i J. Keplera (1571–1630).

<sup>9</sup> Wielu z nas nadal odnosi się do zjawisk fizycznych w sposób intuicyjny.

<sup>10</sup> Warto zauważyć, że nauka i kultura szczególnie pomyślnie rozwijały się w okresie świetności państw. Tak było np. w Atenach za czasów Peryklesa (500–429 p.n.e.). Okres ten nazwano później złotym wiekiem Aten.

<sup>11</sup> Należy tu wymienić takich uczonych-filozofów jak wspomniany już Tales z Miletu oraz Demokryt z Abdery (460–370 p.n.e.), Arystoteles (384–322 p.n.e.), Epikur (341–270) czy Archimedes (287–212 p.n.e.).

<sup>12</sup> H. Lippershey, Holandia 1608-09. Ale właśnie dzięki lunecie Galileusz odkrył księżyc Jowisza i plamy na Słońcu.



Pałac Knossos na Krecie. Foto – wikimediacommons

lis. Potem za czasów Cesarstwa Rzymskiego obelisk ten przewieziono do Rzymu i tam ustawiono, a ma on 25 m wysokości i masę 327 ton.

### Technika leczy, technika zabija

Kumulatywnemu rozwojowi nauk przyrodniczych towarzyszył rozwój techniki, a rozwój techniki umożliwiał dalszy postęp w naukach przyrodniczych. Obie te dziedziny są ze sobą ściśle powiązane; fizyka dostarcza odkryć, które pozwalają na budowę nieznanymi dotąd urządzeń, zaś technika, dostarczając fizykom urządzeń badawczych, umożliwia dokonywanie następnych odkryć. Niech przykładem będzie tu mikroskop, teleskop czy laser. Wiedza z zakresu optyki ułatwiła ich budowę, a one umożliwiają fizykom i astronomom odkrywanie nowych, nieznanymi dotąd zjawisk. Odkrycie zjawiska półprzewodnictwa pozwoliło na skonstruowanie diody i tranzystora, a te na budowę i miniaturyzację wielu urządzeń, w tym i komputera. Laser nie tylko mierzy, bawi i uczy, ale dzięki niemu można bezboleśnie wykonywać operacje.

Niestety, postęp w dziedzinie techniki nierzadko wynikał z potrzeb militarnych. Wspomnianą tu lunetę<sup>12</sup> zbudowano dla obserwacji pola walki, radar powstał dla obrony przed atakami lotnictwa niemieckiego, pierwsze reaktory atomowe służyły wyprodukowaniu bomby atomowej, pierwsze silniki rakietowe – zanim wyniosły człowieka w kosmos – służyły do przenoszenia bomb. Pierwszy komputer zbudowany w 1942 r. też służył do celów wojskowych. Oby tego typu przykładów było jak najmniej! Na szczęście przekonanie o konieczności zachowania pokoju ma już długą historię.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Idea ta sięga pierwszych greckich olimpiad. Na wzmiankę zasługuje też fakt, iż na soborze w Konstancji (1414-1418) zabroniono używania kusz jako zbyt niebezpiecznej broni. Na tym samym soborze ówczesny rektor Uniwersytetu Jagiellońskiego Paweł Włodkowic (~1370-1435) bronił racji Polski w sporze z Zakonem Krzyżackim. Był też twórcą polskiej szkoły prawa wojennego.

<sup>14</sup> Nestorianie osiedlili się na terenie obecnej Syrii.

<sup>15</sup> Działo jedynie 21 lat – do śmierci Uług-Bega.

<sup>16</sup> Król Władysław Zygmunt Waza żywo interesował się nauką; korespondował z Galileuszem, m.in. prosząc go o przysłanie szkielec do lunety. Był też zwolennikiem teorii kopernikańskiej. Z polecenia króla kapucyn Walerian Magni (w lipcu 1647 r.) przeprowadził w Warszawie doświadczenie wykazujące istnienie ciśnienia powietrza.

### Rozwój z licznymi przerwami

Warto zauważyć, że w rozwoju cywilizacyjnym ludzkości bywały liczne przerwy. Na przykład na Krecie rozwijała się cywilizacja minojska (lata 1700-1450 p.n.e.), która prawdopodobnie uległa zagładzie w wyniku katastrofalnego wybuchu wulkanu na pobliskiej wyspie Santoryn. Potem Achajowie stworzyli kulturę mykeńską (1450-1200 r. p.n.e.). Ich stolicą były Mykeny na Peloponezie. Gdy kilka wieków później Grecy odkryli potężne budowle z tego okresu, sądzili, że mogli je stworzyć jedyne nadludzie – cyklopi.

Po rozpadzie państwa Aleksandra Wielkiego centrum kultury przeniosło się do założonej przez niego w 332 r. w delcie Nilu Aleksandrii. Tu działała sławna biblioteka zawierająca ok. 700 tys. dzieł – z całego dorobku kultury greckiej. Była ona swoistym uniwersytetem gromadzącym licznych uczonych i uczniów. Tu działał Heron (10-80 n.e.) i Ptolemeusz (100-160 n.e.); tu żyła też matematyczka, astronom i filozof – Hypatia (370-415 n.e.), zamordowana przez podburzony tłum. Niestety, w czasie najazdu Arabów w 642 r. biblioteka została spalona, w wyniku czego zniszczony został znaczący ośrodek cywilizacji europejskiej.

Gdy rozwój europejskiej cywilizacji uległ zahamowaniu, dynamicznie rozwijała się nauka w niektórych emiratach arabskich. Takim ośrodkiem na przełomie I i II tysiąclecia była stolica kalifatu kordobańskiego – Kordoba. Tu zjeżdżali się po wiedzę nie tylko Arabowie, ale i Europejczycy. Tu wykładano dzieła Arystotelesa, które – dzięki nestorianom wyrzuconym z Cesarstwa Bizantyjskiego – zostały przetłumaczone na język arabski.<sup>14</sup> Tak też było za panowania Uług-Bega (1394-1449), który polecił wybudowanie w swej stolicy, Samarkandzie, potężne obserwatorium astronomiczne.<sup>15</sup>

Korzystne warunki dla rozwoju cywilizacji europejskiej wystąpiły w XII w. Okres ten nazwano *odrodzeniem*. Zapoczątkowane zostało w bogacących się na handlu miastach włoskich, a objawiło się głównie rozwojem kultury i sztuki. Sprzyjała temu stabilizacja polityczna Europy, stwarzająca możliwości swobodnej ekspansji oświeceniowej myśli. Bogacące się warstwy społeczne sponsorowały twórców. Wzrosło zapotrzebowanie na budowniczych i twórców dzieł sztuki. Jednakże nauki przyrodnicze rozwijały się bardzo wolno. Gwałtowne przyspieszenie ich rozwoju nastąpiło dopiero w XVII w., dając początek *oświeceni*, przy czym owo „oświecenie” dotyczyło głównie elit.

W tym momencie warto zauważyć fakt dużego zainteresowania naukami ścisłymi niektórych ówczesnych władców – polskiego króla Zygmunta III Sasa (1566-1632)<sup>16</sup>

czy szwedzkiej królowej Krystyny (1626-1689). Zapraszali oni na swoje dwory uczonych i chętnie słuchali ich wykładów. Modne stało się posiadanie własnych bibliotek, obserwatoriów astronomicznych czy laboratoriów. Należy tu odnotować osiągnięcia takich uczonych jak W. Gilberta (1540-1603), Galileusza (1564-1642),<sup>17</sup> J. Keplera (1571-1630),<sup>18</sup> O. Guericke'go (1602-1686), E. Torricellego (1608-1647), B. Pascala (1623-1662), R. Boyle'a (1627-1691), Ch. Huyghensa (1629-1695), R. Hooke'a (1635-1703) czy wreszcie Izaaka Newtona (1642-1727). Niestety, w sferze techniki niewiele się zmieniło; nadal siłą pociągową był koń, a oświetlenie domostw stanowiły świece. Wciąż jeszcze 60 procent dzieci umierało, zanim doczekało się dorosłości.

## Wielki przełom

Naprawdę wielki cywilizacyjny przełom dokonał się dopiero w XIX w.<sup>19</sup>, kiedy to nastąpił szybki rozwój sił wytwórczych, a współpraca państw umożliwiła swobodny przepływ nie tylko towarów i usług, ale i myśli naukowo-technicznej. Towarzyszył temu rozwój wszelkich sztuk. Europejskie uniwersytety i akademie otwarte były dla wszystkich pragnących (i mogących) studiować.<sup>20</sup> Coraz szersze warstwy ludności zaczęły żyć dostatniej, lepiej

i zdrowiej. Zaczęto podróżować koleją i samochodami, używać prądu elektrycznego, komunikować się telegrafem, a potem telefonem, nauczono się budować samoloty, zaczęto dokumentować swe życie fotografią, a szczepionki spowodowały ograniczenie występowania chorób zakaźnych. Nastąpił szeroki rozwój szkolnictwa. Pojawiły się też systemy ochrony socjalnej.<sup>21</sup> Zwiększenie wydajności pracy umożliwiło skrócenie dnia roboczego. Pojawiła się większa i szerzej adresowana możliwość konsumpcji dóbr kulturalnych. Nastąpił gwałtowny rozwój piśmiennictwa i kinematografii, zaczęto tworzyć muzea i organizować towarzystwa naukowe<sup>22</sup>, a szkolnictwo podstawowe stało się powszechne.

Załamaniem się tego pozytywnego trendu nastąpiło po 1914 r., kiedy to ujawniły się mocarstwowe interesy niektórych państw, a na ich gruzach pojawiły się państwa totalitarne. Na szczęście ów okres trwał tylko 75 lat – do roku 1989. Dziś powraca XIX-wieczna możliwość swobodnej wymiany myśli, dóbr materialnych i kulturalnych, co powinno sprzyjać dalszemu rozwojowi nauki i techniki.

Należy tylko życzyć, aby obie te dziedziny dobrze służyły człowiekowi.

Waldemar Reńda,  
Olkusz

<sup>17</sup> Rówieśnikiem Galileusza był W. Szekspir (1564-1616).

<sup>18</sup> Należy tu również wspomnieć o gdańskim astronomie Janie Heweliuszu (1611-1687).

<sup>19</sup> Po Kongresie Wiedeńskim 1814/15, będącym pierwszą próbą utworzenia międzynarodowego ładu i skutecznej nad nim kontroli.

<sup>20</sup> Nigdy wcześniej ani później nie było w Polsce np. tylu wspaniałych malarzy, poetów, muzyków.

<sup>21</sup> Bismarck wprowadził ubezpieczenia społeczne i emerytury oraz ograniczył czas pracy.

<sup>22</sup> W Polsce Towarzystwa Naukowe powstały w Krakowie (1816), w Lublinie (1818), Płocku (1820) i innych miastach.



Podbój Kosmosu otworzył nową erę w rozwoju cywilizacji. Foto – wikimediacommons

# Cztery i pół stanów skupienia. V. Wszystkie stany skupienia

W serii artykułów rozważaliśmy cztery stany skupienia. Podsumujmy główne punkty dydaktyczne. Za „moich” czasów szkolnych te punkty były proste: - ciała stałe mają określoną objętość i określony kształt, ciecze – tylko określoną objętość, a gazy – ani objętości, ani kształtu. Dziś, z perspektywy różnych lektur – nazwałbym te proste, szkolne klasyfikacje nieco „filozoficznymi”: logicznymi, prostymi do zapamiętania, ale nie do końca prawdziwymi. Fizyka jest o wiele bardziej skomplikowana.

Grzegorz Karwasz

## Wstęp

Rozważania o stanach skupienia ułatwia dzisiejsza wiedza o atomowej strukturze materii. Krótko:

1) w ciałach stałych atomy (cząsteczki) są blisko siebie, i są (w kryształach) ułożone w uporządkowany sposób,

2) w cieczech atomy są blisko, ale nie mają stałych pozycji,

3) w gazach atomy są od siebie daleko i brak jest jakiegokolwiek uporządkowania,

4) a zjonizowany gaz (tzn. składający się nie z atomów, ale z jonów i elektronów) nazywamy plazmą.

Z tych wszystkich analogii pojawiają się pytania, na pozór absurdalne:

4  $\frac{1}{4}$  czy istnieją ciecze, które są uporządkowane kierunkowo jak ciała stałe?

4  $\frac{1}{2}$  a może istnieje gaz, w którym atomy są odległe, ale uporządkowane jak w kryształach?

4  $\frac{3}{4}$  czy istnieją ciała stałe, w których atomy nie mają stałych pozycji? Lub czasem (w tej samej temperaturze) są kruche a czasem plastyczne?

Odpowiedź na te wszystkie pytania jest: tak! Mamy więc dodatkowe „stany skupienia”:

Czytelnik rozumie teraz, skąd ten dziwny, niezbyt gramatyczny tytuł całej serii [1-4].

## 1. Ciała stałe

Do zapamiętania są typowe odległości w ciałach stałych, które, zresztą, pozwalają na „policzenie” atomów a przez to wyznaczenie stałej Avogadra [5].

a) Ciała stałe mają uporządkowaną strukturę (najczęściej krystaliczną): atomy (drobiny) są od siebie w odległościach rzędu 1 Ångstroma (czyli 0,1 nm). 1 Å to też typowe „promienie” atomów i drobin, niezależnie czy mówimy o wodorze czy ołowiu.

b) W związku z tym, makroskopowo, ciała stałe mają (w miarę) określoną objętość i określony kształt.

c) Atomy drgają (nawet w 0° K): amplituda tych drgań rośnie z temperaturą, stąd rozszerzalność termiczna. W niektórych zakresach temperatur (jak dla Ge w okolicach 60 K) ten współczynnik może być ujemny [6], czyli ciała kurczą się wraz ze wzrostem temperatury: zmienia się uporządkowanie atomów. Ale, aby nie szukać tak egzotycznych przykładów – gumka recepturka też kurczy

się ze wzrostem temperatury: polimery, z których jest zbudowana, drgając zaczynają się skręcać.

d) Działające siły (we wszystkich stanach skupienia, a w ciałach stałych najbardziej ewidentnie) to siły elektrostatycznego przyciągania, jeśli atomy próbujemy rozdzielić (stąd własności mechaniczne jak sprężystość). Oddziaływanie to może mieć naturę:

- „van der Waalsa” jak między łańcuchami polimerów w polietylenie (przyciąganie się zdeformowanych chmur elektronowych),
- „metaliczną” – część elektronów jest „wspólnionych” między atomami; dodatkowo więc jony „zanurzone są” w morzu swobodnych (a ujemnych) elektronów,
- jonową – czyli przyciągania się elektrostatycznego dodatnich (np.  $\text{Na}^+$ ) i ujemnych (np.  $\text{Cl}^-$ ) jonów (w  $\text{NaCl}$ ).

e) Z różnic między naturą wiązań wynika podział na ciała plastyczne (np. wiązania między łańcuchami polimerów są natury van der Waalsa), sprężyste (wiązanie metaliczne), i kruche jak sól kuchenna.

f) Na bliskich odległościach zgmiotane chmury elektronowe się odpychają, stąd mała ściśliwość ciał stałych.

g) Ale współczynniki zgmiotania (naprężenia niezbędne do odkształcenia) i rozciągania dla danego ciała bywają różne: beton dobrze znosi zgmiotanie, ale fatalnie rozciąganie i zgmiotanie. Stąd „żelbeton”, czyli beton zbrojony karbowanymi prętami stalowymi: beton zapewnia odporność na zgmiotanie a pręty na rozciąganie i zgmiotanie żelbetowej belki. Ale gdy żelazo skoroduje, wiadukt się zapada, jak to było w Genui latem 2019 roku...

h) Strukturę podobną do zbrojonego betonu ma porcelana, skorupy małży, kadłuby „plastikowych” łódek (zbudowane z włókna szklanego i wypełniacza z żywicy chemo-utwardzalnej).

i) Wbrew pozorom, ciała stałe są najbardziej skomplikowanym stanem skupienia. Nawet proste związki chemiczne, jak  $\text{SiO}_2$  czy  $\text{CaCO}_3$  tworzą kryształy o skomplikowanych symetriach, stąd zjawisko piezoelektryczne w kwarcu i dwójłomności światła w kalcycie [4].



j) Dodatkowo, ten sam pierwiastek może krystalizować w różnych formach. Fosfor wykazuje aż trzy odmiany (alotropowe) a cyna w zależności od formy krystalicznej (i temperatury) może być metalem lub półprzewodnikiem. Nawet lód ( $\text{H}_2\text{O}$ ) wykazuje 16 (albo i więcej) odmian krystalicznych, oczywiście pod różnymi ciśnieniami i w różnych temperaturach.

k) Dla mieszanin (w przypadku metali zwanych stopami) bogactwo form (tzn. układów krystalograficznych, roztworów stałych i związków między metalicznymi) jest przeogromne. Na rys. 1. pokazujemy wykres fazowy brązu – stopu, który stworzył pierwszą technologicznie zaawansowaną cywilizację: ilość faz i związków między-metalicznych jest trudna do zliczenia. A ludwisarzy, potrafiących odlewać dzwony, zostało w Europie kilka tylko rodzin.

## 2. Ciecze

Przypomnijmy kilka cech cieczy.

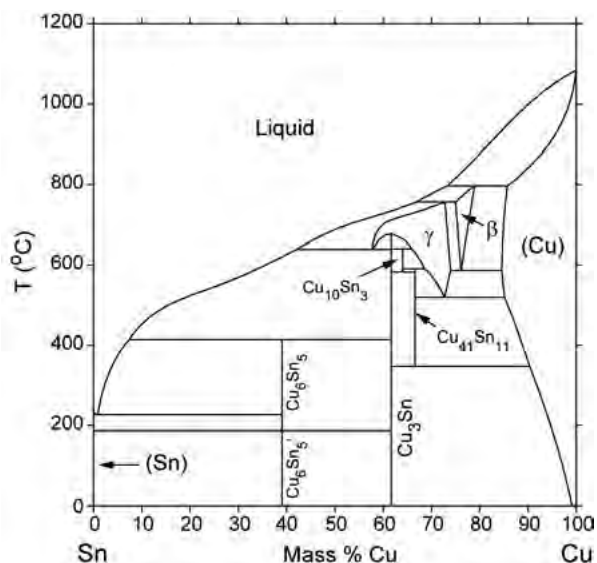
a) Struktura cieczy jest nieuporządkowana, mimo że atomy (cząsteczki) są niewiele dalej od siebie niż w ciałach stałych (a w wodzie, w temperaturze  $4^\circ\text{C}$  nawet bliżej niż w lodzie w  $0^\circ\text{C}$ ).

b) Z braku ustalonych wiązań *kierunkowych* wynika, że ciecze nie mają kształtu.

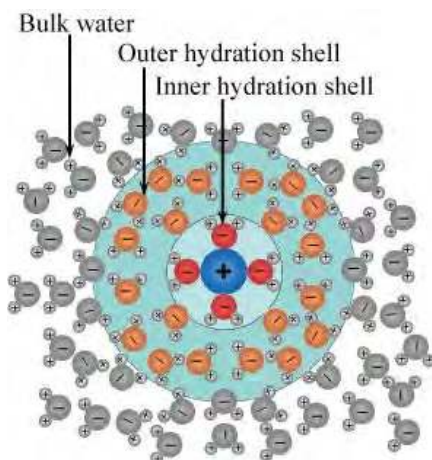
c) Rozszerzalność termiczna cieczy wynika z tych samych powodów co ciał stałych. I podobnie jak dla ciał stałych, w zakresie małych przedziałów temperatur jest ona liniowa. Ale przypominamy, że współczynnik rozszerzalności termicznej wody jest silnie zależny do temperatury – może to być związane np. z tworzeniem się jakiś agregatów, tzw. klasterów [3].

d) Siły oddziaływania w cieczech to głównie odpychanie się. Woda (i olej) tworzy krople, ale wynika to głównie z sił działających na powierzchni (zob. foto lampy „lawa” w naszej kolekcji „Fizyka i zabawki” [7]).

e) Ale oczywiście, atomy (drobiny) będąc w cieczech blisko siebie – przyciągają się. W ciałach stałych to przy-



Ryc. 1. (a) Gigantyczny (200 ton) dzwon z brązu na Kremlu. Nigdy nie zadzwonił, pękł polany wodą w czasie pożaru. Foto: Maria Karwasz. (b) Teoretyczny wykres fazowy brązu, czyli stopu cyny z miedzią. Źródło: NIST.



Ryc. 2. (a) W cieczech też może zaistnieć uporządkowanie: dookoła jonu  $\text{Na}^+$  cząsteczki wody tworzą dwie powłoki „solvacyjne” [8]. (b) W mroźną noc napłynęło wilgotne powietrze z nad morza: na gałęziach czereśni osadziła się para wodna w postaci szadzi. Foto Maria Karwasz, Sopot, 13/01/2017.

ciąganie ma określone kierunki – stąd struktura kryształów. W cieczech – ruch termiczny cząsteczek – drgania i obroty nie pozwalają na ustabilizowanie się kierunkowych wiązań.

f) Ale jak pisaliśmy, nawet w cieczech można znaleźć uporządkowania dalszego zasięgu, jak np. tworzenie się „powłok” zorientowanych cząsteczek  $\text{H}_2\text{O}$  dookoła rozpuszczonego w wodzie jonu, ryc. 2a.

g) Woda, zamarzając oddaje sporo ciepła (80 cal/g). W sadach w północnych Włoszech, gdzie wiosenne przymrozki często się zdarzają, rolnicy rozpylają wieczorami wodę: ta zamarzając nagrzewa powietrze, nie pozwalając na zbyt niską temperaturę. Kolejna kompetencja praktyczna fizyki.

h) A w mroźną zimową noc para wodna z powietrza nie skrapla się w rosę, ale osadza na gałęziach drzew jako szadź, ryc.2b. Mówimy o re-sublimacji.

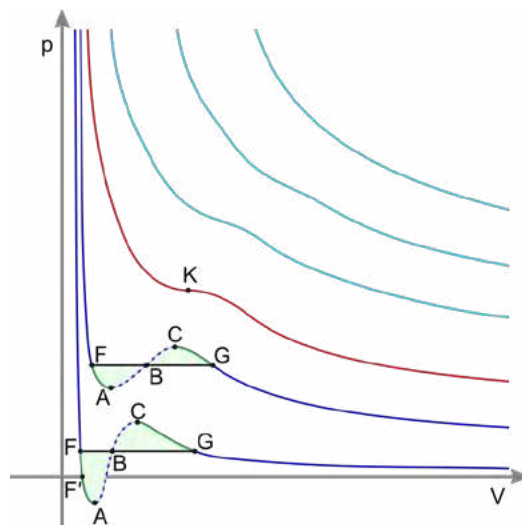
### 3. Gaz czy para?

1) W gazach atomy są na odległościach rzędu kilkudziesięciu rozmiarów atomów. Przyjmując „promień”  $\text{N}_2$  z doświadczalnych badań rozprożeń pozytonów w ga-

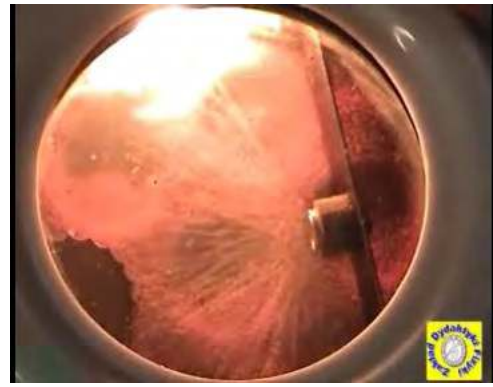
zach [9] około 1,1 Å, w temperaturze 300 K i pod ciśnieniem atmosferycznym (1013 hPa, czyli mniej więcej ciśnieniem, jakie wywiera kilogramowy odważnik na paznokieć małego palca), cząsteczki  $\text{N}_2$  są od siebie o jakieś 30 ich „promieni”.

2) Atomy (drobiny) gazów, przynajmniej w modelu gazu doskonałego nie oddziałują ze sobą, z wyjątkiem zderzeń, które są zderzeniami punktów materialnych, czyli obiektów o zerowych rozmiarach. Oczywiście gazy, te rzeczywiste, są inne. Kiedy atomy (drobiny) są blisko siebie – zaczynają się przyciągać: tak powstaje para nasycona, a z niej rosa. Na jakich odległościach zachodzi do przyciąganie, zależy od rodzaju cząsteczki. Dla wody, cząsteczki „polarnej” (tzn. takiej, która ma stały dipolowy moment elektryczny) jest to znacznie więcej niż dla metanu, który ma tę samą masę molową co  $\text{H}_2\text{O}$ , ale nie ma stałego momentu dipolowego. Tak więc temperatura skraplania  $\text{CH}_4$  (pod ciśnieniem atmosferycznym) wynosi  $-161,6^\circ\text{C}$ .

Ściskanie gazu powoduje zmniejszenie odległości, więc sprzyja skraplaniu. Albo inaczej: temperatura wrzenia rośnie w miarę wzrostu ciśnienia – przypominamy jak niebezpiecz-



Ryc. 3. (a) Przykrywka na garnku służy to tego, aby ogromna ilość pary wodnej nie skraplała się w zimnych kątach kuchni (przypominamy ciepło parowania wody, 540 cal/g, w  $100^\circ\text{C}$ ). Foto Maria Karwasz. (b) Izotermi  $V$ - $p$  dla rzeczywistego gazu, dla różnych temperatur. Poniżej temperatury krytycznej (izoterma czerwona ze znacznikiem K) krzywe charakteryzują zarówno (mało ściśliwe) ciecze (obszar po lewej stronie, przy osi OY) jak i pary, zwiększające znacznie swą objętość przy małej zmianie ciśnienia. Wrzenie zachodzi pod stałym ciśnieniem (i przy stałej temperaturze) – odcinki płaskie izoterm. Krzywe FA to ciecz przegrzana, CG – para przeschłodzona. Źródło: Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Real\\_gas](https://en.wikipedia.org/wiki/Real_gas)



Rys. 4. (a) Smugi chmur cirrus na trasie wznoszenia się samolotów z lotniska w Gdańsku. Dwa dni później padał deszcz. Foto: M. Karwasz. (b) Komora Wilsona: adiabatyczne rozprężenie powietrza powoduje spadek temperatury, para alkoholu etylowego staje się nasycona i mikro-kropelki alkoholu kondensują na torach cząstek alfa emitowanych ze źródła radioaktywnego. Doświadczenie: Krzysztof Służewski. [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pokazy\\_2012/filmy/Komora\\_Wilsona.flv](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pokazy_2012/filmy/Komora_Wilsona.flv)

ne jest otwarcie gorącego szybkowaru. Nagłe zmniejszenie ciśnienia to zaistnienie warunków przegrzania cieczy – zawartość szybkowaru zacznie natychmiast wrzeć – czyli wybuchnie! Z kolei pod odpowiednio niskim ciśnieniem woda wrze w zerze Celsjusza, no, prawie w zerze.

c) Obserwowany makroskopowo „punkt potrójny” odpowiada warunkom, kiedy woda wrze a jednocześnie zamraża: zachodzi to w temperaturze  $0,01^{\circ}\text{C}$  i pod ciśnieniem  $0,006\text{ atm}$ . (używamy od czasu do czasu jednostek nie do końca legalnych, ale za to bardziej „obrazowych”). Wykres punktu potrójnego wody jest łatwy do znalezienia w Internecie.

d) Na małych odległościach cząsteczki (lub atomy) gazów zaczynają się przyciągać. Czyli, sprężanie gazu jest sposobem na jego skroplenie. To udało się w kwietniu 1883 roku chemikowi Karolowi Olszewskiemu i fizykowi Zygmuntowi Wróblewskiemu z tlenem ( $-183^{\circ}\text{C}$ ) i z azotem (w  $-196,8^{\circ}\text{C}$ ). Ta różnica temperatur pozwalała na pokazanie skraplania się tlenu z powietrza na puszcze z ciekłym azotem, zob. [2].

Ale samo sprężanie gazów nie wystarcza do ich skroplenia: trzeba ograniczyć ruchy termiczne drobin, czyli obni-

żyć temperaturę. Powyżej pewnej temperatury granicznej nie ma co sprężać gazu: i tak się nie skropli. Dla metanu temperatura ta wynosi  $-82,6^{\circ}\text{C}$ , dla azotu  $-146,9^{\circ}\text{C}$ .

e) Skraplająca się para wodna – „duszna” atmosfera w saunie, kiedy ktoś nieuważnie połał gorące kamienie, a także „przenikliwe zimno” w listopadzie – to już nie gaz, ale jeszcze nie ciecz. Możemy powiedzieć – gaz niedoskonały. Równanie gazu ulega więc modyfikacji, aby uwzględnić przyciąganie się cząsteczek na dużych odległościach i odpychanie na małych. Równanie to, tzw. van der Waalsa, już przytaczaliśmy [2].

Dla kompletności, na rys. 3b podajemy krzywe V-p dla rzeczywistego gazu, dla różnych temperatur. Dla wysokich temperatur (duże odległości między cząsteczkami) prawo Boyle’a-Mariotte’a  $pV = \text{const}$  jest niezłe spełnione – obserwujemy „gładkie” hiperbole. Izoterma czerwona to punkt krytyczny: możliwe jest skroplenie, poprzez zwiększanie ciśnienia.

Z rys. 3b. widać też, że ciecze (te jednoskładnikowe) w trakcie wrzenia nie zmieniają swej temperatury – są to „płaskie” odcinki izoterm. Może się zdarzyć, że ciecz nie wrze, mimo osiągnięcia odpowiednich warunków  $p$  i  $T$ : jest



Ryc. 5. (a) Ukierunkowany polimer. W tej okładce CD łańcuchy polimeru zostały, przypuszczalnie przypadkowo, zamrożone w ukierunkowany sposób w procesie produkcji. Polimer działa więc jak filtr polaryzacyjny. Odbicie żarówki, wskutek interferencji daje widoczną tu gamę kolorów uzupełniających: magenta, cyjan i żółć pojawiają się wskutek wygaszania innych barw, tak jak to ma miejsce w bańce mydlanej. (b) Ukierunkowany lód: wieczorem padał deszcz, a w nocy przyszedł niewielki mróz ( $-1^{\circ}\text{C}$ ). Powolne zamarzanie płytkiej kałuży wytworzyło na jej powierzchni gwiazdy z lodu, wielkości dłoni. Sopot, 13/02/2022. Foto GK.



Fot. 1.16. Nietypowe stany skupienia: a) szkło nie ma struktury krystalicznej, stąd jest czasem klasyfikowane jako ciecz „przechłodzona” (tu witraż średniowieczny z Hotel de Cluny); b) ciekłe kryształy, stosowane w niektórych wyświetlaczach telefonów i monitorach TV; c) „silly putty” – polimer silikonowy, plastyczny, sprężysty lub nawet kruchy, w zależności od szybkości deformacji; d) super lepka, samoprzelewająca się ciecz – raz rozpoczęte przelewanie będzie trwało tak długo, dopóki nie wyczerpie się zapas cieczy w górnej szklance; e) nitiol – stop niklu i tytanu wykazujący pamięć kształtu: zgięty, wyprostuje się w strumieniu ciepłego powietrza z suszarki do włosów

Ryc. 6. Nietypowe stany skupienia. Źródło: G. Karwasz i in. Toruński po-ręcznik do fizyki. [10]

to ciecz przegrzana – potrząśnięcie naczyniem spowoduje nagłe wrzenie, czyli wybuch. Z drugiej strony, para może nie kondensować, mimo że jest nasycona (przy danych  $p$  i  $T$ ): w komorze Wilsona pojawiają się smugi kropelki cieczy tylko w miejscach, gdzie przeleciała cząstka elektrycznie naładowana. Podobnie smugi po samolotach odrzutowych utrzymujące się przez dłuższy czas pokazują, że na wysokości 10 km powietrze jest już przesycone parą wodną: za 48 godzin nadejdą też niższe chmury, czyli deszcz, rys. 4a.

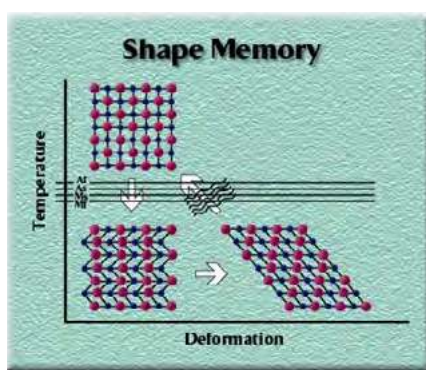
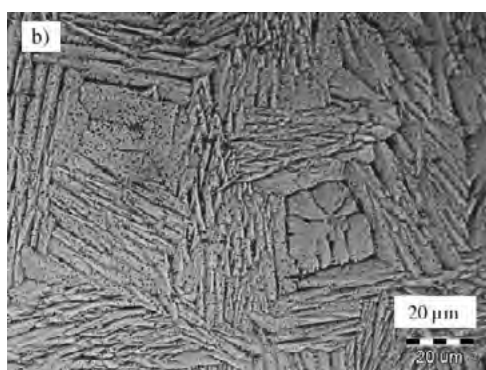
#### 4. Ciekłe kryształy, „pamiętliwe” metale

Szkło, a także polimery, jak polietylen, uważa się za ciała stałe „bezpostaciowe”, tzn. bez struktury krystalicznej, zwanej też strukturą dalekiego uporządkowania. Fotografia okładki płyty CD, przypadkowo zrobiona, ryc. 5a, pokazuje smugi kolorów (dopełniających). Światło zwykłej żarówki, odbijając się pod odpowiednim kątem (Brewstera) od powierzchni plastiku ulega polaryzacji. Ale światło odbija się dwa razy – od zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni. Jeśli łańcuchy polimeru są ukierunkowane, okładka ta działa jak filtr polaryzacyjny: dwie wiązki światła – spolaryzowana odbita od zewnętrznej powierzchni i dodatkowo spolaryzowana odbita od wnętrza – interferują, dając grę kolorów. Polimer, a jakby krystaliczny a przy tym jego ukierunkowanie widoczne „gołym okiem”.

Ciekłe kryształy to też długie łańcuchy, które ustawiają się odpowiednio w polu elektrycznym. Wyświetlacze telefonów komórkowych do niedawna działały w oparciu o tego rodzaju „ciekłe kryształy”, zob. ryc. 6. Uwaga: „szybkowne” okulary przeciwsłoneczne (jak np. okulary policjantów z Kalifornii) działają jak filtry polaryzacyjne: łatwiej prowadzi się samochód, bo okulary tłumią światło spolaryzowane, np. nieba lub odbić w kałużach. Ale na stacji kolejowej wyświetlacze rozkładów jazdy (takie szaro-czarne) działają (lub raczej działały) w oparciu o ciekłe kryształy: kolega fizyk z Poitiers nie zauważył odjazdu pociągu do Londynu, bo zapomniał, że ma na nosie polaryzacyjne okulary.

Na tym samym zdjęciu (ryc. 1.16, z naszego „Poręcznika do fizyki” [10]) pokazujemy metal z pamięcią kształtu. Zwijamy drucik w pogiętą spiralę, podgrzewamy zapalniczką i drut „sam się” prostuje. Zagadka?

Drut ten, to specjalny stop, 50/50 Ni/Ti, tzw. NiTiNol. W artykule o ciałach stałych mówiliśmy o różnych postaciach krystalicznych stali: sześcianów lub wydłużonych prostopadłościanów (tzw. ferryt lub martenzyt). Stal hartowana jest dlatego „oporna” na zginanie, bo martenzyt tworzy długie igły. Otóż nitiol też ma strukturę martenzytu. Zginanie drutu nie deformuje kryształów martenzytu, ale je przesuwa. Podgrzanie powoduje powrót kryształów na poprzednie miejsca. Ale co to znaczy „poprzednie



Ryc. 7. (a) Mikrostruktura stopu z pamięcią kształtu, NiTi: igły martenzytu i skupiska austenitu [11]. (b) Zginanie powoduje przesuwanie się igieł, ale nie ich deformację. Źródło: Nitinol Devices and Components, <http://www.nitinol.com/images/3slide3.gif> (dostęp VIII 2005)



Ryc. 8. (a, b) Dwa doświadczenia z ciałami stałymi. (a) Polimer, który wykazuje histerezę kształtu: sprężyna rozciągnięta do 4-krotnej długości, po usunięciu siły potrzebuje kilkunastu sekund, aby wrócić do pierwotnego rozmiaru (środkowa fotografia zrobiona 3 sekundy po usunięciu siły rozciągającej). (b) Sprężystość szkła. Płaska butelka o pojemności 500 cm<sup>3</sup>, ściśnięta „z całej siły” dwoma kciukami zmniejsza swą objętość o około 0,5 cm<sup>3</sup>. Dla lepszej wizualizacji warto użyć węższej słomki. Idea: mgr Hieronim Ratajczak. Foto: M. Karwasz, kciuki GK. (c) Klej to też ciecz nie-newtonowska: zrywając etykietę z pudełka z zabawkami należy ciągnąć powoli – wówczas klej „płynie” pod wpływem niewielkiej siły a papier nie zrywa się (= kolejna kompetencja praktyczna).

miejsca”? To te, które zajęły kryształy w trakcie pierwotnego formowania (prostego) drutu, czyli w 450°C. Niby ciało stałe, a kształt swój zmienia.

## 5. „Ciecze nie-newtonowskie”

Młodzież, szczególnie ta nieco starsza, na pokazach interaktywnych, zobaczywszy odbijającą się „silly putty” (rys. 6c) wymienia jednym tchem: ciecz nie-newtonowska. Tak jakby Newton był specjalistą od plastyczności – sprężysto – kruchych silikonowych polimerów. Samo pojęcie niewiele nam mówi. Newton rzeczywiście zdefiniował lepkość cieczy (pisaliśmy o tym w [3]). Ale te dziwne polimery, odkryte przypadkowo i nadal bez jas-

nych zastosowań, należałoby raczej nazwać: ciałami stałymi nie-Hooke’a. Dlaczego?

W artykule o ciałach stałych pokazywaliśmy odkształcenie (np. wydłużenie) ciała stałego w zależności od przyłożonej siły. W odpowiednio małym zakresie sił (a w zasadzie „naprężeń”) wszystkie ciała stałe, łącznie z „przeżutą” gumą do żucia są sprężyste. Ale nawet stal (niskowęglowa) przy dużych naprężeniach zaczyna „płynąć”, czyli wydłużać się bez zwiększania siły. To co odróżnia plastyczną stal od silly putty to zależność własności plastycznych od szybkości odkształcenia. Ale i szklanka nie pęknie, jeśli będziemy ją ścisnąć powoli, rys. 8b. Innymi słowy, prawo Hooke’a, jak cała Fizyka, jest jedynie modelem: bardzo dobrze stosującym się zazwyczaj, ale nie zawsze.



Ryc. 9. Ciecze o różnej lepkości. (a) Superlepka ciecz w klepsydze tworzy „smarki”, leje, wiry, bąble. (b) Farba emulsyjna nie powinna ściekać z pędzla, a pod walkiem winna stawać się płynna, aby wypełnić nierówności ściany. (c) Tylko prawdziwa mozzarella „ciągnie” się po wyjęciu z pieca. Foto (i pizza): Maria Karwasz.



Ryc. 10. (a) Pianka na kawie to ciecz lepko-elastyczna. (b) Ruchome piaski (w prawym dolnym rogu jeziora) to niby-ciecz reo-peptyczna: twarde po postawieniu na nich stopy, a grząskie, kiedy próbujemy ją wyciągnąć. Lago Lamar, Trento, Włochy. Foto Maria Karwasz.

Otóż te „ciecze nie-newtonowskie” to ciała, których własności sprężyste czy plastyczne zależą nie tylko od wartości przyłożonego naprężenia, ale też *szybkości* zmian tego naprężenia. I tu pojawia się całe bogactwo jakby dodatkowych stanów skupienia: dziwne gumy, kukurydziany krochmal, ruchome piaski, ketchup a także krzepnąca krew i farba emulsyjna do malowania ścian. Ketchup, przy stole, może być obiektem towarzyskich konfliktów: pierwszy użytkownik musi go nieźle wytrząsnąć, ale kolejny zaleje pomidorowym sosem siebie i sąsiada. Farba emulsyjna nie powinna ściekać z wałka, ale przyciśnięta do ściany ma w nią plastycznie wnikać, ryc. 9b.

Glina, błoto to też przykłady tego „skrzyżowania” ciała stałego z cieczą: wie o tym każdy, kto się pośliznął. Zresztą, w artykule o ciałach stałym [4] mówiliśmy, że glina jest chemicznie podobna do piasku, ale ułożona w formie ślizgających się płytek, szczególnie, jeśli zwilżona wodą.

A pianka z mleka w filiżance cappuccino (ryc. 10a)? Niby ciecz, ale zachowuje swój kształt, a nawet jest elastyczna. Angielska wikipedia [8] nazywa ją cieczą lepko-elastyczną. Z kolei maź w stawach (tzn. w połączeniach kości) ta sama wikipedia nazywa cieczą reo-peptyczną – jej lepkość rośnie w miarę mieszania lub potrząsania. Materiały reopeptyczne stosuje się w kamizelkach kuloodpornych i ochraniaczach dla sportowców. Innym przykładem z wikipedii jest rozmieszany gips (wciska się go szpachelką w szczeliny) lub „atrament” w drukarkach, który jest cieczą, ale musi zastygnąć na kartce.

Przeciwieństwem są materiały, które stają się rzadsze (tzn. mniej lepkie) w trakcie mieszania. Najbardziej niebezpiecznym przykładem są tzw. ruchome piaski – pozornie stabilne, ale nagle zapadające się przy próbach poruszenia się. Co gorsza, nogi w nich nie grzęzną, dopóki nie próbujemy się wydostać: wrażenie przerażające. Na ryc. 10b pokazujemy jezioro we włoskich Dolomitach, gdzie przy jednym z brzegów takie piaski występują: drobny wapienny muł z piaskiem naniesionym przez spływające z gór strumienie. Podobną strukturę ma zaprawa murarska: „ostry piasek”, wapno i nieco cementu. Murarz czuje w ręce, że trzeba tynk zamieszać kielnią, przed narzuceniem go na ścianę. Fizyk powie, że zamieszanie zmniejsza lepkość (dynamiczną?) zaprawy.

Do tej samej klasy, niby-ciecz, stających się coraz rzadszymi (czyli mniej lepki) w miarę mieszania należy jogurt, masło orzechowe, dżemy. Są to wszystko mieszaniny (organicznych) cieczy i rozdrobnionych składników stałych. Wybitny fizyk angielski, Tom McLeish [13] dodaje do tej listy kisiel i ciągnący się ser na pizzę (fig. 9c, tylko mozzarella, łatwo po tym poznać pizzę „podrobioną”). Ich prawie stały stan skupienia wynika z obecności długich łańcuchów cząsteczek (peptydów), które łączą się końcami. Mieszanie te więzy rozrywa. To zjawisko, „tikotropii”, polska wikipedia nazywa pamięcią cieczy. Przypomnijmy to sobie w trakcie smarowania chleba na śniadanie.

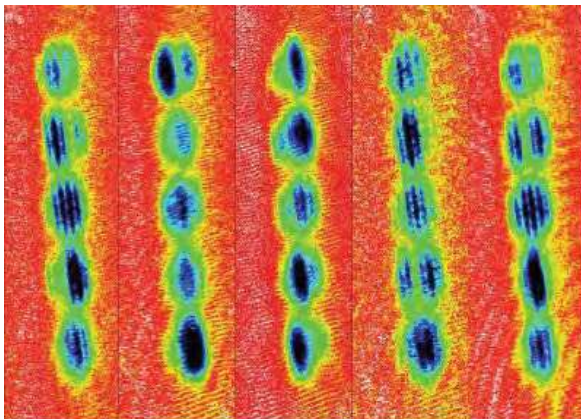
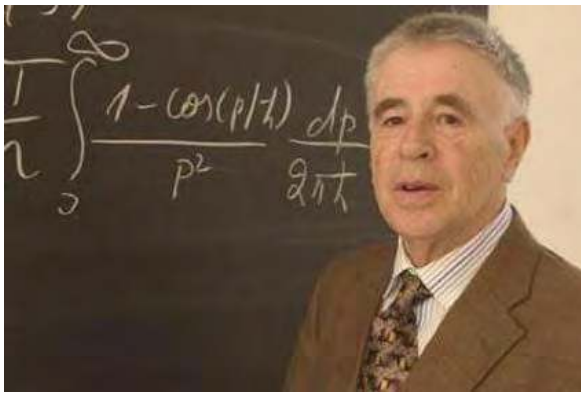
Jak pokazaliśmy w artykule o cieczach [3], różnego rodzaju „slime” czy „gluty” to ulubione zabawy dzieci: dają się wyciągać, przeciągać, wygniatać. Pedagogicznie powiemy, że te zabawy oddają dziecięcą chęć kształtowania świata własnymi rękoma, mimo że sama nazwa „slime”, według słownika języka angielskiego oznacza zarówno śluz ryb i ślimaków jak śmierdzące błoto.

## 6. Kondensat Bosego-Einsteina

I wreszcie ostatni (znany na dziś), egzotyczny stan materii – kondensat Bosego Einsteina, za który przyznano już kilka nagród Nobla. Był on kilkakrotnie opisywany w „Fizyce w Szkole” [14]. Jest to rozrzedzony gaz, ale w ultra-niskich temperaturach. Ale nie jest to dostateczne wyjaśnienie.

Elektrony, atomy, a nawet piłkę tenisową możemy opisywać jako obiekty „kwantowe”, tzn. nie za pomocą praw fizyki klasycznej, ale poprzez równanie Schrödingera. Określenie „możemy opisywać” jest, jak zwrócił mi uwagę wielki fizyk teoretyk, prof. Lev Pitajewski, niedokładne. Równanie Schrödingera mówi, że jeśli dokonamy pomiaru położenia (obiektu kwantowego), to prawdopodobieństwo uzyskania określonego wyniku będzie zgodne z tym równaniem. Innymi słowy, to nie „elektron jest opisany”, ale jego „ruch jest opisany” przez to równanie.

Z rozwiązania równania Schrödingera dla atomu wodoru wiemy, że nie wszystkie orbity elektronu są możliwe, innymi słowy: że stany elektronu są skwantowane. I trzeci



Rys. 11. (a) Profesor Lev P. Pitajewski, twórca równania opisującego kondensat Bosego-Einsteina, wyjaśnia sens mechaniki kwantowej (foto Maria Karwasz, 2003). (b) Interferencja „fal materii” w kondensacie Bosego-Einsteina, sekwencja czasowa spadających „kropki” kondensatu w doświadczeniu FAMO UMK [15].

element układanki dla zrozumienia istoty kondensatu Bosego-Einsteina to tzw. statystyki kwantowe. Z nie do końca jasnych względów, dwa światy cząstek, tych o spinie połówkowym (jak elektrony) i o spinie całkowitym (jak fotony), są odmienne. Każdy elektron zajmuje inny stan kwantowy w atomie: stąd orbitale atomowe a z nich cała chemia a z chemii życie. Fotony inaczej: starają się zająć ten sam stan kwantowy, stłoczone jak pingwiny na Antarktydzie. Stąd mamy laser, czyli źródło wielu, identycznych fotonów. „Ten sam stan” oznacza stan o najniższej energii.

W normalnych warunkach (tzn. temperaturach) energia ruchów termicznych jest na tyle duża, że delikatnych efektów statystyk kwantowych nie obserwujemy. Ale w temperaturach rzędu pojedynczych  $\mu\text{K}$  efekty kwantowe stają się widoczne. Atomy o spinie całkowitym (łącznie jądra i elektronów), jak izotop rubidu  $^{87}\text{Rb}$ , umieszczone w magnetycznej pułapce w przestrzeni kilku milimetrów, w temperaturze 100 nK – zajmują ten sam stan kwantowy. Innymi słowy, cały zbiór (na ogół miliona atomów) zachowuje się (tzn. porusza) jak jeden obiekt: kondensat Bosego-Einsteina. Jest to przy tym obiekt opisany tzw. równaniem Grossa-Pitajewskiego, przypominającym to Schrödingera. Czyli – jest to jakby fala. A jeśli fala, to powinniśmy obserwować interferencję dwóch kondensatów. Na rys. 11, obok zdjęcia z (prywatnego) wykładu prof. Pitajewskiego umieszczamy obraz interferencji fragmentów kondensatu uzyskany w laboratorium fizyki atomowej FAMO UMK.

Kondensat, według słów jego twórców, to makroskopowy obiekt kwantowy. Jako stan skupienia byłby on skrzyżowaniem bardzo rozrzedzonego gazu z uporządkowanym kryształem. Dlaczego stany kwantowe atomów dość odległych od siebie są skorelowane? Bo fale de Broglie’a opisujące ruch tych atomów mają podobne długości, co odległości między atomami, rzędu mikrometrów.

## 7. Podsumowanie – żart

Na koniec żart, ponownie w temacie klasyfikacji. Gdzieś w środku Francji, chyba w okolicach Montluçon, na dużym rondzie przed miastem, strzałka w jedną stronę wskazuje „Toutes Directions” (wszystkie kierunki) a następną „Autres Directions” (pozostałe kierunki). Podobna strzałka widnieje na drodze z Kudowy w kierunku Pragi: na rozwidleniu strzałka w prawo wskazuje České Budějovice a w lewo – České Budějovice. Podział materii na stany skupienia też jest nieco sztuczną klasyfikacją. Płomień świecy, odchylający się w polu elektrycznym [16] to jeszcze gorący gaz czy już słabo zjonizowana plazma? „Silly putty” to nie-newtońska ciecz czy nie-hookowe ciała stałe?

Bez wątplenia, w zestawie dydaktycznym każdego nauczyciela powinny się znaleźć i kawałki polnych kamieni, i sparciała gumka aptekarska, i popękana ze starości plastikowa doniczka. W dzisiejszym, wirtualnym świecie, odwołanie się do rzeczywistości ponownie przywraca fizyce należną jej rolę w szkolnej dydaktyce.

Ile jest stanów skupienia? Wszystkie możliwe, a pewno i jeszcze więcej.

Wersje internetowe artykułów znajdzie Czytelnik na stronie: [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa\\_strona/?q=node/760](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/760)



Rys. 12. Nie zdążyliśmy zrobić zdjęcia na skrzyżowaniu w Montluçon ani w Českich Budějovicach. To pochodzi z Internetu. Ile jest stanów skupienia? Wszystkie!

- [1] G. Karwasz, Plazma, Fizyka w Szkole 1/2019
- [2] G. Karwasz, W. Krychowiak, Gazy, Fizyka w Szkole 1/2020
- [3] G. Karwasz, K. Wyborska, Ciecze, Fizyka w Szkole 2/2020
- [4] G. Karwasz, Ciała stałe, Fizyka w Szkole 3/2021
- [5] G. Karwasz, Na ścieżkach fizyki współczesnej, [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/index-pl.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/index-pl.html)
- [6] G. Karwasz, Dwie bańki i już lato, Foton 113/2011
- [7] G. Karwasz i in., Fizyka i zabawki, <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki1>
- [8] Vinh Nguyen, Virginia Tech, [https://www1.phys.vt.edu/~vinhng/res\\_salts.html](https://www1.phys.vt.edu/~vinhng/res_salts.html)
- [9] G. Karwasz, Eur. J. Phys. D. 37 (2006) 153
- [10] G. Karwasz i in. Toruński podręcznik do fizyki, Wyd. UMK, 2012
- [11] M. Losertová i in., IOP Conf. Series: Materials Science & Eng. **266** (2017) 012008
- [12] [https://en.wikipedia.org/wiki/Non-Newtonian\\_fluid](https://en.wikipedia.org/wiki/Non-Newtonian_fluid)
- [13] T. McLeish, Faith & Wisdom in Science, Oxford 2014
- [14] M. Zawadzki, Ultrazimne atomy od kuchni, Fizyka w Szkole 3/2019
- [15] M. Witkowski i in., Phys. Rev. A **88** (2013) 025602
- [16] G. Karwasz, M. Sadowska, Stara poczeziwa maszyna elektrostatyczna, Fizyka w Szkole, 5/2011
- [17] <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-1aa63bbd272de04ca8759f612f666cd-lq>

# Kuchenna mechanika płynów, czyli fizycy uwięzieni

Foto – Dreamstime

**Laboratorium zamknięte? Marsz do kuchni! Pandemia COVID-19 nauczyła nas wszystkich pracy w nowych i nieznanych dotąd warunkach. Biura oraz sale lekcyjne i wykładowe zastąpiły komunikatory internetowe z kamerkami i mikrofonami, a zdalne nauczanie towarzyszyło nam na wszystkich etapach kształcenia przez prawie dwa lata.**

Maciej Lisicki

Trudności te nie ominęły zwłaszcza nauk doświadczalnych, gdzie tak ważne jest własnoręczne przeprowadzenie pomiarów i nabranie intuicji co do planowania i wykonywania eksperymentów. Gdy pracownie i laboratoria zostały zamknięte, co pozostaje zapalonemu badaczowi czy badaczce? Można zacząć od wizyty we własnej kuchni.

Artykuł jest wyborem zjawisk fizycznych z zakresu fizyki płynów i materii miękkiej, które możemy z łatwością zaobserwować w kuchni. Został opracowany w oparciu o artykuł przeglądowy autora we współpracy z A. Mathijssenem, V. Prakashem i E. Mossigem. Oryginalny artykuł dostępny jest na platformie Arxiv [1].

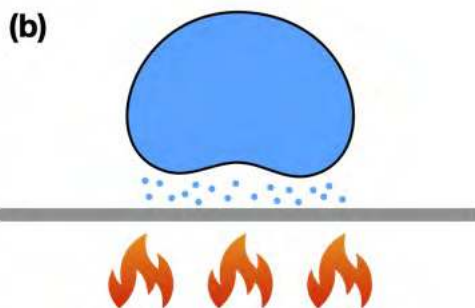
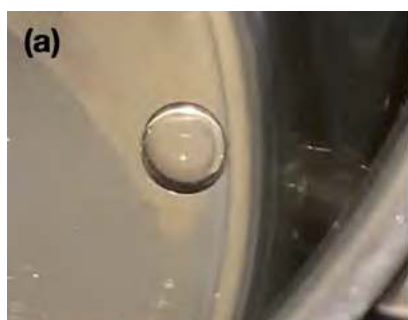
## **Instytut Fizyki Kuchennej?**

Piotr Leonidowicz Kapica (1894-1984), laureat Nagrody Nobla za odkrycia w dziedzinie fizyki niskich temperatur w 1978 r., krótko po II wojnie światowej został w 1946 r. odsunięty z wielu kierowniczych stanowisk za odmowę współpracy nad sowieckim programem jądrowym i prawdopodobnie przez dłuższy czas przebywał w areszcie domowym w swojej daczce. Tam też zaczął pracować nad eksperymentami dotyczącymi stabilności

spadających swobodnie cienkich filmów (warstw cieczy) i powstających w nich fal [2]. Podobne fale możemy zaobserwować na nachylonej asfaltowej drodze w czasie deszczu. Im szybszy przepływ takiej cienkiej warstwy, tym łatwiej o niestabilność i pojawienie się zmarszczek na powierzchni. Prace Kapicy zaowocowały serią artykułów [3], [4] i zainspirowały kolejnych badaczy, a dla nas stanowią argument na potwierdzenie przydatności kuchni jako środowiska prowadzenia „pełnoprawnych” badań naukowych. Widać więc, że fizyk w kuchni może popisać się nie tylko kulinarnie, ale również i zawodowo.

Fizyka kuchenna nie jest ani gorszą, ani mniej szlachetną wersją tej uprawianej w laboratoriach. Oczywiście nie dysponujemy zwykle specjalistycznym sprzętem, ale okazuje się, że jest wiele zjawisk, które w kuchni możemy z powodzeniem obserwować i mierzyć, a które pozostają przedmiotem bieżącej debaty w środowisku naukowym. W niniejszym artykule przywołamy kilka przykładów takich zjawisk, zwłaszcza wiążących się z przepływami cieczy w kuchni.

Oczywiście procesy kuchenne są nieskończenie bardziej złożone, ponieważ łączą w sobie zagadnienia z pogranicza biologii, chemii, inżynierii materiałowej, reologii, fizyki materii miękkiej, mechaniki płynów, termodynamiki oraz nauk o żywności. Wiedzę na ich temat



Rysunek 1: Efekt Leidenfrosta. (a) kropla o promieniu ok. 1 cm na powierzchni garnka rozgrzanego powyżej temperatury Leidenfrosta unosi się nad gorącym metalem bez wrzenia lub intensywnego parowania. (b) Schematyczna ilustracja przyczyn efektu Leidenfrosta. W kontakcie z bardzo gorącą płytą pomiędzy kroplą a powierzchnią natychmiast powstaje warstewka pary wodnej, która jest słabym przewodnikiem ciepła i izoluje kroplę termicznie.

możemy czerpać, oprócz książek kucharskich, z ukazujących się w ostatnich latach publikacji i monografií na temat naukowego (w szczególności – fizycznego) spojrzenia na gotowanie, a Uniwersytet Harvarda udostępnił nawet cykl wykładów na ten temat <https://pll.harvard.edu/course/science-and-cooking>.

### Uff – jak gorąco!

Przystąpmy zatem do gotowania. Źródło ciepła jest niemal nieodłączną częścią procesu przygotowania posiłku, a zagadnienia związane z jego transportem mają decydujący wpływ na efekt końcowy. Ciepło w płynach jest transportowane podobnie jak pęd. Elementy płynu (małe objętości, znacznie większe niż cząsteczki, ale bardzo małe z punktu widzenia opisu makroskopowego przepływu) są unoszone przez przepływ, ale pomiędzy nimi występuje przepływ ciepła na sposób przewodnictwa. Lokalne różnice temperatur między elementami płynu mogą wywołać różnice gęstości na tyle duże, że pojawiają się makroskopowe ruchy konwekcyjne.

Zasadnicze dwa mechanizmy transportu ciepła w tym kontekście to właśnie przewodnictwo (dyfuzja) oraz konwekcja. Oba mają wyraźny kontekst kuchenny. To właśnie dyfuzja ciepła odpowiada za idealne wypieczenie ciasta w piekarniku. Jeśli jednak nie mamy blachy takiej jak w przepisie albo chcemy przygotować inną ilość ciasta, jak powinniśmy zmodyfikować czas pieczenia? Okazuje się, że proste oszacowania oparte o równanie dyfuzji temperatury pozwala odpowiedzieć na to pytanie [5]. Podobnie, gdy chcemy ugotować idealne jajko na miękko, nieodzowna jest kontrola czasu gotowania. Rozważania oparte na równaniu transportu ciepła ponownie pozwalają nam określić rozkład temperatury wewnątrz (sferycznego) jajka i oszacować czas potrzebny do jego całkowitego ugotowania na twardo [6].

Jeśli ktoś wyżej ceni smażone jajka ponad gotowane, zamiast garnka umieścimy na palniku kucharki patelnię. Temperatura do smażenia musi być w odpowiednim przedziale, ale jak stwierdzić, czy patelnia rozgrzała się wystarczająco? Jedną z babcinych metod to wlanie na patelnię kilku kropel wody. W kontakcie z gorącą powierzchnią krople zaczynają gwałtownie wrzeć i wydają skwierczący dźwięk – a więc powierzchnia ma ponad 100 stopni Celsjusza.

Jeśli jednak zostawimy patelnię na dużym ogniu na dłuższą chwilę, a jej powierzchnia rozgrzeje się powyżej ok 150-190 st. C., kropelki zaczną zachowywać się zupełnie inaczej i lewitować ponad gorącą powierzchnią bez oznak wrzenia, jak na zdjęciu na Rys. 1(a). Efekt ten od-

krył H. Boerhaave w 1732 r., ale opisał go w szczególach niemiecki lekarz, Johan G. Leidenfrost w 1756 r. [7], i to właśnie jego nazwisko nosi wspomniany efekt.

Dziś efekt ten jest dobrze zrozumiany i był szeroko badany [8], [9], a nawet został wykorzystany do konstrukcji fabuły w powieści *Michał Strogow* J. Verne'a. Wyjaśnienie tego zaskakującego zjawiska ponownie sprowadza się do kwestii transportu ciepła pomiędzy patelnią a kropelką wody. Przy średnim zakresie różnicy temperatur wody i patelni (od 1 do ok 100 st. C) kropelki wrzą i w całej ich objętości następuje gwałtowne parowanie.

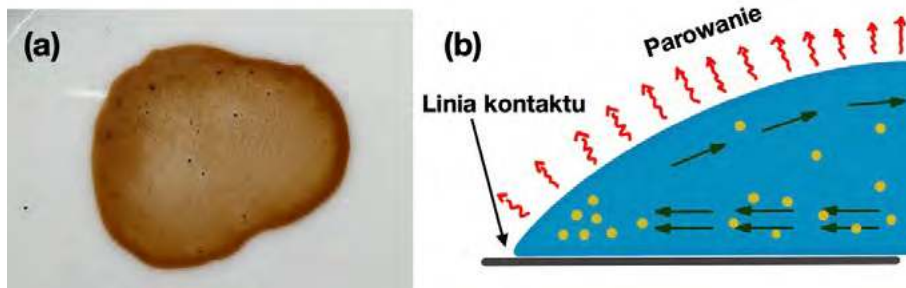
Jednak gdy temperatura powierzchni przekroczy wspomnianą temperaturę Leidenfrosta, pomiędzy patelnią a kroplą tworzy się cienka warstwa pary wodnej, która – będąc słabym przewodnikiem ciepła – izoluje kroplę termicznie i nie pozwala na bezpośredni kontakt, który doprowadziłby do wrzenia. Grubość tej warstwy, zilustrowanej na Rys. 1(b), to dziesiąte części milimetra. Jej istnienie powoduje, że czas życia kropelek na patelni może wydłużyć się nawet dziesięciokrotnie.

Co więcej, poduszka parowa pozwala kropelkom poruszać się z bardzo małymi siłami oporu, dzięki czemu obserwujemy swoisty taniec kropelek Leidenfrosta na ringu, utworzonym przez denko patelni czy garnka. Lewitacja kropelek ma też znaczenie gastronomiczne, np. może pomóc chronić mięso przed przywieraniem [10]. Warto dodać, że efekt ten występuje powszechnie również poza kuchnią dla przeróżnych substancji, pod warunkiem wystarczająco dużej różnicy temperatur między nimi. Widzimy go przy pokazach naukowych, kiedy demonstrator zanurza szybko palec w stopionym ołowiu albo polewa rękę ciekłym azotem, nie powodując przy tym oparzeń [11].



Gdy chcemy ugotować idealne jajko na miękko, nieodzowna jest kontrola czasu gotowania. Foto – Dreamstime

Rysunek 2: Pierścień kawowy. (a) Plama kawy pozostawiona przez noc na spodku wysycha w taki sposób, że drobiniki kawy gromadzą się na obwodzie plamy, a środkowa część jest wyraźnie jaśniejsza. (b) Proces parowania kropli przebiega na całej jej powierzchni, co w połączeniu z przyklejeniem linii kontaktu powoduje, że dla zachowania kształtu kropli musi wytworzyć się przepływ skierowany do jej brzegu. Przepływy ten transportuje drobiniki, które osadzają się w pobliżu linii kontaktu.



## Przerwa na kawę

Pozostawiając po drodze fizyczne aspekty gotowania i smażenia, wspomniane w artykule [1], na rzecz wrażeń smakowych, zapachowych i estetycznych, docieramy do końca posiłku. Dla wielu osób odpowiednim zwieńczeniem będzie filiżanka kawy lub herbaty. Wielbiciele tej pierwszej zauważyli na pewno, że jeśli na dnie filiżanki albo na spodku zaschnie kropla kawy, utworzona plama ma jasny środek i ciemniejsze brzegi, przy których gromadzi się większość pozostałości, jak na zdjęciu z kuchni autora na Rys. 2(a).

*Efekt pierścienia kawowego*, jak nazwano to zjawisko, można zaobserwować niemal w każdym kuchennym płynie, zawierającym drobne cząstki – na przykład w winie albo herbacie. Pełne wyjaśnienie podali Deegan i in. [12]. Ciemniejszy pierścień tworzy się wskutek parowania kropli, połączonego z przyklejeniem jej linii kontaktu z podłożem [13]. W miarę parowania rozpuszczalnika zmniejsza się grubość kropli w każdym punkcie. Gdyby jej linia kontaktu z podłożem nie była przyklejona, kropelka zmniejszałaby się jako całość, jednak jej przyklejenie (współ z efektami napięcia powierzchniowego, które sprawia, że kąt kontaktu cieczy z podłożem pozostaje stały) powodują systematyczny przepływ z obszarów centralnych ku brzegom, który transportuje zawieszane cząstki i powoduje, że przedostają się one ze środka kropli do obszarów zewnętrznych, jak na rys. 2(b).

Co ciekawe, można ten efekt znacznie osłabić dodając do kropli nieco alkoholu. Jego obecność wywołuje przepływ w przeciwną stronę, związany z efektem Marangoni (a więc przepływ wynikający z lokalnych różnic w napięciu powierzchniowym cieczy) [14]. Zastosowania efektu pierścienia kawowego sięgają poza kuchnię – opierają się na nim m.in. techniki wytwarzania funkcjonalnych powierzchni poprzez kontrolowane parowanie, druku atramentowego, oraz nanochromatografii, gdzie zjawisko to wykorzystano do separacji cząstek.

## A może herbata?

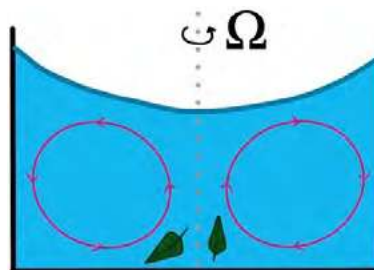
Wielbiciele liściastego napoju mogliby poczuć na tym etapie, że fizyki w herbacie jest mniej, ale nic z tych rzeczy! *Paradoks liści herbaty* jest jednym z zaskakujących zjawisk, które możemy w niej zaobserwować. Namoczone liście opadają na dno kubka, a zatem są gęstsze niż otaczający je płyn. Spodziewalibyśmy się, że jeśli zamieszamy herbatę kolistym ruchem, będą one poruszały się w kierunku brzegów kubka ze względu na efekt odśrodkowy. Jednak dzieje się dokładnie przeciwnie! Liście migrują do centrum kubka, jak na Rys. 3. Pierwszy opisał to w 1892 r. James Thomson, profesor inżynierii na Uniwersytecie

w Glasgow, a prywatnie starszy brat Williama, znanego szerzej jako Lord Kelvin [15]. Zasugerował on, że rozwiązaniem paradoksu może być uwzględnienie „tarcia o dno”.

Herbaciany problem przyciągał uwagę gigantów fizyki – Einstein opisał szczegółowo ten eksperyment w 1926 r. na potrzeby wyjaśnienia efektów erozji brzegów rzecznych [16]. Wyjaśnienie paradoksu na gruncie mechaniki płynów nie jest trudne [17] – gdyby płyn obracał się jak bryła sztywna, jego prędkość kątowna byłaby stała i równa  $\Omega$ . W obracającym się z płynem (nieinercyjnym) układzie odniesienia na liście działałaby siła odśrodkowa, proporcjonalna do  $\Omega^2 r$ , gdzie  $r$  jest odległością od osi obrotu. Siła ta nie zmienia wirowego charakteru przepływu, o ile prędkość kątowna jest stała i nie zależy od położenia. Tak jednak być nie może, bo ścianki naczynia spoczywają, więc płyn musi „zwolnić” przy ściance.

Te różnice prowadzą do powstania tzw. recyrkulacji – procesu, w którym płyn zaczyna wznosić się w środku naczynia i opadać przy ściankach zewnętrznych [18]. Przepływ ten „porywa” liście herbaty i przesuwa je ku środkowi naczynia. Efekt ten, w połączeniu z lepkością, jest również odpowiedzialny za to, że zamieszana herbata w końcu zwalnia swoje obroty i ruch ustaje. Jednym z kuchennych zastosowań wiedzy o recyrkulacji jest gotowanie jajek w koszulkach – żeby białko jajka się nie rozplywało, można wcześniej zamieszać wodę i wbić jajko blisko środka garnka [19]. Należy się jednak pospieszyć po zamieszanu wody, gdyż przepływ obrotowy zaniknie po czasie  $\tau_E \sim \sqrt{H^2 / \nu \Omega}$ , gdzie  $H$  to głębokość wody, a  $\nu$  jest jej lepkością dynamiczną. W temperaturze 90 st. C mamy  $\nu \approx 0.32$  cSt i dla typowego garnka ( $H \sim 5$  cm) i  $\Omega \approx 0.25$  Hz szacujemy, że ruch obrotowy ustanie w ciągu ok. 2 minut, co zgadza się z naszymi codziennymi intuicjami.

Oczywiście jest to tylko bardzo przybliżone oszacowanie, jednak charakterystyczny czas zaniku  $\tau_E$ , zwany czasem Ekmana, jest istotnym czynnikiem np. przy określaniu maksymalnego tempa druku 3D [20]. Sam efekt recyrkulacji widać też w tornadach [21]. Można go również wykorzystać do separacji czerwonych krwinek z osocza w eksper-



Rysunek 3: Paradoks liści herbaty. Ruch obrotowy cieczy w spoczywającym naczyniu powoduje powstanie dodatkowego przepływu, wskutek którego ciecz płynie do góry w środkowej części naczynia i opada przy jego zewnętrznych ściankach. Przepływ blisko dna ma zatem kierunek do środka naczynia i w efekcie unosi liście herbaty tak, że zbierają się pośrodku filiżanki.



Herbaciany problem przyciągał uwagę gigantów fizyki. Foto – Dreamstime

rymentach mikrofluidycznych [22] albo do oddzielenia tzw. gęstwy drożdżowej w procesie warzenia piwa [23].

### Uroki zmywania

Po najmilszym nawet posiłku pozostaje nam żmudny proces zmywania naczyń w kuchennym zlewie. W tej niewątpliwie trudnej chwili ponownie może nas podtrzymać na duchu bogactwo towarzyszącej temu procesowi zjawisk hydrodynamicznych.

Odkręćmy najpierw kran delikatnie. Wydobywająca się z niego strużka wody jest wtedy laminarna i przejrzysta, a w miarę opadania do zlewu staje się coraz cieńsza, ponieważ jest rozciągana przez siłę grawitacji. Gdy cylindryczna struga jest dostatecznie cienka, obserwujemy jej rozpadanie się na krople zanim jeszcze dotrze do powierzchni zlewu, jak na Rys. 4(a).

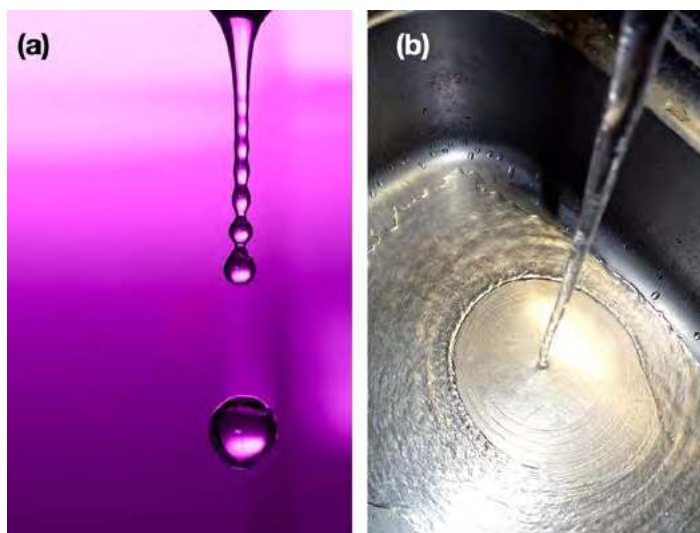
Pierwszy systematyczny opis tego zjawiska podał Belg Joseph Plateau w 1873 r. [24], jednak pełne wyjaśnienie teoretyczne zawdzięczamy Lordowi Rayleighowi [25], który oszacował, że opadający pionowo strumień (nielepiej) cieczy o kołowym przekroju rozpadnie się na kropelki, gdy jego długość przekroczy jego obwód.

Odpowiedzialne jest napięcie powierzchniowe wody. Mówiąc w uproszczeniu, z punktu widzenia minimalizacji powierzchni cieczy i związanej z nią energii, bardziej korzystne jest utworzenie szeregu kulistych kropli, niż wydłużonego walca, a więc długie i cienkie dzęty są niestabilne i rozpadają się, a proces ten nazywamy niestabilnością Rayleigha-Plateau [26]. Można również oszacować typowy czas rozpadu, który w kontekście kuchennym wynosi typowo ułamek sekundy. Co ciekawe, w takim strumieniu mogą występować również oscylacje kształtu przekroju poprzecznego, które są związane z obecnością

fal kapilarnych, i które łatwo można zobaczyć w domowych eksperymentach [27]. Dokładne pomiary zmienności tych kształtów można wykorzystać do wyznaczenia współczynnika napięcia powierzchniowego wody [28]. Metodę tę zaproponowało w 1909 r. dwóch noblistów – Niels Bohr i William Ramsay. Stabilność i rozpad cienkich strużek cieczy są istotnymi pytaniami w kontekście druku atramentowego [29], a nawet dynamiki picia u ssaków, które otwierają i zamykają swoje szczęki z taką częstotliwością, że maksymalizują ilość cieczy pobieranej z rozpadającego się strumienia [30].

Odkręćmy kran nieco mocniej. Strumień nie rozpada się wtedy na krople, ale z całą mocą uderza w dno, na którym tworzy się charakterystyczny wzór, widoczny na Rys. 4(b). Blisko punktu uderzenia strumienia powstaje kolisty obszar, w którym ciecz ma dużą prędkość, a głębokość jej warstwy jest stosunkowo niewielka, a dalej następuje przejście do drugiego reżimu, w którym prędkość cieczy jest mniejsza, za to grubość warstwy wzrasta. Efekt ten nazwano *odskokiem hydraulicznym*. O jego istnieniu pisał już Leonardo da Vinci [31], a wspomniany Rayleigh ponownie jako pierwszy opisał go matematycznie [32], opierając się na swoich własnych obserwacjach przepływów w rzekach i śluzach, bo i tam widzimy podobny efekt.

Zgodnie z jego teorią, powstanie odskoku jest związane ze współzawodnictwem sił grawitacji i bezwładności w płynie, a przejścia pomiędzy reżimami powinniśmy spodziewać się, gdy liczba Froude'a  $Fr = U / \sqrt{gL}$  (gdzie prędkość przepływu to  $U$ , a jego głębokość to  $L$ ) jest bliska jedności. W zlewie oznacza to, że istnieje punkt, w którym rozplywający się płyn zwalnia na tyle, że liczba  $Fr = 1$  i właśnie tam zobaczymy burzącą się grzywę odskoku. Rayleigh zaproponował uproszczony model,



Rysunek 4: Efekty hydrodynamiczne w strumieniu wody z kranu. (a) Niestabilność Rayleigha-Plateau. W miarę opadania pod wpływem grawitacji, strumień cieczy robi się coraz węższy, aż w końcu rozpada się na kropelki. Widzimy narastanie niestabilności w dół strumienia, a w końcu rozszczepienie na poszczególne kropelki. Zdjęcie Niklasa Morberga na licencji CC BY-NC 2.0. (b) Odskok hydrauliczny w zlewku jest wynikiem współzawodniczenia między siłami bezwładności a siłą grawitacji. Strumień uderza w powierzchnię zlewu i tworzy cienki dysk, w którym płyn szybko rozpluwa się promieniście, jednak przepływ ten jest niestabilny i kiedy płyn zwalnia, następuje przejście do innego reżimu przepływu i tworzy się odskok hydrauliczny. Płyn dalej od punktu uderzenia tworzy już grubszą warstwę, w której przepływ jest znacznie wolniejszy. Zdjęcie Jamesa Kilfigera na licencji CC BY-SA 3.0.

zaniebujący np. efekty napięcia powierzchniowego, które mogą być istotne przy małych rozmiarach odskoku. Jego praca zaledwie zapoczątkowała zainteresowanie naukowców odskokami, które wciąż kryją wiele tajemnic.

Pomimo dziesiątek prac naukowych na przestrzeni przeszło stu lat od opisu Rayleigha i znacznego pogłębienia naszego zrozumienia natury tego typu przepływów, nadal są pytania, na które naukowcy poszukują odpowiedzi oraz kwestie sporne, które będą rozstrzygane przez przyszłe badania. To zresztą jeden z licznych przykładów zjawisk hydrodynamicznych, które znamy bardzo dobrze z codziennego życia, a które kryją całkiem złożone naukowe pytania.

## Drzemka poobiednia

Posiłek zakończony, naczynia pozmywane... Amatorzy drzemek spojrzą teraz ku kanapie, a fani spacerów poszukają butów. Jedna i druga czynność sprzyjać mogą refleksji, a jednym z jej tematów – mnogość zjawisk fizycznych, które zaobserwowaliśmy przy okazji przygotowywania lub spożywania potraw. W niniejszym artykule zobaczyliśmy nawet nie czubek góry lodowej, ale zaledwie jedną zaspę. W artykule przeglądowym autora i współpracowników [1] przytaczamy znacznie więcej zjawisk hydrodynamicznych, które mają kontekst kuchenny albo są istotnym aspektem gotowania.

Piękno fizyki polega (między innymi) na tym, że inspirują nas wydarzenia i obserwacje z życia codziennego i zjawiska dostępne na wyciągnięcie ręki. Dopiero przy bliższym kontakcie okazuje się, że kryją one w sobie głębie, a ich wytłumaczenie (na różnych poziomach złożono-

ści) może być wyzwaniem matematycznym i koncepcyjnym. Warto jednak rozglądać się za nowymi i ciekawymi problemami. Być może ten krótki wstęp zachęci Czytelnika do spojrzenia na własną kuchnię z zupełnie innej strony.

Maciej Lisicki

Instytut Fizyki Teoretycznej, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego  
mklis@fuw.edu.pl, <http://softmatter.fuw.edu.pl>

## LITERATURA

- [1] A. J. T. M. Mathijssen, M. Lisicki, V. N. Prakash, i E. J. L. Mossige, „Culinary fluid mechanics and other currents in food science”, arXiv:2201.12128 [cond-mat, physics:physics], sty. 2022. Dostępne na: <http://arxiv.org/abs/2201.12128>
- [2] S. Kalliadasis, C. Ruyer-Quil, B. Scheid, i M. G. Velarde, *Falling Liquid Films*. Springer, 2012. doi: 10.1007/978-1-84882-367-9.
- [3] P. L. Kapitza i S. P. Kapitza, „Wave flow of thin layers of a viscous fluid. I-III”, *Zhurnal Eksperimental'noi i Teoreticheskoi Fiziki*, t. 18, nr 3, 1948, [Online]. Dostępne na: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1948ZhETF..18...3K/abstract>
- [4] P. L. Kapitza i S. P. Kapitza, „Wave flow of thin layers of a viscous fluid”, w *Collected Papers of P.L. Kapitza*, D. Ter Haar, Red. Pergamon, 1965, s. 662–709. doi: 10.1016/B978-0-08-010973-2.50013-6.
- [5] E. A. Olszewski, „From baking a cake to solving the diffusion equation”, *Am. J. Phys.*, t. 74, nr 6, s. 502–509, 2006. doi: 10.1119/1.2186330.
- [6] P. Roura, J. Fort, i J. Saurina, „How long does it take to boil an egg? A simple approach to the energy transfer equation”, *Eur. J. Phys.*, t. 21, nr 1, s. 95, 2000. doi: 10.1088/0143-0807/21/1/314.
- [7] J. G. Leidenfrost, *De aquae communis nonnullis qualitatibus tractatus*. Ovenius, 1756. [Online]. Dostępne na: <https://opacplus.bsb-muenchen.de/title/BV010050604>
- [8] F. L. Curzon, „The Leidenfrost phenomenon”, *Am. J. Phys.*, t. 46, nr 8, s. 825–828, 1978. doi: 10.1119/1.11197.
- [9] D. Quéré, „Leidenfrost dynamics”, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, t. 45, s. 197–215, 2013. doi: 10.1146/annurev-fluid-011212-140709.
- [10] H. Herwig, *Ach, so ist das!* Springer, Wiesbaden, 2018. doi: 10.1007/978-3-658-21791-4.
- [11] J. Walker, „Boiling and the Leidenfrost effect”, *Fundament. Phys.*, s. 1–4, 2010.
- [12] R. D. Deegan, O. Bakajin, T. F. Dupont, G. Huber, S. R. Nagel, i T. A. Witten, „Capillary flow as the cause of ring stains from dried liquid drops”, *Nature*, t. 389, nr 6653, s. 827–829, 1997. doi: 10.1038/39827.
- [13] D. Mampallil i H. B. Eral, „A review on suppression and utilization of the coffee-ring effect”, *Adv. Coll. Interf. Sci.*, t. 252, s. 38–54, 2018. doi: 10.1016/j.cis.2017.12.008.
- [14] H. Hu i R. G. Larson, „Marangoni effect reverses coffee-ring depositions”, *J. Phys. Chem. B*, t. 110, nr 14, s. 7090–7094, 2006. doi: 10.1021/jp0609232.
- [15] J. Thomson, „Bakerian lecture - On the grand currents of atmospheric circulation”, *Phil. Trans. Roy. Soc. A*, nr 183, s. 653–684, 1892. doi: 10.1098/rsta.1892.0017.
- [16] A. Einstein, „The cause of the formation of meanders in the courses of rivers and of the so-called Baer's law”, *Naturwissenschaften*, t. 14, nr 11, s. 223–224, 1926. doi: 10.1007/BF01510300.
- [17] G. S. M. Moore, „Swirling tea leaves: problem and solution”, *Phys. Educ.*, t. 24, nr 6, s. 358, 1989. doi: 10.1088/0031-9120/24/6/418.
- [18] H. P. Greenspan i L. N. Howard, „On a time-dependent motion of a rotating liquid”, *J. Fluid Mech.*, t. 17, nr 3, s. 385–404, 1963. doi: 10.1017/S0022112063001415.
- [19] R. M. Heavers i R. M. Dapp, „The Ekman Layer and Why Tea Leaves Go to the Center of the Cup”, *Phys. Teach.*, t. 48, nr 2, s. 96–100, 2010. doi: 10.1119/1.3293655.
- [20] B. E. Kelly, I. Bhattacharya, H. Heidari, M. Shusteff, C. M. Spadaccini, i H. K. Taylor, „Volumetric additive manufacturing via tomographic reconstruction”, *Science*, t. 363, nr 6431, s. 1075–1079, 2019. doi: 10.1126/science.aau7114.
- [21] R. Rotunno, „The fluid dynamics of tornadoes”, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, t. 45, s. 59–84, 2013. doi: 10.1146/annurev-fluid-011212-140639.
- [22] D. R. Arifin, L. Y. Yeo, i J. R. Friend, „Microfluidic blood plasma separation via bulk electrohydrodynamic flows”, *Biomicrofluid.*, t. 1, nr 1, s. 014103, 2007. doi: 10.1063/1.2409629.
- [23] C. Bamforth, *Beer: tap into the art and science of brewing*. Oxford University Press, 2009. doi: 10.1021/ed084p1609.1.
- [24] J. Plateau, „Experimental and theoretical statics of liquids subject to molecular forces only”, Gauthier-Villars, Paris, t. 1, 1873, [Online]. Dostępne na: <http://facstaff.susqu.edu/brakke/aux/downloads/plateau-eng.pdf>
- [25] Lord Rayleigh, „On the capillary phenomena of jets”, *Proc. Roy. Soc. Lond.*, t. 29, nr 196–199, s. 71–97, 1879. doi: 10.1098/rsp1.1879.0015.
- [26] J. Eggers i E. Villermaux, „Physics of liquid jets”, *Rep. Progr. Phys.*, t. 71, nr 3, s. 036601, luty 2008. doi: 10.1088/0034-4885/71/3/036601.
- [27] A. P. S. Wheeler, „Physics on tap”, *Phys. Educ.*, t. 47, nr 4, s. 403–408, cze. 2012. doi: 10.1088/0031-9120/47/4/403.
- [28] N. Bohr i W. Ramsay, „Determination of the surface-tension of water by the method of jet vibration”, *Phil. Trans. Roy. Soc. A*, t. 209, nr 441–458, s. 281–317, 1909. doi: 10.1098/rsta.1909.0012.
- [29] G. D. Martin, S. D. Hoath, i I. M. Hutchings, „Inkjet printing - the physics of manipulating liquid jets and drops”, *J. Phys. Conference Series*, t. 105, s. 012001, mar. 2008. doi: 10.1088/1742-6596/105/1/012001.
- [30] S. Jung, „Pinch-off dynamics to elucidate animal lapping”, *Phys. Rev. Fluids*, t. 6, nr 7, s. 073102, lip. 2021. doi: 10.1103/PhysRevFluids.6.073102.
- [31] W. H. Hager, *Energy dissipators and hydraulic jump*, t. 8. Springer, 2013. doi: 10.1007/978-94-015-8048-9.
- [32] Lord Rayleigh, „On the theory of long waves and bores”, *Proc. Roy. Soc. A*, t. 90, nr 619, s. 324–328, 1914.

# Dydaktyka i popularyzacja fizyki

Edward Rydygier

W dniach 19-23.09.2021 r. w Bydgoszczy odbył się 47. Zjazd Fizyków Polskich. Poprzedni 46 Nadzwyczajny Zjazd Fizyków Polskich w Warszawie został przesunięty z powodu pandemii z kwietnia na październik 2020 roku, a ostatecznie doszedł do skutku w dniach 16-18.10.2020 r. w formie on-line. Szkoda, że Nadzwyczajny Zjazd Jubileuszowy z okazji 100-lecia Polskiego Towarzystwa Fizycznego i to w Roku Fizyki ustanowionym uchwałą Senatu RP w dn. 18.10.2019 r. został ograniczony tylko do przekazu elektronicznego. W tej zredukowanej formie obrad przedstawiono zestaw referatów w zdalnej sesji „Sto lat dydaktyki w Polsce”. Na rok 2021 został przesunięty rejs „100 lat Polskiego Towarzystwa Fizycznego”. Rejs odbył się na żaglowcu Pogoria w dniach 2-11 sierpnia 2021 roku.

Na Zjeździe w 2021 roku podobnie, jak na poprzednim zwyczajnym zjeździe w Krakowie w 2019 r., dydaktyka fizyki została połączona tematycznie z popularyzacją. Sesja dydaktyczna została przeprowadzona w pierwszym dniu obrad w niedzielę 19.09.2021 r. Poza tym aż dwa razy dla szerokiej publiczności zaprezentowano eksperyment zjazdowy, tj. balonową misję stratosferyczną, a swoje referaty nauczyciele zaprezentowali także w ramach sesji plakatowej.

Zjazd Fizyków w 2021 r. miał tak, jak Zjazd w Krakowie w 2019 r. charakter mobilny, gdyż obrady odbywały się w kilku miejscach na terenie Bydgoszczy: w salach audytoryjnych i w Centrum Technologii Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich (d. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy), w kampusie Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego (w budynku Collegium Copernicanum) oraz na Wydziale Farmacji Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera, które funkcjonuje w Bydgoszczy w ramach Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Uroczyste rozpoczęcie zjazdu, główne obrady plenarne i sesja plakatowa zostały przeprowadzone w gmachu Opery Bydgoskiej zwanej Opera Nova. Zjazd miał charakter hybrydowy, tzn. wykładowcy mogli przedstawić swoje referaty (także w formie plakatu) zdalnie on-line.

47. Zjazdowi Fizyków Polskich patronowali Minister Nauki i Edukacji, Marszałek Województwa Kujawsko-Pomorskiego oraz Prezydent Miasta Bydgoszczy Rafał Bruski. Organizatorami Zjazdu byli: Polskie Towarzystwo Fizyczne, Oddział Bydgoski Polskiego Towarzystwa Fizycznego, Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich (d. Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy), Uniwersytet Kazimierza Wielkiego i Collegium Medicum Uniwersytetu Mikołaja Kopernika. Wśród 40 znakomych wykładów plenarnych przedstawionych na Zjeździe na szczególnie podkreślenie zasługują wykłady Laureata Medalu Mariana Smoluchowskiego w 2021 r. prof. Iwo

Białynickiego-Biruli oraz Laureata Nagrody Nobla z Fizyki w 2004 r. – Franka Wilczka z USA. W ceremonii otwarcia Zjazdu wziął udział Prezydent Europejskiego Towarzystwa Fizycznego Luc Berge.

Organizatorzy Zjazdu umożliwili dydaktykom i nauczycielom fizyki przeprowadzenie oddzielnej sesji specjalistycznej dotyczącej dydaktyki i popularyzacji fizyki już w pierwszym dniu obrad Zjazdu, w niedzielę 19.09.2021 r. po obiedzie.

## Nagrodzeni

Uroczyste otwarcie Zjazdu w dniu 20 września w Operze Bydgoskiej obejmowało przyznanie medalu Smoluchowskiego oraz nagród PTF.

Medal Mariana Smoluchowskiego został przyznany prof. dr hab. Iwo Białynickiemu-Biruli za wybitny wkład do elektrodynamiki kwantowej i rozwoju fizyki w Polsce.

Prof. dr hab. Piotr Magierski otrzymał wyróżnienie PTF za cykl prac dotyczących dynamiki reakcji jądrowych, fizyki kwantowych gazów atomowych, fizyki gwiazd neutronowych oraz metod opisu kwantowych układów wielu ciał.

Dr Tomasz Raducha otrzymał nagrodę PTF im. Zygmunta Florentego Wróblewskiego za rozprawę doktorską „Statistical physics of coevolving networks” przygotowaną pod kierunkiem prof. dr hab. Ryszarda Kutnera.

Mgr Michał Lipka otrzymał nagrodę PTF im. Arkadiusza Piekary za pracę magisterską „Generation of polarization entanglement in wavevector-multiplexed atomic quantum memory” przygotowaną pod kierunkiem dr hab. Wojciecha Wasilewskiego, prof. UW.

Mgr Marcin Kalinowski otrzymał wyróżnienie PTF za pracę magisterską „Exotic Phenomena in Cold Rydberg Atoms: Strongly Interacting Photons and Nonequilibrium Kondo Cloud” napisaną pod kierunkiem dr. Michała Tomzy.

Dr Izabela Skwira-Chalot otrzymała indywidualną nagrodę PTF za popularyzację fizyki i Medal Krzysztofa Ernsta za długoletnią, różnorodną działalność popularnonaukową, Konstanty Korzewski otrzymał nagrodę PTF za popularnonaukowe artykuły „Pitagorejczycy i matematyczne początki muzyki” (Delta 05/2020) i „Jak dobrze nastroić klawesyn” (Delta 08/2020).

Dr Elżbieta Zawistowska otrzymała nagrodę PTF I stopnia im. Grzegorza Białkowskiego dla wyróżniających się nauczycieli i Medal Grzegorza Białkowskiego za wieloletnie kształtowanie zainteresowania fizyką oraz spektakularne sukcesy w pracy z uczniami zdolnymi, a mg inż. Ewelina Agnieszka Kędzińska nagrodę PTF III stopnia dla wyróżniających się nauczycieli za rozbudzanie wśród uczniów zainteresowania fizyką oraz znaczące osiągnięcia w pracy z młodzieżą.

Należy podkreślić, że tym razem Nagroda za Pracę Doktorską po raz pierwszy jest powiązana z imieniem Zygmunta Florentego Wróblewskiego. Od Nowego Roku pojawi się też nowa nagroda PTF „Za najlepszą pracę



Rys. 1. Nagrodzony Józef Skrzek

magisterską z optyki lub fotoniki”. Będzie ona przyznawana przez Kapitułę Nagrody powołaną przez Sekcję Optyki PTF. Pieniądze na nagrodę w wysokości 63 tys. zł przekazała w formie darowizny Fundacja Optica Nova. Nagroda w wysokości 150% minimalnego wynagrodzenia za pracę będzie przyznawana corocznie, aż do wyczerpania zgromadzonych na jej cel środków finansowych.

Medalem im. Krzysztofa Ernsta za popularyzację fizyki nagrodzono film z widowiska „Na styku dwóch nieskończoności”, które zostało zaprezentowane na 45 Zjeździe Fizyków Polskich w 2019 r. w Krakowie. Nagrodę odebrał m.in. muzyk Józef Skrzek, autor muzyki do tego widowiska i jeden z wykonawców.

## Sesje

Sesja „Dydaktyka i popularyzacja fizyki” została przeprowadzona pierwszego dnia Zjazdu i składała się z dwóch części zakończonych spotkaniem nauczycieli fizyki oraz koncertem w wykonaniu Tomasza Pauszka i Przemysława Rudzia pt. „Go Lem!”.

Część pierwsza sesji dydaktycznej została poprzedzona referatem z zakresu historii fizyki poświęconym postaci Noblisty Alberta Michelsona. Tomasz Kardaś z Zespołu Szkół w Mogilnie wygłosił wykład pt. „Albert Abraham Michelson – apostoł światła”. Albert Michelson urodził się w Strzelnie, w sercu regionu kujawsko-pomorskiego. W 1855 r. rodzina Michelsonów wyemigrowała do Ameryki i osiadła w Kalifornii. Mimo, że uznawany jest za amerykańskiego noblistę (i to pierwszego w zakresie nauki), to w ankietach personalnych podawał, że urodził się w Polsce, która w tamtym czasie znajdowała się pod zaborami. Michelson zastąpił ówczesnie najdokładniejszymi pomiarami wartości prędkości światła oraz eksperymentem Michelsona-Morleya, w którym w niezamierzony sposób wy-

kazał, że prędkość światła jest uniwersalną stałą fizyczną. Jako pierwszy zastosował techniki interferencyjne w pomiarach spektroskopowych odkrywając m.in. rozszczepienie linii widmowych wodoru. Jeszcze w końcu XIX wieku Michelson przeprowadził pierwsze interferencyjne pomiary astronomiczne średnic księżyców Jowisza, a pod koniec życia dokonał pierwszego bezpośredniego pomiaru rozmiarów obiektu spoza Układu Słonecznego, tj. zmierzył średnicę Betelgezy, alfy gwiazdozbioru Oriona.

Po wprowadzeniu historycznym referat pt. „Film video w nauczaniu i uczeniu się fizyki” wygłosił Tomasz Greczyło z Uniwersytetu Wrocławskiego. Prelegent przedstawił przegląd wykorzystania nagrań filmowych w procesie nauczania i uczenia się. Początkowo dominującą rolę odgrywała telewizja oraz przygotowywane profesjonalne nagrania na przenośnych nośnikach. Wraz z rozwojem technologii i nowych środków przekazu nagrania wideo stały się dominującą ścieżką przekazu. Dużą rolę w rewolucji odegrał dostęp do urządzeń rejestrujących oraz przetwarzających obraz i dźwięk. Autor przedstawił przykłady edukacyjnego wykorzystania filmu wideo w przeszłości i obecnie, m.in. wykład telewizyjny, programy popularno-naukowe, dedykowane materiały wideo i środowiska edukacyjne, oprogramowanie do prowadzenia pomiarów wideo i ewaluacji efektów uczenia się oraz nakreślił wykorzystanie tej formy nauczania w przyszłości.

Następnie Anna Hajdusianek z Politechniki Wrocławskiej przedstawiła on-line referat pt. „Laboratorium podstaw fizyki w czasie pandemii”. Pandemia wymusiła przedstawienie zajęć laboratoryjnych z formy stacjonarnej na zdalną. Na Politechnice Wrocławskiej zajęcia zdalne ze studentami rozpoczęły się w marcu 2020 r. i były kontynuowane do czerwca 2021 r. Forma zdalna prowadzenia zajęć laboratoryjnych stanowiła swoiste doświadczenie zarówno od strony prowadzącego zajęcia jak i studentów i miała pozytywne jak i negatywne aspekty.

Ostatnim wystąpieniem w pierwszej części sesji dydaktycznej był wykład Ludwika Lehmana z II Liceum Ogólnokształcącego im. M. Kopernika w Głogowie pt. „Diody i tranzystory bez dziur – jak to wyjaśnić”. Autor zaprezentował oryginalny sposób wyjaśnienia zasady działania diody i tranzystora na poziomie wiedzy ucznia szkoły średniej.



Rys. 2. Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich

W drugiej części sesji dydaktycznej pierwszy wykład pt. „Optoelektronika w życiu codziennym” przedstawił Kazimierz Gut z Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Prelegent zwrócił uwagę na powszechność układów optoelektronicznych w życiu codziennym. Ta powszechność mogłaby być przydatna do zainteresowania uczniów zjawiskami fizycznymi, które są podstawą działania wielu urządzeń powszechnego użytku. Autor przedstawił propozycje eksperymentów dotyczących zjawisk będących podstawą działania wielu urządzeń optoelektronicznych.

David Ziemkiewicz z Politechniki Bydgoskiej przedstawił referat pt. „Chaotyczna dynamika mechanizmów zegarowych”. Referent zajął się opisem matematycznym układu zegara mechanicznego jako oscylatora samowzbudnego. Sprzężenie zwrotne mechanizmu i wahadła powoduje, że dynamika układu jest nieliniowa i często chaotyczna, o fraktalnym atraktorze. W historii rozwoju zegarów, poprawa precyzji pomiaru czasu polegała na redukcji wpływu efektów nieliniowych poprzez zminimalizowanie oddziaływania między wahadłem a mechanizmem. Referent przedstawił także inne podejście do zagadnienia zaproponowane przez Johna Harrisona w 1772 r. W jego konstrukcji wahadło jest w ciągłym kontakcie z mechanizmem i wykonuje drgania o bardzo dużej amplitudzie. Współczesne metody numeryczne umożliwiają szczegółową analizę tego typu układu. Można wykazać, że w odpowiednich warunkach można uzyskać błąd wskazań na poziomie kilku sekund rocznie, co jest wartością nieosiągalną dla innych typów zegarów mechanicznych.

Multimedialny wykład żartobliwie zatytułowany „Problem skali – czy krasnoludki są na świecie?” został przedstawiony przez Mieczysława Napartego z Politechniki Bydgoskiej.



Rys. 3. Mieczysław Naparty „Czy krasnoludki są na świecie?”

Wykład dotyczył prześledzenia zmian charakteru zjawisk w zależności od rozmiarów obiektów, które poddane są różnym oddziaływaniom fizycznym. Choć prawa fizyki klasycznej mają charakter uniwersalny i skalowaniu nie podlegają, to skutek ich działania na z pozoru podobne obiekty mechaniczne, biologiczne, czy zjawiska przyrodnicze może być zupełnie inny i zaskakujący. Autor dowiódł na koniec, że krasnoludki mogą egzystować wraz z nami a olbrzymy nie.

Ostatni wykład w sesji dydaktycznej wygłoszony przez Joannę Biel-Kiepurę z Zespołu Szkół nr 6 we Wrocławiu dotyczył dostosowania metod pracy nauczyciela na lekcjach fizyki do indywidualnych potrzeb ucznia. Referentka zaproponowała, aby w nauczaniu fizyki wykorzystać indywidualne cechy psychofizyczne ucznia. Chodzi tu o to, aby w ramach lekcji wykorzystać indywidualne zainteresowania ucznia, jego hobby, ulubione gry komputerowe. Bardzo istotne jest powiązanie treści przekazu z obrazem. Autorka wykorzystuje w nauczaniu fizyki gry planszowe lub karciane, formy ruchowe jak escape room, gry fabularne i zaleca, aby nauczyciel uczestniczył w tych zajęciach razem z uczniami na równych prawach. Poza wykładami Kazimierz Szulowski z firmy EDUKA-FRSK Sp. z o.o. przedstawił ofertę dydaktyczną firmy Phywe Systeme do nauczania fizyki i nauk stosowanych. Rozwiązania firmy PHYWE obejmują pomoce dydaktyczne i przyrządy oraz kompletne zestawy do doświadczeń uczniowskich i demonstracyjnych dla wszystkich poziomów edukacji.

Po zakończeniu sesji dydaktycznej uczestnicy wzięli udział w spotkaniu nauczycieli fizyki, w formie uroczystej kolacji, które zakończył koncert Tomasza Pauszka i Przemysława Rudzia „Go Lem!”. Występ duetu wirtuozów syntetyzatorów inspirowany był twórczością Stanisława Lema, pisarza s-f, którego stulecie urodzin obchodzono w 2021 roku – Roku Lema.

## Popularyzacja

Jakkolwiek Sesja Dydaktyczna obejmowała też popularyzację fizyki, to elementy populano-naukowe można było odnaleźć tylko w wykładzie Kazimierza Guta czy Mieczysława Napartego. Natomiast treści dotyczące popularyzacji fizyki zostały zawarte w plakacie dr Edwarda Rydygiera z Sekcji Nauki PTF przedstawionym w sesji posterowej w dniu 20.01.2021 r. pt. „Przekaz medialny w nauczaniu i popularyzowaniu fizyki”. Autor plakatu przypomniał, że od zreformowania systemu edukacji w 1999 roku, w polityce edukacyjnej uwzględniane jest pozyskiwanie wiedzy naukowej ze źródeł pozaszkolnych, takich jak muzea nauki, zajęcia organizowane przez uczelnie, pikniki i festyny naukowe oraz media i Internet.

W założeniu twórców reformy media miały spełniać rolę edukacyjną i popularyzatorską. Tymczasem środki masowego przekazu uległy komercjalizacji, wobec czego dziennikarze traktują doniesienia naukowe tak, jak ciekawostki lub sensacje, a z naukowców chcą zrobić celebrytów. Jako źródła pozyskiwania wiedzy, medialne informacje naukowe i artykuły popularyzatorskie często nie są wiarygodne, gdyż zawierają wiele błędów, czy też pomyłek świadczących o tym, że ich autorzy posiadają

niepełną i ograniczoną wiedzę na tematy naukowe. Mimo tego, redakcje z powodu oszczędności nie korzystają z pomocy konsultantów naukowych. Podobnie dzieje się w redakcjach wydawnictw wydających książki popularnonaukowe, zwłaszcza przy tłumaczeniach z obcego języka. Czytelnicy otrzymują zatem niepełnowartościowe wiadomości naukowe, których nie potrafią skorygować korzystając z innych źródeł: podręczników, encyklopedii, czy z Internetu.

Niestety, źródła internetowe są również obciążone błędami. Dziennikarze jako autorzy artykułów na tematy naukowe, mają braki w wiedzy z zakresu nauk przyrodniczych, ale unikają krytyki korzystając obecnie z wysokiego prestiżu swojego zawodu przy niskim prestiżu społecznym naukowców i nauczycieli. Mimo deklaracji, szkoła realizująca wymóg umiejętności i przygotowania uczniów do egzaminów, nie nauczyła absolwentów selekcji pozyskiwanej wiedzy oraz umiejętności porównywania informacji z różnych źródeł. Tymczasem na świecie fizycy w popularyzacji korzystają z nowych technologii informatycznych konstruując gry sieciowe, a w opracowaniach książkowych wykorzystują nowatorskie przekazy polegające na rozmowie z psem o fizyce kwantowej, tworzenie nieistniejącej korespondencji między naukowcami, wstawianie rysunków komiksowych czy też nadając narracji formę science-fiction.

Godny polecenia jest tu światowy bestseller chińskiego inżyniera elektryka Cixin Liu pt. „Problem trzech ciał”, laureata nagrody Hugo dla najlepszej powieści w 2015 r. Jest to fantastyka oparta na „twardej” nauce rozgrywająca się w środowisku fizyków. Mark Zuckerberg, twórca Facebooka, uznał ją za jedną z najbardziej wartych przeczytania książek. Autor dokonał analizy głównych czasopism popularyzatorskich dostępnych na polskim rynku i ocenił je pod kątem wagi treści merytorycznych, formy przekazu, ilości ilustracji, reklam, ceny i utrzymywania konsultantów. Godne uwagi jest czasopismo „Wiedza i Życie”, ale tam w radzie programowej zasiada prof. Andrzej Kajetan Wróblewski, od lat walczący z pseudonauką. Samo środowisko dziennikarskie postanowiło polepszyć jakość przekazu informacji naukowych, czego przykładem jest konkurs „Popularyzator Nauki” organizowany przez portal PAP „Nauka w Polsce” i MNiSW.

## Misje

Do popularyzacji nauki można zaliczyć eksperyment zjazdowy jakim były dwa pokazy balonowej misji stratosferycznej. Pierwsza misja balonowa BHR-21 wystartowała 19 września (niedziela) o godzinie 12 z płyty Starego Rynku. Start drugiej misji BHAI-21 nastąpił 20 września (poniedziałek) o godzinie 11.45 z tarasu Młynów Rothera. Obie misje wystartowały w konfiguracji dwubalonowej, sznur z kapsułami badawczymi został podpięty pod dwa balony jednocześnie. Ta unikatowa konfiguracja (użyta w Polsce po raz pierwszy) jest rekonstrukcją oryginalnych technik badawczych opracowanych przez dwóch wielkich badaczy stratosfery z bydgoskim rodowodem: Hugona Hergesella i nominowanego do Nagrody Nobla Ericha Regenera.



Rys. 4. Balony misji stratosferycznej wysłanej 20.09.2021 r.

W misji BHR-21 znalazła się aparatura do detekcji promieniowania kosmicznego udostępniona przez Narodowe Centrum Badań Kosmicznych oraz kapsuła do pomiarów meteorologicznych i jakości powietrza, przygotowana przez uczniów VI Liceum Ogólnokształcącego w Bydgoszczy. W misji BHAI-21 w celu zobrazowania za pomocą kamery przemian fazowych do stratosfery została wysłana niewielka próbka wody z Brdy.

Obie misje zostały wyposażone w kamery (w tym kamerę sferyczną). Start obu układów balonowych był filmowany z dronów. W przygotowaniu obu układów aktywnie uczestniczyli uczniowie ze szkoły Podstawowej Centrum Edukacji Montessori, którzy wykonali m.in. spadochrony.

Oprócz koncertu w niedzielę na terenie Politechniki Bydgoskiej odbyły się jeszcze dwa koncerty w Opera Nova w Sali Fidelio na 1 piętrze: koncert Skrzeka i Muzykanta w poniedziałek 20.09.2021 r. i Koncert Freyghish Orchestra w piątek 23.09.2021 r. Koncert „Dwie nieskończoności” w wykonaniu Józefa Skrzeka (instrumenty klawiszowe i wokół) i Mirosława Muzykanta (instrumenty perkusyjne) zakończył drugi dzień Zjazdu. Koncert nawiązywał do Widowiska Multimedialnego „Na styku dwóch nieskończoności” wyreżyserowanego przez A. Maja z muzyką J. Skrzeka i narracją L. Grębosza, którego prapremiera odbyła się podczas 45 Zjazdu Fizyków Polskich w Krakowie w 2019 r. Film z tego widowiska został nagrodzony w 2021 r. Medalem im. Krzysztofa Ernsta za popularyzację fizyki.

W programie koncertu w Bydgoszczy znalazły się nowe wersje utworów z Widowiska, fragmenty muzyki filmowej Józefa Skrzeka, przeboje zespołu SBB oraz nowe kompozycje Skrzeka i Muzykanta. Zespół Freyghish Orkestra gra muzykę klezmerską, grecką i turecką stosując skalę muzyczną zwaną w Jidysz freyghish, skąd nazwa zespołu.

Na krótkim koncercie na zakończenie obrad 47 Zjazdu Fizyków Polskich w Bydgoszczy Freyghish Orkestra zaprezentowała utwory z repertuaru grecko-tureckiego. W zespole grają w większości absolwenci, studenci, doktoranci i pracownicy Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.



Rys. 5. Ogród roślin leczniczych i kosmetycznych Collegium Medicum

Program zjazdu był tak bogaty, że na zwiedzanie miasta zostały tylko wieczory. Jeden wieczorny (po godz. 20) spacer z przewodnikiem przeprowadzono 21 września we wtorek, a drugi odbył się 22 września trochę inną trasą po miejscach związanych z postacią bydgoskiego badacza Ericha Regenera, który urodził się kilkanaście metrów od granic XIX-wiecznej Bydgoszczy. Przewodnik zaprezentował uczestnikom wycieczki okładkę z oryginalnej dysertacji doktorskiej Ericha Regenera z 12.06.1905 r. na Uniwersytecie Friedricha Wilhelma w Berlinie, gdzie znajduje się informacja o miejscu urodzenia „aus Schleusenau bei Bromberg”.

Dla dydaktyków i nauczycieli fizyki interesujące było zwiedzanie pracowni dydaktycznych produkcji leków w trakcie obrad w budynku Wydziału Farmacji Collegium Medicum UMK w dniu 22.09.2021 r. W przerwie obrad była możliwość obejrzenia ogrodu roślin leczniczych i kosmetycznych położonego na terenie między Wydziałem Farmacji a Szpitalem Uniwersyteckim im. Antoniego Jurasza.

### „Fizyka 2050”

Bardzo interesujący dla nauczycieli był panel dyskusyjny pt. „FIZYKA 2050” przeprowadzony na zakończenie zjazdu w dniu 23 września po koncercie zespołu Freyghish Orkestra. Podczas panelu rozwinięto tematy ważnych badań przeprowadzonych w 2021 roku, o których donosiła prasa. Chodzi tu o zaawansowane badania nad reaktorem termojądrowym w USA i w Europie oraz zastosowania nadprzewodników. W podsumowaniu panelu przedsta-

wiono obszary wyzwań dla fizyków takie, jak: obniżenie emisji gazów cieplarnianych, wytworzenie nowych, bardzo wydajnych źródeł energii, wprowadzenie gospodarki opartej na wodorze, wykorzystanie energii termojądrowej, bardzo szybki transport nadziemny i podziemny.

Bydgoszcz, w którym zorganizowano 47. Zjazd Fizyków Polskich, to czterystutysięczne miasto, które jest ważnym ośrodkiem naukowym i akademickim regionu kujawsko-pomorskiego. W Bydgoszczy działają trzy uczelnie publiczne: Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich (PBS, dawniej UTP, a jeszcze wcześniej ATR), która obchodziła siedemdziesięciolecie latem 2021 r., Uniwersytet Kazimierza Wielkiego (dawniej Akademia Pedagogiczna), a także Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, gdzie zajęcia z biofizyki i fizyki medycznej prowadzą przedstawiciele bydgoskiego środowiska fizycznego. Obywatele miasta Bydgoszcz wnieśli istotny wkład do fizyki i nauk pokrewnych.

Erich Regener urodzony w Wilczaku, obecnie dzielnicy Bydgoszczy, był konstruktorem przyrządów do wysokościowych pomiarów promieniowania kosmicznego, zasugerował istnienie kosmicznego promieniowania tła. Był nominowany przez Erwina Schroedingera do Nagrody Nobla. Regener we współpracy z Wernherem von Braunem był twórcą pierwszego naukowego próbnika do pierwszej rakiety kosmicznej, znanej później jako V2. Z tego powodu Ericha Regenera uznaje się za inicjatora pozaziemskiej fizyki eksperymentalnej.

W Bydgoszczy urodził się Hugo Hergessel, fizyk atmosfery, pionier sondowań stratosferycznych i globalnych badań meteorologicznych, twórca nowatorskich technik sondowań balonowych. Obaj, ze względu na długoletnią przynależność regionu Pomorza i Kujaw do zaboru pruskiego, uznawani są za przedstawicieli nauki niemieckiej.

Bydgoszczaninem był matematyk Marian Rejewski, znany ze złamania kodu niemieckiej maszyny szyfrującej „Enigma”. Techniki matematyczne Rejewskiego i zaprojektowane przez niego maszyny liczące wyznaczyły nowe kierunki rozwoju informatyki, co w krótkim czasie przyczyniło się do powstania pierwszego w pełni elektronicznego, cyfrowego, programowalnego komputera Colossus.

Z podbydgoskiego Żnina wywodzą się bracia Śniadecy, a w leżącej niedaleko Żnina Kcynie urodził się Jan Czochralski, wybitny chemik i metalurg, odkrywca metody hodowania monokryształów krzemu, do dzisiaj wykorzystywanej przez rynek elektroniki.

Następny zjazd odbędzie się w Gdańsku.

**Autor, fizyk jądrowy, dr nauk techn.,**  
jest aktywistą Sekcji Nauczycielskiej PTF, posiada tytuł Fizyka Europejskiego (EurPhys).  
Jest także bloggerem, działaczem Stowarzyszenia Polskich Mediów  
i posiada legitymację prasową.

## W następnym numerze

### Mars – wyjątkowa planeta

Ze względu na brak tlenu w atmosferze Mars nie nadaje się bezpośrednio do zamieszkania przez ludzi. Jednakże istnieją zaawansowane projekty naukowo-badawcze, które w przyszłości być może pozwolą na podróż na Marsa. Po powierzchni Marsa poruszają się obecnie łaziki: Curiosity, Perseverance i Zhurong oraz lądownik InSight.

# CREDO-Maze: promieniowanie kosmiczne w każdej szkole

Tadeusz Wibig



Artykuł ten jest pierwszym z serii poświęconej projektowi „Kosmos widziany z Łodzi”. Jest to realizacja pilotażowego etapu znacznie większej akcji udostępniania młodzieży nowoczesnej aparatury naukowej mającej w końcowym efekcie poka-

zać, a może i nauczyć młodych, ciekawych świata ludzi metod jakimi posługuje się współczesna nauka w poszukiwaniu praw rządzących Wszechświatem. Aparatura ta ma stać się zaczątkiem, a właściwie istotnym rozwinięciem projektu CREDO (Cosmic Ray Extremely Distributed Observatory) i wszyscy, którzy przyłączą się do nas staną się uczestnikami niezwykłej podróży w nieznaną zakamarki Kosmosu.

Projekt, o jakim mówimy, nie jest projektem stricte naukowym. Chcemy podarować Wam, nauczycielom pracującym z uzdolnionymi młodymi ludźmi aparaturę, która może być wykorzystana nie tylko do uprawiania Nauki (przez duże „N!”), ale może znaleźć zastosowanie w zwykłe nieciekawym i nudnym procesie uczenia fizyki w szkole. Daje ona możliwości naocznego poznania fizyki współczesnej, fizyki cząstek elementarnych, zetknięcia się bezpośrednio z teorią względności i przekonania się, że fizyczny diabeł nie jest tak straszny, jak go czasem sami sobie malujemy.

Projektowi „Kosmos widziany z Łodzi” patronuje „Fizyka w Szkole (z astronomią)”, przez co mamy nadzieję dotrzeć do dużego grona Czytelników. Aktualnie finansuje go Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Łódzkiego i Ministerstwo Edukacji i Nauki (SONP/

SN/516075/2021). Pilotaż obejmuje ustawienie w 10 liceach aparatury mierzącej wielkie pęki promieniowania kosmicznego. Ponieważ mamy nadzieję, że na tym się nie skończy, prosimy i zachęcamy zaciekawione, a może nawet i zainteresowane osoby, nauczycieli o kontakt z nami. Im więcej nas będzie, tym łatwiej będzie zrobić następny krok i podjąć kolejne wyzwania. Kontakt dla zainteresowanych [tadeusz.wibig@uni.lodz.pl](mailto:tadeusz.wibig@uni.lodz.pl), a strona to <https://fundacja.uni.lodz.pl/index.php/kosmos-widziany-z-lodzi/>

## Promieniowanie kosmiczne

Dwa lata temu w serii artykułów w „Fizyce w Szkole” opowiedzieliśmy w dużym oczywiście skrócie historię odkrywania promieniowania kosmicznego w jego wielkopętkowym aspekcie (co znaczy „wielkopętkowy”, wyjaśni się samo niebawem). Dla tych, którzy nie pamiętają, albo co gorsza nie czytali tych tekstów przypominamy, że promieniowanie kosmiczne to strumień cząstek dochodzący do Ziemi z przestrzeni pozaziemskiej. Zależnie od energii tych cząstek mogą one pochodzić ze Słońca, z rozmaitych obiektów z naszej Galaktyki, a nawet spoza niej. Cząstki te, tak czy inaczej, muszą przebyć długą drogę, a więc muszą być z natury swojej stabilne. W świecie wokół nas nie ma ich wiele. Mogą to być fotony. Na pewno fotony z kosmosu docierają do nas. To dzięki nim widzimy gwiazdy na niebie, ale poza tymi z zakresu widzialnego dociera do nas prawie całe widmo promieniowania elektromagnetyczne od fal radiowych do promieniowania X i gamma.

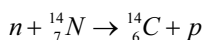
Historycznie rzecz biorąc jest to dziedzina astronomii. Innymi cząstkami, których możemy się spodziewać w strumieniu kosmicznym są elektrony. Są one oczywiście trwale i niewątpliwie podróżują przez Wszechświat trafiając czasem na Ziemię. Po drodze dość szybko tracą jednak energię w polach magnetycznych obecnych wszę-

dzie i w zderzeniach z materią, która jednak jest, choć w znikomej masie w pustce kosmicznej i jest ich w sumie niewiele. Niewiele w porównaniu z protonami. Tych jest najwięcej. Protony są jądrami atomów wodoru, a wszyscy wiemy, że na początku był tylko wodór i ciągle jest go we Wszechświecie najwięcej.

Poza jądrami wodoru w promieniowaniu kosmicznym znaleźć można praktycznie całą tablicę Mendelejewa, bo niby dlaczego nie. Mamy w ten sposób niejako bezpośredni dowód, że inne gwiazdy, inne systemy słoneczne, Galaktyka zbudowane są z takiej samej materii co my sami. Żeby przedstawić sytuację w sposób kompletny można jeszcze wspomnieć o neutrinach, które też są stabilne i które oczywiście także do Ziemi z kosmosu docierają. Jest ich sporo, a przynajmniej ta nam się wydaje, bo zauważenie neutrina jest niezwykle trudne. Przechodzi ono przez nasze detektory, przez Ziemię całą, a nawet przez Słońce jak przez masło.

Podsumowując możemy powiedzieć, że promieniowanie kosmiczne to głównie strumień jąder atomowych, w tym w większości protonów. O ich energiach mówiliśmy we wspomnianych artykułach w „Fizyce w Szkole”. Przypominamy, że najniższe są tak małe, że zderzając się z atomami atmosfery, gdy już dotrą do jej górnych warstw jedynie tracą swoją energię jonizując, wzbudzając cząsteczki atmosferycznych gazów. I tu wychodzi estetyczny efekt promieniowania kosmicznego: tak powstają polarne zorze. Ale mamy i efekty praktyczne: choćby w archeologii.

Promieniowanie kosmiczne o odrobinę większej energii niż to wzbudzające do świecenia atomy zderzając się z jądrami atmosfery czasem wybija z nich neutrony. Neutrony te mają też niewielkie energie, ale ponieważ są elektrycznie obojętne nie tracą łatwo energii i podróżują w atmosferze, zanim się nie rozpadną. Swobodne neutrony są nietrwałe i żyją mniej więcej 15 minut. W tym czasie może się zdarzyć, że taki neutron napotka na swej drodze jądro azotu, wbije się do środka i wywoła reakcję



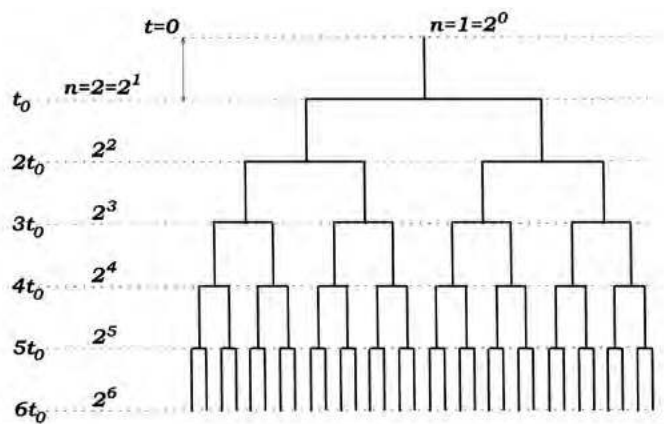
Nie będziemy teraz opowiadać, co dzieje się dalej z węglem  ${}^1_6\text{C}$ . Powiemy tylko, że w 1960 roku Willard Libby dostał nagrodę Nobla za wymyślenie w 1949 roku metody datowania radiowęglowego.

Promieniowanie kosmiczne niskich energii docierając do granic ziemskiej atmosfery zderza się z jądrami atomowymi cząsteczek powietrza i jeśli energia jest dostatecznie duża może wyprodukować „z niczego” zupełnie nowe cząstki elementarne. Jest to praktyczna realizacja równania Einsteina  $E = mc^2$ . Cząstki te znane są ludzkości od niedawna. Wokół nas ich nie ma, bo żyją bardzo krótko. Rozpadają się na coraz to mniejsze, aż najczęściej kończą jako niemal niezauważalne neutrina, fotony i elektrony, albo miony, zwane też ciężkimi elektronami z tym, że mionów powstaje znacznie mniej, są dużo cięższe i wytworzyć je „z niczego” jest trudniej. Oddziałują one niby tak samo jak elektrony, z tym, że jako cięższe, oddziałują niechętnie i tracą energię bardzo wolno i bez przeszkód przechodzą przez całą atmosferę i przenikają w ogóle przez materię dość łatwo.

## Kaskady elektromagnetyczne

Zajmijmy się elektronami i fotonami, bo to jest znacznie ciekawsze. Mają one małe szanse dotarcia z samej góry atmosfery do powierzchni ziemi. Po drodze oddziałują one i oddziałują tworząc kolejne generacje fotonów i elektronów o zmniejszającej się coraz bardziej energii.

Wyobraźmy sobie, że na szczycie atmosfery ( $t = 0$ ) pojawia się jeden elektron (albo foton, to prawie wszystko jedno, mówmy „cząstka”) o energii  $E$ . Spodziewamy się, że po jakiejś drodze, powiedzmy  $t_0$ , na skutek oddziaływań elektromagnetycznych z jądrami atmosfery wytworzy on „z niczego” jedną jeszcze cząstkę. Ponieważ energia musi się zachowywać, przyjmijmy dla uproszczenia, że obie będą miały energię  $E/2$ . Każda z nich po następnej drodze  $t_0$  wytworzy po jeszcze jednej cząstce. I tak dalej i dalej. Sytuację tę ilustruje rysunek.



Jeśli zanalizować sytuację dokładniej możemy stwierdzić, że po zrobieniu  $n$  kroków, czyli po przejściu drogi  $t = nt_0$ , liczba cząstek wynosi już

$$N(t) = 2^n = 2^{t/t_0}$$

i każda z tych cząstek będzie miała energię

$$E(t) = E_0 \times (1/2)^n = E_0 \times 2^{-t/t_0}$$

Oczywiście taka kaskada nie będzie rozwijała się w nieskończoność, bo w końcu energia każdej z cząstek będzie zbyt mała, aby „z niczego” wytworzyć nowy elektron. Tak naprawdę kaskada kończy się wcześniej, bo powolne elektrony przebijając się przez materię bardzo szybko tracą energię jonizując atomy ośrodka. Zarówno rachunki, jak i eksperymenty pokazały, że proces gwałtownych strat dla elektronów w powietrzu zaczyna się gdzieś w okolicy 100 MeV. Energię tę nazywa się energią krytyczną. „MeV” – „mega elektronowolt” to jednostka energii używana w fizyce jądrowej. 1 eV to energia jaką cząstka naładowana ładunkiem jednego elektronu uzyskałaby przyspieszając na różnicy potencjałów 1 V. To niedużo, mniej więcej tyle, ile niosą fotony światła widzialnego, czyli te, które pobudzają impulsy nerwowe w siatkówce naszego oka. Energia krytyczna 100 MeV to sto milionów razy więcej.

Odległość od szczytu atmosfery do punktu, w którym cząstki osiągną energię krytyczną jest równa

$$t_{max} = t_0 \times \ln_2(E_0 / E_{kr})$$

i liczba cząstek w tym momencie to

$$N_{max} = E_0 / E_{kr}$$

Oczywiście przedstawiona wyżej teoria jest bardzo grubym przybliżeniem rzeczywistości, ale w sumie coś w tym jest. Jeśli znamy drogę, średnią drogą na oddziaływanie i energię krytyczną możemy powiedzieć, ile energii musi mieć cząstka promieniowania kosmicznego, by jej konsekwencje w postaci kaskady cząstek dotarły do powierzchni ziemi.

A teraz zastanówmy się przez chwile, jak można by takie kaskady zaobserwować.

Oczywiście trzeba by dysponować odpowiednimi detektorami cząstek. We wspomnianym tekście o odkrywaniu promieniowania kosmicznego poświęciliśmy temu zagadnieniu sporo miejsca i odsyłamy do niego zainteresowanych szczegółami. Teraz zajmiemy się jednym ze sposobów zobaczenia szybko przelatującej koło nas cząstki elementarnej jest zastosowanie w tym celu zjawiska scyntylacji, a konkretniej scyntylacji w przezroczystych substancjach organicznych.

Przelatująca przez materię cząstka naładowana, właśnie dlatego, że niesie ze sobą ładunek elektryczny mijając elektrony związane z atomami, z których składają się cząsteczki materii oddziałuje z nimi, wybija ze swoich ustalonych pozycji przenosząc na wyższe poziomy energetyczne i po przejściu pozostawia za sobą rozmieszczone wzdłuż jej drogi cząsteczki wzbudzone, które bardzo chętnie i prawie natychmiast powracają do swoich stanów podstawowych emitując przy tym nadmiar energii, jakie uzyskały w zderzeniach.

Istnieją takie (przezroczyste) ciała, w których powroty te odbywają się poprzez emisję kwantów światła i to w obszarze widzialnym, albo nieco bardziej w stronę ultrafioletu. Jest to zwykłe światło, które moglibyśmy zobaczyć własnymi oczami (gdyby działały w ultrafiolecie – a nie działają!), a na pewno takie, które moglibyśmy zarejestrować urządzeniami elektronicznymi w rodzaju kamer aparatów fotograficznych w naszych smartfonach. Moglibyśmy, ale właściwie nie możemy. Światła tego jest niesłychanie mało. Ilość jego można by mierzyć w pojedynczych fotonach, a tego żadne oko nie zarejestruje. Ale od czegoś pomysłowość ludzka i nasza innowacyjność. Potrzeba jest matką wynalazku i skoro potrzebowaliśmy rejestrować pojedyncze fotony, wymyślono specjalne przyrządy pozwalające to robić.

## Detektory

Przez wiele lat najczulszymi detektorami światła były fotopowielacze, specjalne lampy elektronowe z kilkunastoma elektrodami wewnątrz wzmacniające sygnały miliony razy. Miały one jednak swoje wady, podobnie jak „zwykłe” lampy elektronowe, których pełne były dawne radia i telewizory. Dziś już tego nie ma, zastąpiły je układy półprzewodnikowe. I tak też się stało z detektorami światła. Zamiast fotopowielaczy możemy dziś stosować stosunkowo proste i tanie fotopowielacze krzemowe, które będziemy dla wygody dalej nazywać SiPMami.

SiPM zmienia nikły strumień światła wpadający w małe, o rozmiarach mierzonych w milimetrach, okienko w impuls

elektryczny. Aby efektywnie doprowadzić fotony powstałe we wzbudzeniach cząstek scyntylatora do mierzącego powiedzmy 1 mm<sup>2</sup> okienka SiPMa trzeba zastosować jeszcze jedną technologiczną innowację ostatnich lat: światłowody. Oczywiście światłowody są dziś powszechne i ich rola w technologiach telekomunikacyjnych jest olbrzymi, ale takie telefoniczne światłowody nie bardzo nadają się do celów transmisji światła w detektorach cząstek.

Potrzebne nam światłowody nie tylko mają transmitować światło z jednego końca do drugiego, ale mają je także zbierać z otoczenia. Muszą więc być znacznie grubsze. Najlepiej oczywiście, jakby miały przekrój odpowiadający okienku SiPMa i takie właśnie światłowody się produkuje w kilku miejscach na świecie. Dodatkowo ich konstruktorzy pomyśleli, że aby działały skuteczniej, dobrze by było, aby absorbowały światło ultrafioletowe, o którym wspominaliśmy i zmieniały je w najlepiej widoczny dla SiPMa kolor zielonkawy. Wszystko to zastosowaliśmy w detektorach naszego projektu CREDO-Maze.

Sygnały elektryczne generowane przez SiPMy są bardzo małe. Aby używać je praktycznie trzeba je wzmocnić i odpowiednio uformować. Potem można już mierzyć ich wielkość, notować czas pojawienia się. Można przyglądać się im próbując dostrzec coś więcej.

My chcemy rejestrować cząstki naładowane generowane przez promieniowanie kosmiczne w atmosferze. Wiemy, że cząstki te mają duże energie i poruszają się prawie z prędkością światła (w próżni). Nazywamy je relatywistycznymi. To, czy prędkość to to 0.999×c, czy 0.999999×c to z punktu widzenia cząsteczek scyntylatora wszystko jedno. Wszystkie cząstki relatywistyczne wzbudzają je tak samo. Co więcej, wielkość tego wzbudzenia nie zależy nawet od tego, jaka to cząstka (o ile tylko jest dostatecznie relatywistyczna). Wynika z tego, że ilość światła emitowana przez scyntylator przy przechodzeniu przez jedną relatywistyczną cząstkę jest zawsze z grubsza taka sama. W związku z tym mierząc wielkość sygnału z SiPMa moglibyśmy stwierdzić, ile pękowych cząstek trafiło w nasz detektor.

## Pomiary

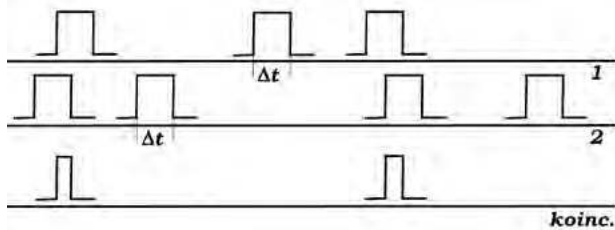
Zmierzenie wielkości malutkiego i bardzo krótkiego sygnału nie jest łatwe, ale ludzie to robią. Robią to naukowcy budujący wielkie aparaty wielkopękowe na świecie. My postanowiliśmy tego jednak nie robić. Mierzenie wielkości sygnału ma sens wtedy, gdy spodziewamy się często obserwować przypadki, gdzie cząstek w detektorze będzie wiele. Nasze detektory są niewielkie. Postanowiliśmy używać scyntylatorów prostokątnych o wymiarach 10 na 20 cm, czyli o powierzchni 0.02 m<sup>2</sup>. Aby w taki detektor trafiło 10 cząstek, to ich gęstość na powierzchni ziemi powinna być około 500 na metr kwadratowy. Albo więc byłby to bardzo duży pęk, albo mniejszy, ale taki, którego oś byłaby bardzo blisko detektora.

Obie te możliwości zdarzać się będą stosunkowo rzadko. Jeśli w naszą aparaturę trafi wielki pęk atmosferyczny, to najczęściej nasz detektor będzie trafiony jedną cząstką (albo i wcale). Oczywiście strumień cząstek niestowarzyszonych z wielkimi pękami, czyli takich, które ostały się

z pęków niewielkich, które w atmosferze dawno zanikły zawsze będzie trafiał w detektor cząstkami pojedynczymi. Nie ma sensu strzelać z armaty do wróbli. Nie ma sensu komplikować układów elektronicznych ponad miarę. To zawsze kosztuje, a my mamy inne priorytety.

Wiadomo, że elementy światłoczułe „szumią”. Pojawiają się w nich elektroniczne szумы, niewielkie sygnały generowane raz na jakiś czas przez drgania termiczne materii, z jakiej się składają. Można się ich pozbyć schładzając intensywnie nasze SiPMy. To jedna droga, kosztowna i kłopotliwa. My zasadniczo nie będziemy na nie zwracać uwagi dzięki temu, że jesteśmy bardzo sprytni i wyposażyliśmy nasze detektory w dwa światłowody i w dwa SiPMy i do dalszej analizy wybierać będziemy tylko takie przypadki, gdy oba SiPMy jednocześnie zarejestrowały błysk.

Chcąc sytuację rozważyć dokładnie, ilościowo przyjmijmy, że mamy dwa źródła zupełnie niezależnych sygnałów. Pierwszy daje ich  $R_1$  na sekundę, a drugi  $R_2$ . Jednocześnie w rozumieniu układu elektronicznego to stwierdzenie, że dwa sygnały pojawiły się w czasie krótszym niż  $\Delta t$ . Rysując to na linii czasu mamy



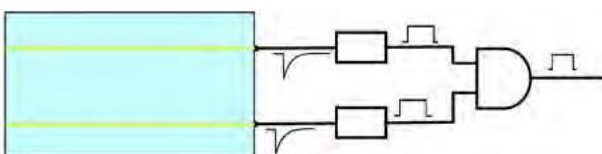
Uwzględniając, że sygnał z pierwszego SiPMa może raz pojawić się o  $\Delta t$  wcześniej w raz później o  $\Delta t$  w stosunku do sygnału z drugiego SiPMa każde pojawienie się każdego sygnału z pierwszego źródła (a jest ich średnio  $R_1$ ) otwiera bramkę czasową o długości ( $2\Delta t$ ). W sumie bramka otwarta jest zatem średnio na czas  $R_1 \times (2\Delta t)$ . Każdy z losowo pojawiających się sygnałów z drugiego źródła (a jest ich średnio  $R_2$ ) może w nią trafić lub nie. Liczba trafień jest zatem równa

$$R_{\text{koinc.}} = R_1 \times R_2 \times (2\Delta t)$$

Ilość sygnałów wychodzących z każdego SiPMa to powiedzmy jakieś 30000 na sekundę (mówimy o częstości szumów 30 kHz), a po układzie koincydencyjnym każdy detektor opuszcza mniej niż ~200 sygnałów na sekundę (200 Hz).

Zachodzi pytanie, czy te 200 sygnałów to zawsze są sygnały generowane przez jakieś istotne fizyczne przyczyny, czyli głównie przez przejście przez scyntylator cząstki naładowanej (kosmicznej, lub nie). Aby to obliczyć musimy wiedzieć, poza częstością sygnałów wchodzących do bramki AND, jaka jest długość uformowanych sygnałów w każdym kanale. W naszym przypadku to 200 ns ( $2 \times 10^{-7}$  s).

Detektor i jego logika przedstawiona jest na rysunku.



## Aparatura wielkopękowa

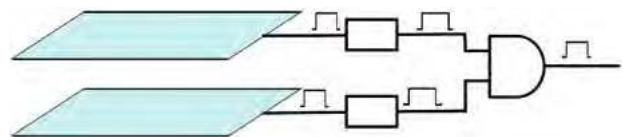
Aparatura wielkopękowa, jaką chcemy zbudować w Waszej szkole składać się będzie z czterech takich detektorów rozstawionych w niewielkich (~10 m) odległościach od siebie i prostego układu rejestrującego ciekawe przypadki. Oczywiście przejście pojedynczej cząstki przez licznik jest też ciekawym przypadkiem. Jest tych przypadków jednak kilkadziesiąt na sekundę. Odpowiadają one pojedynczym cząstkom wtórnym promieniowania kosmicznego, o jakich wspominaliśmy. Będziemy je zliczać, zapisywać i w planach mamy system monitorowania pogody kosmicznej, ale o tym przy innej okazji. Ciekawszymi przypadkami będą jednoczesne trafienia jakiś cząstek w dwa (trzy/cztery) detektory. Będzie to znaczyło, że najpewniej właśnie nasza aparatura trafiona została przez wielki pęk. Takie trafienia nie będą zbyt częste. Informacja o tym będzie oczywiście zapisywana, transmitowana do głównej bazy danych projektu CREDO, gdzie będą ją mogli uwzględnić w swoich pracach fizycy, ale będzie ona też dostępna całemu światu, jeśli tylko świat będzie chciał ją wykorzystać. O szczegółach powiemy przy innej okazji.

Zanim aparatura w Waszej szkole zacznie wysyłać w świat wyniki swoich rejestracji, trzeba ją oczywiście w Waszej szkole postawić i to jest mały problem, ale potem trzeba ją przetestować i upewnić się, czy wszystko działa jak należy. W tym celu przewidzieliśmy całą serię testów, które przeprowadzić będziecie musieli przeprowadzić sami. Oczywiście będziemy służyć Wam wszelką pomocą, radą, ale nie wątpimy, że po krótkim instruktażu dacie sobie doskonale radę.

Pierwszym testem jest sprawdzenie, czy nasze detektory rzeczywiście reagują na przychodzące z góry cząstki wtórnego promieniowania kosmicznego w szczególności miony, ale nie tylko.

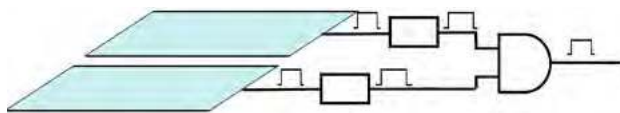
W tym celu dwa spośród czterech detektorów należy ustawić w układ, który nazywać będziemy teleskopem: jeden nad drugim, w pierwszym teście z możliwie małym odstępem. Pokazane jest to na rysunku.

Każdy detektor ma wewnątrz, jak mówiliśmy, układ generujący sygnał przy jednoczesnym pojawieniu się impulsu z obu SiPMów. Układ taki nazywa się koincydencyjnym. Sygnały z obu detektorów teleskopu podane są ponownie tym razem do innego, zewnętrznego do układu koincydencyjnego i ostatecznie rejestrujemy sygnał w przypadku, gdy przez scyntylatory górnego i dolnego detektora przeszła cząstka naładowana.



Oczywiście w układzie tym pojawiać się mogą sygnały przypadkowe. Omawiany wyżej szum. Do oszacowania, jakich częstości sygnałów szumowych możemy się spodziewać musimy poznać częstość sygnałów wychodzących niezależnie z górnego i dolnego detektora i musimy wiedzieć, jak długa jest bramka zewnętrznego układu koincydencji. Częstości musimy zmierzyć, a o bramce mu-

simy zasięgnąć informacji od konstruktorów elektroniki naszej aparatury. Aktualnie wynosi on 100 ns, czyli  $10^{-7}$  s. To bardzo mało. Jeśli detektory wysyłają sygnały w ilości mniej więcej 100 na sekundę (100 Hz), to policzona ze wzoru:  $R_{koinc.} = R_1 \times R_2 \times (2\Delta t)$  częstość szumów wynosi 0.002, czyli jedno przypadkowe zdarzenie raz na jakieś 10 minut. Warto to zapamiętać, gdy będziemy interpretować wyniki właściwego testu.



Aby definitywnie przekonać niedowiarków, że rzeczywiście mierzymy cząstki promieniowania kosmicznego wystarczy postawić te dwa detektory obok siebie:

W takiej konfiguracji nie możemy się spodziewać, że jedna cząstka kosmiczna wywoła wzbudzenie w obu detektorach. Zachodzi bardzo poważne pytanie: a co będzie, gdy cząstki promieniowania kosmicznego przychodzą do powierzchni ziemi parami (co najmniej)? Aby kwestię tę rozstrzygnąć trzeba odwołać się do doświadczenia.

### Doświadczenie

Jeśli pomiar taki przeprowadzony w budynku, gdzie ponad detektorami znajdują się grube betonowe stropy, detektory nasze zareagują jedynie na przychodzące z góry miony wysokich energii, bo te są, jak już wspomnieliśmy, bardzo przenikliwe.

Jeśli detektory wyniesiemy spod dachu i ustawimy na świeżym powietrzu, ewentualnie pod cienkim drewnianym dachem, będziemy mierzyć jednocześnie i miony, i elektrony. Możemy się zatem spodziewać różnic w obu tych przypadkach. Doświadczenie, którego wyniki przedstawiamy poniżej w wykonane zostało przez grupę uczniów z XXXI LO w Łodzi Annę Ways, Natalię Marciniak, Lenę Woźną i Emilię Krzelowską pod opieką nauczyciela fizyki profesora Krzysztofa Michałowskiego.

Koleżanki dysponowały czterema detektorami, z których każdy miał nieco inny bieg własny. Określono go z grubsza mierząc oscyloskopem liczbę zliczeń na sekundę  $R_i$ . Ze odpowiedniego wzoru wyliczono spodziewaną liczbę koincydencji przypadkowych  $R_{koinc.}$ . Detektory ustawiona w linii najpierw ten z numerem „1”, potem w odległości 70 cm detektor „2” i potem jeden na drugim ustawiono detektory „3” i „4”.

Tabela przedstawia w pierwszych pięciu wierszach porównanie spodziewanej liczby przypadkowych koincydencji dla detektorów leżących obok siebie z wynikami pomiarów przeprowadzonych pod dachem i na wolnym powietrzu. Pomiar wykonywano przez jedną godzinę i liczbę przypadkowych koincydencji przeliczono na spodziewaną liczbę przypadków na godzinę.

I już można z naszego doświadczenia wyciągnąć pierwsze fizyczne wnioski. Na początku wypada stwierdzić, że to wszystko, co mówiliśmy wyżej wydaje się znajdować swoje potwierdzenie w wynikach wykonanych pomiarów.

Po pierwsze pomiar na dworze pokazuje, że raczej nie mamy do czynienia z pojawianiem się rejestracji czą-



stek jednocześnie w obu detektorach. A przynajmniej nie dzieje się to na tyle często, aby można to było zauważyć w przeciągu godziny.

Po drugie takie samo ustawienie detektorów, ale pod kilkoma piętrami betonowych stropów powoduje, że liczba przypadków jednoczesnej obserwacji cząstek w detektorach położonych obok siebie znacznie wzrasta. Jedynym wytłumaczeniem tego faktu może być to, że coś się dzieje z cząstkami promieniowania kosmicznego we wspomnianych betonowych stropach. Jest to na tyle ciekawe, że wymaga dodatkowych badań.

Dociekliwi przypatrując się różnicom liczby rejestracji „pod dachem” i przykładając to do geometrii układu pomiarowego mogą zauważyć jeszcze jeden fakt: detektory z pary detektorów 1-2, tak jak i 2-3 i 2-4 były oddalone od siebie o 70 cm i wykazują nieco więcej zliczeń niż pary 1-3 i 1-4 o odstępach między detektorami 140 cm. Efekt ten także wymaga dodatkowych badań i pomiarów.

W ostatnim rzędzie tabeli pokazano liczbę zliczeń detektorów ułożonych jeden nad drugim, a więc, zgodnie z naszą koncepcją liczbę cząstek promieniowania kosmicznego trafiających w detektory. W tym przypadku liczba rejestracji na wolnym powietrzu jest znacznie, niemal dwa razy większa od liczby zliczeń pod dachem. Mogłoby to oznaczać, że betonowe stropy pochłaniają sporą część dochodzącego do powierzchni ziemi wtórnego promieniowania kosmicznego. Zbadanie stopnia i wielkości tego pochłaniania wymaga oczywiście dodatkowych pomiarów i badań.

detektory	$R_1$	$R_2$	$R_{koinc.}$	pomiar na dworze	pomiar pod dachem
1-2	130	180	16.8	18	95
1-3	130	130	12.1	12	34
1-4	130	90	8.4	8	31
2-3	180	130	16.8	14	60
2-4	180	90	11.6	5	54
średnio:			13.4	11.4	54.8
3-4	130	90	8.4	6404	3774

Jak widać już taki prosty eksperyment przynosi zupełnie nieoczywiste wyniki. Mieliśmy doskonały przykład na to, że poznanie odpowiedzi na jedno pytanie rodzi pytania nowe i tak być powinno. Na tym polega cała zabawa, zabawa w fizykę.

Tadeusz Wibig,

Katedra Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Łódzkiego

# Galileusz – astronom

## (1564 – 1642)

Tadeusz Wibig

W poprzednim numerze przedstawiliśmy Galileusza jako wybitnego badacza swobodnego spadku, czyli równocześnie kinematyki i grawitacji, który przyczynił się do istotnego postępu w obu tych dziedzinach. Stosując empiryczne podejście do nauki ustanowił solidne fundamenty gmachu fizyki budowanemu dalej przez jego następców, wśród których trzeba wymienić oczywiście Newtona, ale i w dalszej perspektywie samego Alberta Einsteina.

Klasyczny opis przechodzenia od opisu ruchu w jednym układzie inercyjnym do opisu w układzie poruszającym się względem niego jednostajnie nazywamy **transformacją Galileusza**. Transformacja Galileusza wynika w sposób oczywisty z **zasady względności Galileusza** opisanej przez niego w roku 1632 w *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (Dialog o dwu najważniejszych układach świata) na przykładzie okrętu płynącego po spokojnym morzu. Pasażer nie będzie w stanie stwierdzić, czy okręt płynie, czy stoi w miejscu. Tyle napisał Galileusz. Jeśli dodajemy do tego absolutny czas płynący tak samo dla wszystkich, czy to na statku, czy gdziekolwiek indziej, to nic więcej nam nie potrzeba. Oczywiście to nie Galileusz sformułował równania transformacji zwanej jego imieniem. Właściwie nie sposób stwierdzić, kto po raz pierwszy tak ją nazwał.

Poza problemami mechanicznymi Galileusz prowadził rozległą działalność naukową w innych dziedzinach, z których najważniejszą była niewątpliwie astronomia. Jego osiągnięcia na tym polu oceniane były przez współczesnych bardzo wysoko. Zaczęło się od tego, że w roku 1609 zbudował teleskop. Nie jest prawdą, że był on jego wynalazcą. Rok wcześniej niejaki Hans Lipperhey zaprezentował teleskop zwany wtedy *okularami szpiegowskimi* (spyglasses) księciu Nassau Maurycemu i nawet złożył do Stanów Generalnych odpowiedni wniosek patentowy.

Galileusz usłyszał o lunecie Lipperheya latem 1609 roku i przez kilka miesięcy bawił się soczewkami ustawiając je w rozmaitych konfiguracjach starając się otrzymać obraz powiększony i jednocześnie wyraźny, co nie było wcale łatwe. Wreszcie zamienił skupiającą soczewkę w okularze na soczewkę rozpraszającą, co okazało się świetnym pomysłem. Obraz nie był już teraz odwrócony, jak w teleskopach niderlandzkich i tak powstał **teleskop Galileusza** zwany też *teleskopem ziemskim*, w odróżnieniu od odwracającego *teleskopu astronomicznego* z oboma soczewkami skupiającymi.

Galileusz doskonaląc technikę szlifowania soczewek doszedł do tego, że jego teleskop powiększał nawet dziesięciokrotnie, podczas gdy Lipperhey osiągał jedynie czynnik trzy i zaprezentował to przed Senatem Weneckim



już w końcu sierpnia. Senat umiejętności Galileusza docenił i zaferował mu stały etat wykładowcy matematyki na Uniwersytecie w Padwie z podwójną pensją. Galileusz nie spoczął na laurach i dalej polerował coraz precyzyjniej swoje soczewki zwiększając ich ogniskową i wydłużając tubus teleskopu. Na jesieni doszedł już do powiększeń dwudziesto- i trzydziestokrotnych. Jak napisał znacznie później Robert Hooke w swojej *Micrografii* „Niewykluczonym jest, że w końcu wymyślone zostaną takie przyrządy optyczne, że przy ich pomocy odkryjemy żywe stworzenia na Księżycu albo na innych planetach”.

Oczywistym było, że prędzej czy później przyjdzie Galileuszowi do głowy, aby takie „szpiegowski okulary” skierować w niebo, zwłaszcza, że dochodzące wieści z Holandii mówiły o tym, że przez tamtejsze teleskopy daje się zauważyć gwiazdy, których gołym okiem nikt nigdy nie widział. Tamte proste i w sumie słabe teleskopy niewiele więcej mogły na niebie zobaczyć, Galileusz miał w ręku prawdziwe naukowe narzędzie i nie zawahał się go użyć.

Spojrawszy na Księżyc zauważył na nim góry. Tak naprawdę zaobserwował powolne zmiany na krawędzi cienia pomiędzy jego jasną i ciemną stroną, które można było najrozsądniej interpretować jako góry i doliny właśnie. Odkrycie to, dziś może niedoceniane miało wielkie znaczenie dla nauki tamtych czasów. Pokazywało, że powierzchnia Księżyca bardzo podobna jest do powierzchni Ziemi, co zdecydowanie przemawiało za nowym obrazem Wszechświata proponowanym przez Mikołaja Kopernika.

Inne potwierdzenie teorii naszego wielkiego astronoma znalazł Galileo obserwując planetę Wenus. Przyjmuje się, że to on pierwszy stwierdził istnienie faz Wenus podobnych do tych, jakie widzimy gołym okiem patrząc na Księżyc. Doniósł o tym Keplerowi w liście z roku 1610

pisząc doń „*Haec immatura a me iam frustra leguntur oī*” co dosłownie znaczy: „*Te rzeczy są teraz zbyt młode i czytają je próżno*”, albo coś takiego, czyli zupełnie bez sensu z astronomicznego punktu widzenia.

Każdy prawdziwy naukowiec tamtych czasów, gdyby dostał od kolegi naukowca takie przesłanie, od razu domyśliłby się, że chodzi o anagram i zająłby się jego rozwikłaniem. Kepler oczywiście spróbował i otrzymał zdanie „*Macula rufa in Jove est gyratur mathem*”, co w luźnym tłumaczeniu można by zrozumieć jako „*Jowisz ma czerwoną plamę*”. Tylko, że Galileusz nie zobaczył Wielkiej Czerwonej Plamy na Jowiszu. A szkoda.

Prawdziwe rozwinięcie jego anagramu to: „*Cynthiae figuras aemulatur Mater Amorum*”, co znaczy mniej więcej „*Matka miłości naśladuje Cyntię*”, co wśród astronomów oznaczać może jedynie, że „*Wenus naśladuje Księżyc*”. Ale w czym? Dopiero po kilku miesiącach, gdy Galileusz był już pewien swojego odkrycia, wyjaśnił, o co mu szło. Tak to się zapewniało sobie w tamtych czasach pierwszeństwo w odkrywaniu tajemnic natury, choć akurat w tym wypadku istnieją podejrzenia, że pierwszym był inny Włoch Benedetto Castelli i Galileusz nie był tak do końca uczciwy. Ale to tylko plotki!

Jednym z najbardziej znanych odkryć na niebie dokonanych przed Galileusza było zobaczenie przez teleskop w roku 1610 czterech największych księżyców Jowisza zwanych dziś **księżycami galileuszowymi**. Galileusz nazwał je „gwiazdami medycejskimi” (*Sidera Medicea*). „Odkrycie sponsorowane”. Oczywiście księżycy krążące wokół planety przemawiały także za teorią kopernikańską.

Przyglądając się w roku 1610 Saturnowi zauważył, że on też nie jest planetą zupełnie normalną. Duża i okrągła, jak należy, ale ma po bokach jakby dwa wielkie księżycy prawie dotykające Saturna właściwego. Nazwał go wtedy „planetą potrójną”. W roku 1612 księżycy Saturna jakby zniknęły. W roku 1616 pojawiły się znowu, ale tym razem „*nie są już dwoma małymi, idealnie okrągłymi globami ..., ale są obecnie znacznie większe i już nie okrągłe ... to dwie*

*pół elipsy z dwoma małymi ciemnymi trójkątami w środku przylegające do Saturna, który jest widziany, jak zawsze, jako idealnie okrągły*”. Ten obraz Saturna funkcjonował do czasu, gdy w 1655 roku Huygens definitywnie stwierdził, że Saturn ma pierścienie, które widzimy trochę z boku.

Na przełomie lat 1612/13 Galileusz ciągle intensywnie patrzył w niebo i był o krok od odkrycia na niebie Neptuna. Zauważył on świecący obiekt w miejscu, gdzie, dziś to wiemy, był wtedy Neptun. Widział go tam, ale uznał, że gwiazdę stałą, nieruchomą na firmamencie. I tak na odkrycie Neptuna musieliśmy poczekać jeszcze prawie 250 lat.

Przyglądając się przez teleskop Drodze Mlecznej już w 1610 stwierdził, że nie jest to żadna chmura, obłok (a zwłaszcza z mleka!), ani efekt oddziaływania sfery gwiazd stałych z Układem Słonecznym, jak powszechnie myślano, a „*mnóstwo małych gwiazd skupionych tak blisko, że nie da się ich gołym okiem rozróżnić*”.

Większość wielkich odkryć Galileusza znalazła się w dziele *Sidereus Nuncius* (Gwiazdny posłaniec) z roku 1610. Największego, a na pewno jednego z największych swoich odkryć astronomicznych dokonał później, latem roku 1612. Przeprowadził wtedy serię obserwacji Słońca i plam słonecznych i wyniki opublikował w dziele „*Istoria e Dimostrazioni Intorno Alle Macchie Solari e Loro Accidenti Rome*” (Historia i przedstawienie plam słonecznych i ich właściwości).

Inni przed Galileuszem już widzieli plamy na Słońcu, ale nie przywiązywano do tego wielkiej wagi. Panował pogląd, że plamy to małe planetki poruszające się blisko Słońca widoczne tylko na jego tle. Kepler w roku 1607 widząc małą plamkę na tarczy słońca uznał ją za Merkurego przechodzącego przed tarczą słoneczną. Obserwacje plam na słońcu, pozwoliły Galileuszowi stwierdzić, że Słońce nie dość, że poplamione, to się jeszcze obraca.

„*Eppur si muove*” (a jednak się kręci) słynne zdanie, które Galileusz miał wypowiedzieć przed Rzymską Inkwizycją, miało dotyczyć innej kwestii, ale tę historię wszyscy dobrze znają.



Teleskopy w Muzeum Galileusza we Florencji

## Doświadczenie domowe:

### Teleskop ziemski Galileusza

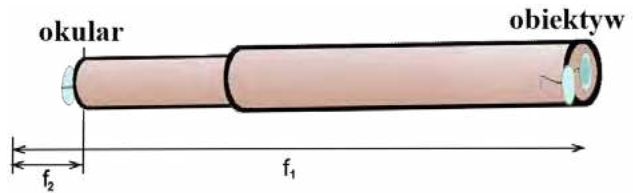
#### A. Potrzebne materiały

1. Tekturowa rura pocztowa o średnicy kilku centymetrów i długości 1 m.
2. Druga tekturowa rura pocztowa o średnicy nieco mniejszej, aby mogła przesuwać się wewnątrz pierwszej.
3. Słaba soczewka skupiająca, mogą być okulary „+1” co daje ogniskową  $f_1$  1 m).
4. Silna soczewka rozpraszająca (okulary „-5”: długość ogniskowej to wtedy  $f_2$  20 cm).

#### B. Narzędzia – nożyczki, taśma klejąca

#### C. Kolejność czynności

1. Przycinamy rury tak by miały długość mniejszą od różnicy ogniskowych ( $f_1 - f_2$ ),
2. Jeden otwór każdej rury zaklejamy nieprzezroczystą taśmą klejącą, po czym wycinamy w nich nieduże (1 cm) otwory.
3. Do końca z wyciętym otworem rury szerszej przymocowujemy soczewkę skupiającą, aby pokrywała wycięty otwór.
4. Analogicznie do końca rury węższej przymocowujemy soczewkę rozpraszającą.
5. Wkładamy rurę węższą w szerszą i mamy już teleskop Galileusza.
6. Popatrzmy w dal i wsuwając, i wysuwając rury ustawiamy najlepszą ostrość.



Widok z mojego okna gołym okiem i przez teleskop.

## Co w fizyce piszczy

### Nowa, radiowa mapa Kosmosu

**Naukowcy opublikowali nową mapę kosmosu opracowaną na podstawie obserwacji radioteleskopem LOFAR.**

W ciągu siedmiu lat międzynarodowy zespół naukowców stworzył radiową mapę obejmującą ponad jedną czwartą nieba północnego. Obserwacje prowadzono europejską siecią radioteleskopów Low Frequency Array (LOFAR), która posiada trzy stacje obserwacyjne także w Polsce.

Nowa radiowa mapa kosmosu, uzyskana w ramach przeglądu o nazwie LOFAR Two-metre Sky Survey (LoTSS), obejmuje ponad 4,4 miliona obiektów widzianych w zakresie niskich częstotliwości radiowych, w tym około milion obiektów nie znanych do tej pory oraz wiele źródeł nie rejestrowanych wcześniej na falach radiowych. Do utworzenia mapy posłużyło 3500 godzin obserwacji, z których dane zajmują 8 petabajtów przestrzeni na dyskach. Można to porównać z dyskami 20 tysięcy laptopów.

Mapa została udostępniona publicznie, tak więc każdy chętny może zobaczyć ogrom danych w niej zawarty, a także sprawdzić, jak różne obiekty wyglądają w zupełnie nowej odsłonie – wskazują naukowcy.

Większość zaobserwowanych źródeł położona jest miliardy lat świetlnych od Ziemi. Źródłami tymi są przede wszystkim galaktyki, w których znajdują się wielkie czarne dziury, a także galaktyki, w których intensywnie rodzą się nowe gwiazdy. Dostrzeżono też zderzające się grupy galaktyk, a także obiekty z naszego bliższego sąsiedztwa – rozbłyskujące gwiazdy z Drogi Mlecznej.

Analiza danych zawartych w mapie to kolejne publikacje na temat poszczególnych zagadnień. Wraz z mapą opublikowano na przykład wyniki dotyczące zderzających się gromad, w których są setki, a nawet tysiące galaktyk. Dzięki temu naukowcy

poznają pola magnetyczne i zachowanie wysokoenergetycznych cząstek w dużych strukturach we Wszechświecie.

Wśród innych przykładów badań wynikających z opisywanych obserwacji LOFAR jest wykrycie nietypowych sygnałów wywołanych być może przez egzoplanety okrążające pobliskie gwiazdy, odkrycie najwolniej obracającego się pulsara. Analizowano także struktury tzw. kosmicznej sieci poprzez badania pozycji i kształtów galaktyk. Do projektu dodano też element nauki obywatelskiej (ang. citizen science), gdyż wykryto tak wiele radiogalaktyk, że potrzebna jest pomoc ochotników w wyszukiwaniu w nich nowych czarnych dziur.

Dokładny opis radiowej mapy nieba ukazał się w czasopiśmie „Astronomy & Astrophysics”. W zespole badawczym jest wielu polskich naukowców z kilku instytucji: prof. K. Chyży, dr hab. M. Jamroz, dr B. Nikiel-Wroczyński oraz dr U. Pajdosz-Śmierciak z Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, dr hab. M. Bilicki z Centrum Fizyki Teoretycznej PAN w Warszawie, dr M. Hajduk z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, dr hab. M. Kunert-Bajraszewska i mgr A. Wołowska z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, a także dr hab. K. Małek oraz mgr S. Nakoneczny z Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Warszawie.

LOFAR to europejska sieć anten radiowych, której centrum znajduje się w Exloo w Holandii. Głównym organizatorem projektu (zaprojektowanie i budowa teleskopu) jest Holenderski Instytut Radioastronomii (ASTRON). W projekcie jako partnerzy uczestniczą instytucje z Francji, Irlandii, Łotwie, Holandii, Niemiec, Polski, Szwecji, Wielkiej Brytanii i Włoch.

PAP – Nauka w Polsce

## Równanie stanu doskonałego gazu w zadaniach

Czesław Surowiec

Jeśli przyjmujemy oznaczenia:

$p_1, V_1, T_1$  – ciśnienie, objętość, i temperatura doskonałego gazu w stanie początkowym,

$p_2, V_2, T_2$  – ciśnienie, objętość i temperatura doskonałego gazu w stanie końcowym,

to równanie stanu gazu doskonałego gazu możemy zapisać następująco:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad \text{I}$$

Dla jednego mola doskonałego gazu w warunkach normalnych otrzymujemy

$$\frac{p \cdot V}{T} = R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}, \text{ gdzie } R \text{ jest stałą gazową.}$$

Dla 1 mola doskonałego gazu równanie stanu możemy zapisać w postaci, którą nazywamy równaniem Clapeyrona

$$p \cdot V = R \quad \text{II}$$

a dla  $n$  moli uwzględniając

$$p \cdot V = nRT \quad \text{III}$$

$n = \frac{m}{\mu}$ , gdzie  $m$  – jest masą stałego gazu, a  $\mu$  – jest masą molową gazu.

Otrzymujemy zatem ogólną postać równania Clapeyrona

$$p \cdot V = \frac{m}{\mu} R \cdot T \quad \text{IV}$$

Rozwiązując zadania tego typu musimy pamiętać o tym, że:

1. Gazy rzeczywiste wykazują odstępstwa od równań stanu doskonałego gazu, w temperaturach niższych i porównywalnych z ich krytyczną temperaturą. Nie można go również stosować przy zbyt wysokich ciśnieniach, gdyż musi być spełniony warunek, że objętość własna cząsteczek gazu musi być bardzo mała w porównaniu z objętością naczynia, w którym znajduje się gaz. Oddziaływania cząsteczek w gazach sprowadzamy tylko do sprężystych zderzeń przy ich zetknięciu. Wymienione ostatnie uproszczenie uwzględnia równanie Van der Waalsa, które również nawet dla gazów jednoatomowych nie daje zadowalających wyników.

2. Z równania stanu doskonałego gazu, wynika:

- w izobarycznym procesie oziębiania gazu do temperatury  $0^\circ\text{K}$  jego objętość dąży do 0.
- Przy oziębianiu gazu w procesie izobarycznym do  $0^\circ\text{K}$  ciśnienie gazu dąży do 0.
- Temperatura  $0^\circ\text{K}$  ma dla doskonałego gazu szczególne znaczenie, gdyż jest to najniższa możliwa temperatura, w której pojęcie gazu doskonałego ma sens.

3. Jeśli w naczyniu mamy mieszaninę kilku gazów to zgodnie z prawem Daltona ciśnienie tej mieszaniny na ściany naczynia jest sumą ciśnień cząstkowych gazów tworzących tę mieszaninę. Oznacza to, że stan każdego gazu w mieszaninie nie zależy od stanu innych gazów.

Ponieważ gaz jest w równowadze, jednakowa jest jego objętość i temperatura. Dlatego dla każdego z gazów oddzielnie możemy zapisać równanie stanu gazu.

4. Ciepło właściwe gazu w odróżnieniu od ciepła właściwego ciał stałych i cieczy zależy od tego jaki proces zachodzi podczas zmiany jego temperatury. W przypadku gazów częściej posługujemy się ciepłem molowym niż właściwym. Między ciepłem molowym pod stałym ciśnieniem  $C_p$  i ciepłem molowym w stałej objętości  $C_v$  zachodzi zależność

$$C_p = C_v + R \quad \text{V}$$

Zgodnie z pierwszą zasadą termodynamiki, ilość ciepła dostarczona gazowi  $\Delta Q$  jest równa sumie zmiany energii wewnętrznej gazu  $\Delta U$  i pracy wykonanej przez gaz  $\Delta W$

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \quad \text{VI}$$

Ciepło molowe i ciepło właściwe gazu jest związane z tym jaką pracę wykona gaz. Aby obliczyć ich wartość należy znaleźć zależność dla pracy wykonanej przez gaz lub pracę wykonaną nad gazem (przykład 4).

### Przykład 1.

Wychodząc z równania stanu doskonałego gazu dla 1 mola gazu II określ sens fizyczny stałej gazowej  $R$ .

**Rozwiązanie.**

Wyobraźmy sobie jeden mol doskonałego gazu znajdujący się w naczyniu zamkniętym ruchomym tłokiem przesuwanym w nim bez tarcia, do którego doprowadzamy ciepło tak, że jego temperatura wzrośnie o 1 K. Ciśnienie gazu będzie stałe (równe ciśnieniu zewnętrznemu). Równanie stanu gazu zgodnie z II zapiszemy następująco:

$$\text{do nagrzania} \quad pV_1 = RT \quad \text{①}$$

$$\text{po nagrzaniu} \quad pV_2 = R(T + \Delta T) \quad \text{②}$$

Odejmując ② od ① otrzymujemy

$$p(V_2 - V_1) = R(T + \Delta T) - RT = R \cdot \Delta T \text{ lub } p \cdot \Delta V = R \cdot \Delta T$$

stąd

$$R = \frac{p \cdot \Delta V}{\Delta T} \quad \text{gdzie } p \cdot \Delta V = W$$

$$R = \frac{W}{\Delta T} \quad \text{gdzie } \Delta T = 1 \text{ K}$$

Na podstawie tej zależności możemy stwierdzić: stała gazowa  $R$  jest równa liczbowo pracy jaką wykona jeden mol doskonałego gazu rozszerzający się izobarycznie przy ogrzaniu o 1 K.

### Przykład 2.

Określić gęstość mieszaniny gazów w naczyniu zamkniętym o objętości  $V$  składającej się z tlenu o  $m_1 = 50$  g i wodoru o  $m_2 = 20$  g i ciśnieniu  $p = 10^5$  Pa.

**Rozwiązanie.**

Zgodnie z prawem Daltona  $p = p_1 + p_2$ , gdzie  $p_1$  – ciśnienie cząstkowe tlenu,  $p_2$  – ciśnienie cząstkowe wodoru.

Dla wodoru i tlenu równanie stanu gazu zapiszemy następująco:

$$p_1 \cdot V = \frac{m_1}{\mu_1} RT \quad (2)$$

$$p_2 \cdot V = \frac{m_2}{\mu_2} RT \quad (3)$$

Dodając stronami równania (2) otrzymujemy

$$p_1 V + p_2 V = \frac{m_1}{\mu_1} RT + \frac{m_2}{\mu_2} RT$$

Uwzględniając równanie (1) otrzymujemy

$$(p_1 + p_2)V = p \cdot V = \left( \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) RT \quad (3)$$

Gęstość mieszaniny gazów jest równa  $\rho = \frac{m_1 + m_2}{V}$  po uwzględnieniu zależności (3) otrzymujemy

$$\rho = \frac{m_1 + m_2}{\frac{RT}{p} \left( \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right)} = \frac{(m_1 + m_2)p}{RT \left( \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right)}$$

Po podstawieniu wartości danych otrzymujemy

$$\rho \approx 0,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### Przykład 3.

Ile wynosi droga przebyta przez cząsteczkę gazu bez zderzenia z innymi (swobodna droga) w warunkach normalnych? Średnicę cząsteczki gazu przyjmujemy za równą  $d = 3,7 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ .

#### Rozwiązanie.

Cząsteczka gazu zderza się z inną, jeśli ich odległość między środkami jest mniejsza od  $d$ . Jeśli w czasie  $t$  cząsteczka przebiegnie drogę  $l$ , zderzy się z innymi cząsteczkami, których środki znajdują się w cylindrze o długości  $l$  i przekroju  $\pi d^2$ . Ilość cząsteczek w objętości tego cylindra wynosi  $n_c \cdot l \cdot \pi d^2$  ( $n_c$  jest ilością cząsteczek gazu w jednostce objętości naczynia) i stanowi ogólną liczbę zderzeń cząsteczki. Obliczymy drogę swobodną  $\lambda$  cząsteczki

$$\lambda = \frac{l}{\pi d^2 n_c l} = \frac{1}{\pi n_c d^2} \quad (1)$$

Ilość cząsteczek obliczymy z zależności

$$p \cdot V = nRT \quad (2)$$

gdzie  $n = \frac{n_c}{N_A}$ , gdzie  $N_A$  jest liczbą Avogadro.

Podstawiając do (2) za  $n$  i rozwiązując względem  $n_c$  otrzymujemy

$$n_c = \frac{pVN_A}{RT}$$

Po podstawieniu do (1) otrzymamy

$$\lambda = \frac{RT}{\pi d^2 N_A p}$$

po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy:

$$\lambda = 8,75 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

W warunkach normalnych droga swobodna cząsteczki gazu jest około 200 razy większa od jej średnicy. Jeśli w stałej temperaturze ciśnienie wzrośnie 100 do 200 razy droga swobodna cząsteczki jest porównywalna z jej średnicą i w normalnych temperaturach nie można pominąć oddziaływania cząsteczek z siłami międzycząsteczkowymi i nie można stosować modelu gazu doskonałego.

### Przykład 4.

Mól doskonałego gazu ogrzewa się w takich warunkach, że jego ciśnienie rośnie wprost proporcjonalnie do objętości  $p = \alpha \cdot V$ , gdzie  $\alpha$  jest stałą.

Oblicz:

a) Pracę wykonaną przy zwiększaniu jego objętości o  $\Delta V$ .

b) Ile wyniesie ciepło molowe gazu w tym procesie?

#### Rozwiązanie:

a) Zależność  $W = p \cdot \Delta V$  stosuje się tylko przy stałym ciśnieniu, dlatego przyrost objętości gazu podzielimy na tak małe części, aby można było pominąć zmianę ciśnienia wywołaną zmianą objętości o  $\Delta V$ . Z kolei chcemy powiązać  $p \cdot \Delta V$  przy małej zmianie objętości ze zmianą temperatury posługując się równaniem stanu gazu w postaci

$$p \cdot V = RT \quad (1)$$

Niech przy zmianie temperatury o  $\Delta T$  objętość gazu zmieni się o  $\Delta V$ , a ciśnienie o

$$\Delta p (p + \Delta p)(V + \Delta V) = R(T + \Delta T) \quad (2)$$

Podstawiając (1) do (2) po wykonaniu działań i uwzględnieniu, że  $\Delta p$  i  $\Delta V$  jako bardzo małe można pominąć, otrzymujemy:

$$p \cdot \Delta V + V \cdot \Delta p = R \cdot \Delta T \quad (3)$$

Uwzględniając zależność  $\Delta p = \alpha \cdot \Delta V$  otrzymamy:  $V \cdot \Delta p = \alpha \cdot V \cdot \Delta V = p \cdot \Delta V$

Podstawiając za  $V \cdot \Delta p$  do (3) otrzymujemy

$$\Delta W = p \cdot \Delta V = \frac{1}{2} R \cdot \Delta T \quad (4)$$

b) I zasadę termodynamiki zapisujemy:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \quad (5)$$

Dla rozpatrywanego doskonałego gazu jego wewnętrzna energia nie zależy od objętości i jest określona tylko przez temperaturę i jego pracę

$$\Delta U = C_v \cdot \Delta T \quad (6)$$

Podstawiając (5) zależność (6) i (4) otrzymujemy:

$$\Delta Q = C_v \cdot \Delta T + \frac{1}{2} R \cdot \Delta T = \Delta T (C_v + \frac{1}{2} R)$$

Uwzględniając, że  $\Delta Q = C \cdot \Delta T$ , gdzie  $C$  – ciepło molowe rozpatrywanego gazu, otrzymujemy:

$$C \cdot \Delta T = \Delta T (C_v + \frac{1}{2} R) \text{ stąd } C = C_v + \frac{1}{2} R$$

po uwzględnieniu zależności  $C_p = C_v + R$  otrzymujemy:  $R = C_p - C_v$ , stąd:

$$C = C_v + \frac{1}{2} R = \frac{1}{2} (C_v + C_p)$$

### Przykład 5

Kulista świecąca chmura swobodnie płynie w powietrzu. Jeden z modeli zakładających ich powstawanie za-

klada, że wewnątrz niej każda cząsteczka składająca się z jonu azotu jest związana z kilkoma cząsteczkami wody. Elektrony utracone przez cząsteczkę azotu są wychwytywane przez cząsteczki wody, tak, że złożona cząsteczka jest zneutralizowana. Określić, ile cząsteczek wody jest związanych z każdym jonem azotu, jeśli temperatura wewnątrz chmury wynosi  $t = 600^\circ\text{C}$ , a otaczającego powietrza  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ . Masa molowa azotu  $\mu_a = 14 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$ , masa molowa cząsteczki wody  $\mu_1 = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$

#### Rozwiązanie:

Ponieważ kulista chmura płynie w powietrzu, gęstość znajdującego się w niej gazu jest równa gęstości otaczającego ją powietrza. Ciśnienie w chmurze jest równe ciśnieniu atmosferycznemu. Te dwa warunki możemy zapisać następująco:

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p_0}{\rho_0} \quad (1)$$

gdzie wielkości dotyczące powietrza przyjmują wskaźnik 0 a dotyczące chmury, nie mają wskaźnika.

Podstawiając za  $\rho = \frac{m}{V}$ , a za  $\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}$  do (1), otrzymujemy:

$$\frac{p \cdot V}{m} = \frac{p_0 V_0}{m_0}$$

Zapiszemy równanie Clapeyrona dla powietrza i chmury:

$$p_0 V_0 = \frac{m_0}{\mu_0} RT_0, \text{ stąd}$$

$$\frac{p_0 V_0}{m_0} = \frac{T_0}{\mu_0} R \quad (2)$$

$$p \cdot V = \frac{m}{\mu} RT \quad (3)$$

Zgodnie z zależnościami (1) lewe strony są równe, to porównując prawe strony (2) i (3), otrzymujemy:

$$\frac{T}{\mu} = \frac{T_0}{\mu_0}, \text{ stąd } \mu = \mu_0 \frac{T}{T_0}$$

Uwzględniając  $\mu_0 = 29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  otrzymujemy:

$$\mu = 86 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

Jeśli od cząsteczki złożonej z jednego atomu azotu i  $n_w$  cząsteczek wody odejmiemy  $\mu_0$ , to otrzymamy  $\mu_w$  masę molową cząsteczek wody wchodzących w skład złożonej cząsteczki.

$$\mu_w = \mu - \mu_a = 86 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} - 14 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 72 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$$

stąd ilość cząsteczek wody

$$n = \frac{\mu_w}{\mu_1} = \frac{72 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} = 4$$

#### Przykład 6

Dwa naczynia o objętości  $V = 10 \text{ l}$  każde napełnione suchym powietrzem o ciśnieniu  $p_0 = 10^5 \text{ Pa}$  i temperaturze  $t_0 = 10^\circ\text{C}$ . Do pierwszego naczynia wprowadzamy  $m_1 = 3 \text{ g}$  wody, a do drugiego  $m_2 = 15 \text{ g}$  i ogrzewamy naczynia do  $100^\circ\text{C}$ . Określ ciśnienie wilgotnego powietrza w temperaturze  $t = 100^\circ\text{C}$  w każdym naczyniu. Masa molowa cząsteczki wody  $\mu_w = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}$ , a masa molowa powietrza  $\mu_p = 29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

#### Rozwiązanie:

Wprowadzona do naczynia woda wyparuje i ciśnienie w naczyniu zgodnie z prawem Daltona, będzie równe sumie ciśnień cząstkowych powietrza i pary wodnej. Ciśnienie powietrza w obu naczyniach jest jednakowe i łatwo go możemy obliczyć z prawa przemiany izochorycznej, przyjmując stałą masę powietrza a i stałą objętość naczyni (pomijamy rozszerzalność cieplną naczyni).

$$p = p_0 \frac{T}{T_0}$$

po podstawieniu wartości danych otrzymujemy:

$$p = 1,37 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Następnie obliczamy cząstkowe ciśnienie  $p_1$  – pary wodnej w pierwszym naczyniu w temperaturze  $t$  posługując się równaniem Clapeyrona.

$$p_1 = \frac{m_1}{\mu_w \cdot V} RT$$

Podstawiając wartości danych otrzymujemy:

$$p_1 = 0,51 \cdot 10^5 \cdot \text{Pa}$$

Całkowite ciśnienie w pierwszym naczyniu wynosi:

$$p + p_1 = 1,88 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

W ten sam sposób obliczymy ciśnienie cząstkowe wodnej pary w naczyniu drugim, otrzymując:

$$p_2 = 2,55 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Całkowite ciśnienie w naczyniu drugim powinno wynosić:

$$p + p_2 = 3,92 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

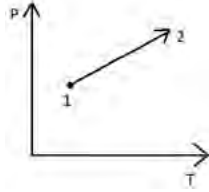
Musimy jednak pamiętać o tym, że pod ciśnieniem normalnym  $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  woda wrze w temperaturze  $100^\circ\text{C}$ , to znaczy, że ciśnienie nasyconej pary wodnej w  $100^\circ\text{C}$  przy istnieniu swobodnej powierzchni cieczy nie może przekroczyć ciśnienia normalnego. Dlatego w drugim naczyniu woda nie wyparowała całkowicie. Całkowite ciśnienie w tym naczyniu wyniesie około  $2,37 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .

Obliczając ciśnienie pary wodnej korzystaliśmy z równania Clapeyrona, które jest równaniem stanu gazu doskonałego. Zastosowanie tego równania jest możliwe dla dostatecznie rozrzedzonej pary niezależnie od tego czy jest ona nasycona, czy nie. Jeśli para jest daleka od stanu nasycenia to wykorzystując równanie Clapeyrona otrzymujemy ciśnienie pary, które jest bardzo zbliżone do obserwowanego w doświadczeniu. Stosowanie tego równania do pary nasyconej w celu obliczenia ciśnienia doprowadza, jak stwierdziliśmy, do absurdu. Nie oznacza to jednak, że równanie jest niesłuszne. Jeśli obliczone na podstawie tego równania ciśnienie pary wodnej okazuje się większe niż ciśnienie pary nasyconej w danej temperaturze, to oznacza, że masa pary jest mniejsza niż podstawiliśmy do równania, a część wody jest w stanie ciekłym. Podstawiając do równania Clapeyrona ciśnienie pary nasyconej wzięte z tablic można obliczyć masę nasyconej pary zawartej w objętości  $V$  w temperaturze  $T$ . Zainteresowanym polecam obliczenie masy wody, która nie wyparowała w drugim naczyniu, wykorzystując w tym celu równanie Clapeyrona.

**Zadania do rozwiązania:**

1. Czy zmienia się, a jeśli się zmienia, to jak się zmienia objętość pewnej masy gazu przy przejściu ze stanu 1 do stanu 2 (rys.)?

Odpowiedź:  $V_2 > V_1$



2. Woda o temperaturze  $27^\circ\text{C}$  wypełnia zamknięte naczynie o objętości 1 litr. Ile wyniesie ciśnienie w naczyniu, gdyby zanikły siły międzycząsteczkowe między cząsteczkami wody?

Odpowiedź:  $p \approx 1,39 \cdot 10^8 \text{ Pa}$

3. Cylindryczne naczynie o przekroju  $S$  jest zamknięte ciężkim tłokiem. Wewnątrz cylindra znajduje się gaz. Cylinder zaczyna się podnosić z przyspieszeniem  $a = 2 \text{ g}$ . Kiedy temperatura gazu pod tłokiem wyrównała się do początkowej objętości gazu pod nim zmniejszyła się 1,5 razy. Oblicz masę tłoka, jeśli zewnętrzne ciśnienie  $p_0$

Odpowiedź:  $m = \frac{p_0 \cdot S}{3g}$

4. W naczyniu o stałej objętości znajduje się hel. Naczynie zawiera termometr i manometr. Wskazania przyrządów zmieniają się jak na rysunku w zadaniu 1.

a) Co możemy powiedzieć o stanie gazu?

b) Czy ciśnienie gazu jest wyższe, czy niższe od atmosferycznego?

5. Satelita o przekroju  $S = 1 \text{ m}^2$  porusza się z pierwszą prędkością kosmiczną,  $v = 7,8 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  po okołoziemskiej orbicie. Ciśnienie atmosferyczne na wysokości orbity (200 km) wynosi  $p = 1,37 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}$  temperatura  $T = 1226 \text{ K}$ . Oblicz ilość zderzeń  $n$  satelity z cząsteczkami powietrza w czasie 1 s.

Odpowiedź:  $n = \frac{pvSN_A}{L \cdot T} \approx 6 \cdot 10^{19} \frac{1}{\text{s}}$

Wskazówka: Ze względu na dużą wartość prędkości satelity cząsteczki gazu można uważać za spoczywające.

6. Jaką ilość ciepła  $Q$  należy dostarczyć neonowi o masie  $m = 0,1 \text{ kg}$ , aby go ogrzać o  $\Delta t = 5^\circ\text{C}$ , jeśli podczas ogrzewania neonu jego ciśnienie rośnie wprost proporcjonalnie do jego objętości?

Odpowiedź:  $Q = 2 \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \Delta T \approx 41,5 \text{ J}$

**Prosty sposób na wyprowadzenie wzoru Ciołkowskiego**

Marian Maciocha

Masa rakiety wraz z paliwem wynosi  $M_r$ . Rakieta leci w dalekim kosmosie z prędkością znacznie mniejszą niż prędkość światła. Masa paliwa chemicznego wynosi  $M_p$  ( $M_p < M_r$ ).

O ile wzrośnie prędkość rakiety, jeśli silnik zużyje cały zapas paliwa?

Przyjmujemy, że paliwo jest równomiernie spalane przez silnik oraz gazy spalinowe wylatują ze stałą prędkością  $w$ , znacznie mniejszą niż prędkość światła, względem rakiety.

Niech:  $\Delta v$  – o tyle wzrośnie prędkość rakiety, jeśli silnik zużyje cały zapas paliwa,  $\tau$  – czas spalania całego zapasu paliwa chemicznego o masie  $M_p$ .

Ponieważ paliwo spalane jest równomiernie, to w czasie  $\Delta t$  silnik spala paliwo o masie  $\Delta m$ :

$$\Delta m = \frac{M_p}{\tau} \Delta t.$$

Gazy spalinowe o masie  $\Delta m$  wylatują ze stałą prędkością  $w$  względem rakiety, więc te gazy zabierają ze sobą pęd

$\Delta m \cdot w = \frac{M_p w}{\tau} \Delta t$  (kierunkiem tego pędu jest kierunek lotu rakiety, a zwrot tego pędu jest przeciwny do zwrotu prędkości rakiety). Zgodnie z zasadą zachowania pędu rakieta musi zyskać pęd równy co do wartości  $\frac{M_p w}{\tau} \Delta t$  o zwrocie i kierunku

zgodnym z kierunkiem i zwrotem prędkości rakiety w dowolnym przedziale czasu  $\langle t, t + \Delta t \rangle$ .

Przyjmujemy, że silnik rakiety pracuje od chwili  $t = 0$  (chwila uruchomienia silnika) do chwili  $t = \tau$  (chwila, gdy silnik zużyje cały zapas paliwa). W dowolnej chwili  $t \in \langle 0, \tau \rangle$  masa rakiety wraz z niez użytym jeszcze paliwem wynosi:

$$\left( M_r - \frac{M_p}{\tau} * t \right).$$

Jeżeli w przedziale czasu  $\langle t, t + \Delta t \rangle$  rakieta ma zyskać

pęd  $\frac{M_p w}{\tau} \Delta t$ , to wzrost prędkości rakiety o  $\Delta u$  w przedziale czasu  $\langle t, t + \Delta t \rangle$  spełnia równanie:

$$\left( M_r - \frac{M_p}{\tau} * t \right) * \Delta u = \frac{M_p w}{\tau} \Delta t, \text{ a stąd}$$

$$\Delta u = \frac{\frac{M_p w}{\tau} \Delta t}{\left( M_r - \frac{M_p}{\tau} * t \right)}.$$

Wzrost prędkości rakiety o  $\Delta v$  w przedziale czasu  $\langle 0, \tau \rangle$  wynosi:

$$\Delta v = \int_0^\tau \frac{\frac{M_p w}{\tau} dt}{\left( M_r - \frac{M_p}{\tau} * t \right)} = w * \int_0^\tau \frac{M_p dt}{\left( \tau M_r - M_p t \right)}$$

Do obliczenia całki stosujemy podstawienie:  $x = \tau M_r - M_p t$ , więc  $dx = -M_p dt$ .

Zmiana granic całkowania:

• Dla  $t = 0$  mamy  $x = \tau M_r$ .

• Dla  $t = \tau$  mamy  $x = \tau M_r - M_p \tau = \tau (M_r - M_p)$ .

Zatem jeśli silnik zużyje cały zapas paliwa, to prędkość rakiety wzrośnie o  $\Delta v$ :

$$\begin{aligned} \Delta v &= w \int_0^\tau \frac{dt}{\left( \tau M_r - M_p t \right)} = w \int_{\tau(M_r - M_p)}^{\tau M_r} \frac{dt}{\left( \tau M_r - M_p t \right)} \\ &= w \left| \ln x \right|_{\tau(M_r - M_p)}^{\tau M_r} = w \ln \frac{M_r}{M_r - M_p}. \end{aligned}$$



# Elementy pedagogiki outdoorowej w nauczaniu fizyki

Fot. – Dreamstime

W XXI wieku teoretycy i praktycy sztuki pedagogicznej poszukują sposobów i metod na uczynienie edukacji skuteczniejszej, efektywniejszej, atrakcyjniejszej i w większym stopniu przyjaznej dla uczniów niż ta, która ogranicza się wyłącznie do przestrzeni szkolnych klas. Jednym z wielu pomysłów powstających, a właściwie reaktywacją, w ostatnich latach na zmianę obowiązującego stanu rzeczy jest edukacja outdoorowa<sup>1</sup>. Wyprowadza ona proces nauczania i uczenia się poza ściany szkolnych pomieszczeń, czyli naukę przez działanie ściśle powiązanych ze środowiskiem naturalnym.

Kazimierz Mikulski

*Świat takich nauczycieli chwali i chwali,  
którzy ucząc chodzili a chodząc nauczali*  
Józef Minasowicz

Jest to edukacja zapobiegająca, jak pisze Bożena Roszak<sup>2</sup>, zespołowi deficytu natury, który ogólnie jest zdefiniowany jako zespół problemów rozwojowych, w tym zmniejszone użycie zmysłów, niedobór uwagi i ruch, których przyczyną jest ogólnie brak kontaktów z naturą.

Przypomnijmy, że pedagogika to zespół nauk o wychowaniu, istocie, celach, treściach, metodach, środkach i for-

mach organizacji procesów wychowawczych<sup>3</sup>. Pedagogika, dodaje Petrozolin-Skowrońska, jako nauka o edukacji, czyli wychowaniu i kształceniu, należy do nauk społecznych i zajmuje się rozwojem i zmianami mechanizmów wychowania oraz kształcenia na przestrzeni całego życia człowieka.<sup>4</sup>

Ciekawa jest etymologia pedagogiki, która wskazuje że pedagogika i jej staropolska nazwa pochodzi od słowa greckiego (paidagogos – dosł. „prowadzący dziecko”). Okazało się, że wpływ zachodniej filozofii ukształtował pojęcie rzymskie (łac. ars educandi) jako „sztuka wychowania”.

W literaturze przedmiotu, początków pedagogiki można doszukiwać się w nauczaniu starożytnych filozofów, takich jak Konfucjusz<sup>5</sup> czy Platon.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Co to jest edukacja outdoorowa? <https://szkola-podstawowa.edu.pl/co-to-jest-edukacja-outdoorowa/amp/>

<sup>2</sup> Roszak B., Edukacja outdoor w praktykach studenckich a rzeczywistość, [http://www.repozytorium.uni.wroc.pl/Content/89429/PDF/11\\_Roszak\\_Bozena\\_Edukacja\\_outdoor\\_w\\_praktykach\\_studenckich\\_a\\_rzeczywistosc.pdf](http://www.repozytorium.uni.wroc.pl/Content/89429/PDF/11_Roszak_Bozena_Edukacja_outdoor_w_praktykach_studenckich_a_rzeczywistosc.pdf)

<sup>3</sup> Petrozolin – Skowrońska B. (red.), Pedagogika, [w:] Nowa encyklopedia powszechna, tom IV, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996, s. 812.

<sup>4</sup> <https://pl.wikipedia.org/wiki/Pedagogika>

<sup>5</sup> Konfucjusz (dosł. „Mistrz Kong”, (551- 479 p.n.e.) – chiński filozof, twórca konfucjanizmu. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Konfucjusz>

<sup>6</sup> Platon (gr. 424/423 p.n.e.,- 348/347 p.n.e.) – filozof grecki, Ateńczyk twórca tradycji intelektualnej znanej jako platonizm. Sformułował podstawy idealizmu i racjonalizmu, a poprzez swą działalność literacką i pedagogiczną wprowadził takie zagadnienia jak teoria dobra, metoda dialektyczna, teoria idei, teoria sprawiedliwości czy matematyczna teoria atomów. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Platon>

Od XVII w. pedagogika, za sprawą J. A. Komeńskiego<sup>7</sup>, stała się odrębną i samodzielną dyscypliną naukową, jednak poglądy na wychowanie nawiązywały do filozoficznych i ideowych przesłanek swojej epoki tj.: „dobrego wychowania”, czyli etykiety, wychowania spartańskiego, rycerskiego czy kawalerskiego, w zależności od okresu historycznego.

Jedną z pedagogik jest *Pedagogika miejsca*. W literaturze przedmiotu wyrażająca perspektywę teoretycznych badań nad edukacją, jednocześnie opisującą dialektyczną relację „człowiek – przestrzeń/miejsce”, jako znaczącą dla procesów uczenia się i rozwoju<sup>8</sup>. Przejście perspektywy pedagogiki miejsca i proponowanego przez nią spektrum pojęciowego, pozwala na ponowną analizę i reinterpretację „starych” problemów społeczno-politycznych, w tym edukacyjnych.

Pedagogika miejsca pozwala na problematyzację kategorii takich jak przestrzeń i miejsce, w różnorodnych kontekstach nie tylko społecznych, ale także edukacyjnych. Dzięki Marii Mendel, badaczce, autorce i redaktorce znaczących publikacji w tym zakresie, nowatorska perspektywa teoretyczna pedagogiki miejsca ugruntowuje swoje miejsce w obszarze polskich nauk o edukacji.<sup>9</sup>

### Założenia pedagogiki outdoorowej

Podejście **edukacji outdoorowej**, określane również jako **pedagogika przygody** lub coraz częściej **pedagogiki outdoorowej**, czerpie swoje założenia m.in. z teorii Johna Deweya<sup>10</sup>, gorącego orędownika nauczania przez działanie. Szczególną podstawą treści i metodyki nauczania Johna Deweya było, z jednej strony dostosowanie się do istoty dziecka, ale z drugiej wprowadzanie go w doświadczenie społeczeństwa, jego formy i tradycje.

Podstawowym elementem, wręcz fundamentem programu nauczania były prace ręczne w warsztatach lub gospodarstwie domowym. Dewey uważał je za konieczne dla zdobywania przez dziecko nie tylko wiedzy, ale i umiejętności. Działania miały stanowić inspirację zainteresowań dziecka, późniejszego ucznia. Wykonywane prace rozwijały samodzielne myślenie przez działanie, które jest instrumentem skutecznego działania.

Dewey twierdził, że doświadczenie jest źródłem zdobywania i weryfikowania wiedzy, stąd w jego <szkole pracy> rozwijane było hasło: „uczenie się przez działanie”. Założona przez niego szkoła powstała na wzór samowystarczalnego gospodarstwa domowego, a głównym jej celem było pobudzanie wrodzonych zdolności dzieci, zainteresowań, wzbogacanie doświadczeń i samodzielna praca.

Okazało się, że wiedzę zdobywano „przy okazji”. Powodowało to, że w jego szkole nie było lekcji i przedmiotów. Najważniejszym bowiem ośrodkiem był problem,



Rysunek 1,2,3. Portret Konfucjusza autorstwa Wu Daozi i Platon oraz Jan Ámos Komenský. Źródło: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Confucius\\_Tang\\_Dynasty.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Confucius_Tang_Dynasty.jpg), <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/Platon-2.jpg>, [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c/Johan\\_amos\\_comenius\\_1592-1671.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c/Johan_amos_comenius_1592-1671.jpg)

który dziecko napotykało w codziennym życiu i jego rozwiązanie mające doprowadzić do nabywania wiadomości. To szczególne działanie realizowano w sytuacji będących źródłem owych problemów, a zadaniem szkoły było stwarzanie takich sytuacji by umożliwić jego realizację.

Dewey pisał: „Nonsensem jest przypuszczać, że dziecko osiągnie wyższy stopień wyrobienia umysłowego i moralnego, pracując niechętnie, niż oddając się czynności, która je interesuje i w którą wkłada całą swoją duszę.”

Dewey był tym uczniem, który stawiał na działanie mające służyć postępowi w rozwoju ucznia, a tym samym życia już dorosłego człowieka, stanowiące najwyższy cel wychowania. Wychodził on z założenia, że jeżeli świat nie jest zakończony i gotowy, ale stanowi ciągle zmieniającą się rzeczywistość, to człowiek jest stale rozwijającą się istotą. Rozwój człowieka, zapoczątkowany w okresie uczniowskim, odbywa się przez jego własne działanie, umożliwiające poznanie zmieniającego się świata. Wszelkie działanie, uważał, polega na rozwiązywaniu sytuacji – problemów, w których znajduje się człowiek żyjący w świecie. Powoduje to poznanie go i jednocześnie uczy się jak należy w nim postępować.<sup>11</sup>

Idea Deweya polegała na rozumieniu doświadczenia jako istoty prawdy – prawdziwe jest to co sprawdza się w działaniu jako prawdziwe. Doświadczenie jest źródłem zdobywania i weryfikowania wiedzy, stąd w jego *szkole pracy* rozwijane było hasło: *uczenie się przez działanie*. Głównym celem powołanej przez uczonego szkoły było pobudzanie wrodzonych zdolności dzieci, zainteresowań, wzbogacanie doświadczeń, samodzielna praca. Natomiast wiedzę zdobywało się niejako przy okazji. W szkole nie było lekcji i przedmiotów, a głównym zagadnieniem był problem, który napotykał uczeń w codziennym życiu i oczywiście jego rozwiązanie mające doprowadzić do kształtowania umiejętności i jednocześnie nabywania wiadomości.<sup>12</sup>

<sup>7</sup> Jan Amos Komenský, Jan Amos Komeński, Comenius, Komeniusz (1592-1670), to czeski pedagog, filozof, reformator i myśliciel, protestancki senior generalny braci czeskich w latach 1648-1670, także mieszkaniec

<sup>8</sup> także tworzenia się biografii /tożsamości ludzkich, relacji społecznych/kapitału społecznego, wspólnot/ruchów społecznych

<sup>9</sup> [https://pl.wikipedia.org/wiki/Pedagogika\\_miejsca](https://pl.wikipedia.org/wiki/Pedagogika_miejsca) [https://pl.wikipedia.org/wiki/Pedologia\\_\(pedagogika\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Pedologia_(pedagogika))

<sup>10</sup> **John Dewey** (1859-1952) amerykański filozof, psycholog i pedagog. Jest inicjatorem koncepcji tzw. szkoły działania, w której uczniowie zdobywali wiedzę przez wykonywanie różnych praktycznych zadań. <https://abcmalucha.net/koncepcje-j-dewey/>; czołowy przedstawiciel amerykańskiego progresywizmu. Twórca koncepcji szkoły pracy (1896–1902) [https://pl.wikipedia.org/wiki/John\\_Dewey](https://pl.wikipedia.org/wiki/John_Dewey)

<sup>11</sup> Dewey oparł swój system pedagogiczny na instrumentalizmie, kierunku pragmatyzmu zapoczątkowanym przez Charlesa Peirce’a, a rozpowszechnionym przez Williama Jamesa.

<sup>12</sup> [https://pl.wikipedia.org/wiki/John\\_Dewey](https://pl.wikipedia.org/wiki/John_Dewey)



Fotografia 1. Rampa (zwana w literaturze przedmiotu jako SKATEBOARDing, Fingerboard Skatepark) dla deskorolki staje się coraz częściej „elementem architektury” naszych miejsc zamieszkania. Miejsce to pozwala nie tylko poznać, ale przede wszystkim sprawdzić prawa fizyki z działu kinematyki (ruch postępowy oraz ruch obrotowy) i dynamiki bryły (ciała fizycznego) sztywnego, w szczególności drugie prawo Newtona dla tego ruchu. Foto – Dreamstime

Literatura przedmiotu, będąca źródłem uwag i przekazu, przytacza ideę Johna Dewey’ego zawartą w opracowaniu *Wybór pism pedagogicznych*, w których wyodrębnił on etapy myślenia prowadzące do rozwiązania problemu: odczucie trudności; określenie trudności – sformułowanie problemu; szukanie rozwiązań – formułowanie hipotez; wyprowadzenie drogą rozumowania wniosków z rozwiązań – logiczna weryfikacja hipotez oraz dalsze obserwacje prowadzące do przyjęcia lub odrzucenia hipotezy, czyli empirycznej weryfikacji hipotezy.<sup>13</sup>

Niemal dwa stulecia później, już w XXI wieku, bogatsi o najnowsze osiągnięcia nauki, jaką jest neurodydaktyka, będąca dyscypliną o roli mózgu w uczeniu się, wiemy, że właśnie tak zorganizowany proces kształcenia przynosi najlepsze rezultaty. Szczególnie twórcy edukacji outdoorowej precyzują najważniejsze założenie w kilku ważnych punktach, wręcz zasadach, odnoszących się zarówno do uczniów jak i do nauczycieli:

- uczniowie uczą się, a nie są nauczani, a najważniejsze to aktywność uczniów przeważa nad podającym tokiem nauczania realizowanym przez nauczyciela w szkole (zasada *learning by doing*),
- nauczyciel z dostarczyciela wiedzy staje się inspiratorem, mentorem, przewodnikiem w procesie zdobywania informacji i umiejętności,

- uczniowie uczą się od siebie nawzajem – skuteczniej, przyjemniej i bezpieczniej uczą się w grupie, bowiem pojedyncza osoba nigdy nie wie i nie dysponuje tym, co zespół ludzi,
- uczniowie jako uczestnicy procesu uczenia się mają wybór, w jaki sposób chcą zrealizować założony cel, czyli osiągnąć określoną wiedzę i umiejętności (zasada *challenge by choice*),
- uczniowie poznają, w jaki sposób treści zrealizowane w zaplanowanych, wykreowanych sytuacjach mogą być wykorzystane w realnym życiu (zasada transferu wiedzy i umiejętności),
- dla podmiotów w tej edukacji ważne są emocje, oprócz tego, czego i jak realizują, rozmawiają o tym, co odczuwają,

W tej edukacji celem podejmowanych działań jest nie tylko przyswojenie określonej wiedzy i ćwiczenie konkretnych umiejętności. Również bardzo ważne jest rozwijanie tzw. kompetencji miękkich – umiejętności współpracy, negocjowania, zarządzania zasobami grupy. To właśnie te sprawności, obok kwalifikacji niezbędnych do zajmowania konkretnych stanowisk, są najbardziej pożądane na rynku pracy. W procesie realizowanych działań, jako nauczyciele unikamy ocen wyrażonych wprost za pomocą pojedynczych stopni na rzecz bardziej wyczerpującej informacji zwrotnej. Zaś błędy, jeżeli występują, realnie, a nie deklaratorywnie są uznawane za naturalny element tego uczenia się.

## Nowa edukacja outdoorowa w Europie i w Polsce

Nie bez powodu w opisie nurtu edukacji outdoorowej, jak i w samej nazwie metody, pojawiają się określenia anglojęzyczne. Właśnie w Wielkiej Brytanii, jak również na zachodzie Europy, szczególnie we Francji, Holandii, Niemczech, takie podejście do edukacji jest bardzo popularne, w miarę dobrze poznane. Obszernie opisane w literaturze przedmiotu przybiera formę całościowych rozwiązań metodycznych, na przykład takich jak szkoły leśne w Wielkiej Brytanii oraz szkoły naturalne w Niemczech.

Natomiast w obszarze polskiej edukacji trudno dostosować całość procesu kształcenia do warunków edukacji outdoorowej. W Polsce, propagatorzy **pedagogiki przyrody**<sup>14</sup> proponują spektrum pomysłów, z których można skorzystać w celu wykorzystania elementów tej metodyki w codziennej praktyce:

- warsztaty i lekcje muzealne, wizyty w parkach naukowych,
- zwiedzanie najbliższej okolicy, połączone np. ze zrealizowaniem reportażu na określony temat,
- zajęcia plenerowe, np. w skansenie lub gospodarstwie agroturystycznym,
- gry terenowe i miejskie,
- gry zespołowe na świeżym powietrzu, zawody i wyścigi,
- obserwacje, tworzenie dzienników wydarzeń, albumów,

<sup>13</sup> [https://pl.wikipedia.org/wiki/John\\_Dewey](https://pl.wikipedia.org/wiki/John_Dewey) [apcz.umk.pl/czasopisma/index.php/SPI/article/download/SPI.2020.1.008/25927](http://apcz.umk.pl/czasopisma/index.php/SPI/article/download/SPI.2020.1.008/25927)

<sup>14</sup> <https://naukaprzyroda.edu.pl/projekty/akademia-pedagogiki-przyrody/> <https://repozytorium.ukw.edu.pl/xmlui/bitstream/handle/item/2777/Fratczak%20Edukacja%20przez%20przyrode%20w%20teorii%20i%20praktyce.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- wyprawy i eskapady do miejsc atrakcyjnych przyrodniczo, np. do lasu, nad rzekę, wycieczki górskie, wyprawy z elementami survivalu.

W literaturze przedmiotu zaznacza się, że nie każde działanie zrealizowane poza szkolną salą mieści się w nurcie pedagogiki przygody. Mimo tego, że wyjdziemy z uczniami na zewnątrz, powinniśmy jasno sprecyzować cel, który chcemy z nimi w ten sposób osiągnąć, określić wiadomości i umiejętności nabyte w wyniku zaproponowanej aktywności. Wszelkie działanie w duchu edukacji outdoorowej wskazuje, że uczniowie zaprojektują drogę do osiągnięcia celu i będą na niej współpracować, a także dzielić się swoimi przeżyciami, nawet popełniać błędy i wyciągać z nich wnioski. Oczekując że otrzymają informację zwrotną na temat zrealizowanych działań.

### Outdoor education czyli nauka w terenie<sup>15</sup>

Interesująca nas *Outdoor education* (OE) to dziedzina pedagogiki, bardzo popularna m.in. w Wielkiej Brytanii, Niemczech oraz USA. Niestety, jako nowe działanie nie ma swojego bezpośredniego odpowiednika w edukacji polskiej. W samej literaturze przedmiotu, zwłaszcza zachodniej, istnieje kilka równoległych definicji tego nowego nurtu nauczania. Okazało się, że w praktyce, *outdoor education* oznacza zazwyczaj zorganizowany proces uczenia się, szczególnie poprzez samodzielne doświadczenie oraz eksperymentowanie. Działanie ucznia, także

małego dziecka, nastawione jest na poznanie, czyli zdobywanie wiedzy i umiejętności, zwłaszcza podczas zajęć w ogólnie zwanym plenerze. Natura, lub jak kto woli plener, jest zarówno środkiem oraz tłem, a przede wszystkim pretekstem do uczenia się. W tym procesie nauczyciel występuje zazwyczaj w szczególnej roli: towarzysza, mentora a także szczególnego trenera. Wskazane unikanie sytuacji, w której jest podającym wiedzę.

Opisując tę ideę, zwraca się uwagę na charakterystyczne formy wykorzystywanymi w OE, do których zalicza się gry zespołowe na świeżym powietrzu, wędrowki i ekspedycje, a także wspinaczka, zadania z wykorzystaniem lin, sporty wodne, łucznictwo, budowanie tratw, wyprawy z elementami survivalu. W Polsce nazywano **pedagogiką przygody**. Wymienione formy w ciekawy sposób można zastosować do nauczania (uczenia się) podstaw fizyki, także z jej prawami i zasadami, na każdym stopniu kształcenia.

Działania wynikające z idei *outdoor education* (OE) szczególnie nastawione są na kształtowanie tzw. umiejętności miękkich, czyli kształtowanie wzajemnego zaufania w grupie, szczególnie uczniów do nauczyciela, umiejętności negocjacji, skutecznej komunikacji, poszukiwania niestandardowych rozwiązań, poszukiwanie ukrytych talentów, skutecznego zarządzania zasobami jakie mamy w zespole. Elementy te składają się na budowanie szczególnie ważnego kapitału społecznego, wyjątkowo niezbędnego w dzisiejszych czasach.

<sup>15</sup> <https://naukaprzygoda.edu.pl/outdoor-education-nauka-w-terenie/>



Fotografia 2. Popularne puszczenie latawców, tutaj na łące, to nie tylko kontakt z środowiskiem naturalnym, z zieloną przyrodą, ale także poznanie praw grawitacji, a także szczególnie aerodynamiki, chociażby w celu obserwacji czynników wpływających i powodujących unoszenie się latawca (przy odpowiednim wiatku). Foto – Dreamstime

Koniecznienależy wskazać na osobny nurtem w ramach OE, jakim jest program *Learning Outside the classroom* (nauczanie poza klasą). W ramach tego programu działania koncentrują się na realizacji podstawy programowej poza murami szkoły<sup>16</sup>, a twórcy tego nurtu kształcenia postrzegają klasę szkołą jako sztuczne środowisko nauki. Oczywiście, tam gdzie to możliwe, chcą realizować proces nauczania w środowisku naturalnym, ale nie oznacza to jedynie działań w wymienionym powyżej plenerze. Edukacja poza klasą może być realizowane w formie wycieczki do muzeum, na festyn czy nawet na szkolny (klasowy) piknik. W omawianym nurcie kluczowe jest uczenie się przez prawdziwe doświadczenie i doświadczanie.<sup>17</sup>

Idea *Outdoor education*, która wywodzi się z filozofii i nauczania Johna Deweya, dzisiaj wykorzystuje wiedzę i katalog metod wypracowanych w szeregu organizacji specjalizujących się w uczeniu tą metodą. Wśród kluczowych zasad wymienia się:

- człowiek przede wszystkim uczy się sam, a nie jest nauczany;
- łatwiej, milej i efektywniej człowiek uczy się w grupie;
- we wszelkich działaniach, typu grach, wyzwaniach, zadaniach, uczestnicy MAJĄ wybór, albowiem nie ma przymusu (zasada „*challenge by choice*” czyli „wyzwanie z wyboru”);
- dużo treści nabywa się poprzez konkretne, realne doświadczenie (doświadczanie) i zauważa się zasadę „*learning by doing*” – uczenie się przez praktykę lub uczenie się poprzez robienie.

- w uczeniu się wykorzystuje się model Cyklu Kolba<sup>18</sup>, teorię stylów uczenia się, współczesną wersję tzw. Piramidy Masłowa, Paradygmat Doświadczenia Przygotowania Martina&Priesta. Także wykorzystuje się transfer wiedzy z doświadczenia, np. realizację gry, do „realnego życia” za pomocą wspólnych podsumowań;
- trener jest towarzyszem, a nie „głośnikiem”, z którego wydobywa się „wiedza”;
- cały proces realizacji idei odbywa się w bezpiecznej atmosferze, bezpiecznej zarówno emocjonalnie, jak i fizycznie oraz społecznie;
- koniecznie unika się szkolnego prostego oceniania, w zamian na rzecz konstruktywnej informacji zwrotnej, bądź częstszego oceniania kształtującego, tak mocno wkraczającego do edukacji.

### Jakie korzyści są z stosowania *outdoor* edukacji?

Stwierdzono, że kształtowanie umiejętności miękkich szalenie ułatwia życie i pracę, zwłaszcza w grupach, w których występuje ścieranie się poglądów, wzajemne zaufanie, budowanie zespołu oraz szukanie kompromisu. Wszelkie zajęcia w plenerze (naturze) pozwalają uczniom lepiej poznać samych siebie i kolegów, a nauczycielom odkryć drzemiące w podopiecznych talenty. Pokonywanie lub zniwelowanie barier i przeciwności, w bezpiecznej atmosferze, buduje w uczniach wiarę we własne możliwości oraz kształtuje poczucie własnej wartości. Wiadomo jest, że nauczycielowi znacznie łatwiej pracuje się z uczniem,

<sup>16</sup> Rozwija się niezwykle dynamicznie głównie w Wielkiej Brytanii

<sup>17</sup> <https://naukaprzygoda.edu.pl/outdoor-education-nauka-w-terenie/>

<sup>18</sup> Więcej np. na stronie o adresie <https://www.graskoleniowa.pl/cykl-kolba-uczenie-sie-przez-doswiadczenie/>



Fotografia 3, 4, 5. Dziecko, przedszkolak poznaje zarówno świat zabaw, jak i jest wprowadzane w świat dorosłych poprzez realizację zadań na poszczególnych układach technicznych. 1 tak: 3 – wspinaczka, „zdobywanie” wysokości w polu grawitacyjnym; 4 – pokonywanie drogi na torze o nowej strukturze trudności podłoża; 5 – ruch obrotowy wraz z jego elementami (start/stop oraz bezwładność ciała). Źródło: materiały autora

Fotografie 6, 7, 8. Inne miejsca poznawania świata przyrody na placu zabaw. Występują podstawowe elementy opisane w świecie fizyki: 6 – ruch drgający, jako praktyczne bujanie się na elemencie; 7 – huśtawka jako następny element poznania ruchu drgającego z ciekawym układem (rozkładem) sił grawitacji; 8 – inne spojrzenie na ruch drgający. Dla starszych uczniów możliwość zinterpretowania ćwiczeń fizycznych jako składania ruchów. Źródło: materiały autora



Fotografie 9, 10. Kolejne przyrządy na placu zabaw, z których przedszkolak chętnie korzysta. Dobrze zorganizowane zajęcia potrafią także zainteresować uczniów szkół podstawowych i ponadpodstawowych. Na poszczególnych ujęciach widzimy: 9 – ruch drgający, także z możliwością składania ruchów; 10 – równia pochyła, która swoją budową nie tylko wzbudza ciekawość, ale także inspirowała do ciekawych zachowań i działań. Źródło: materiały autora

który wierzy we własne siły i nie boi się próbować nowych rzeczy, szczególnie relacji z naturą. Rzeczywiste doświadczenia, czas na poznawanie natury, wykorzystywanie do tego wielu zmysłów, wpływa na odbudowywanie naturalnych więzi ze środowiskiem. Więzy, które ludzie tracą przez życie w betonowych blokach.

Także aktywne zajęcia w terenie są okazją do rozmów, otwarcia się na innych, budowanie zaufania. Zaufanie i relacje międzyludzkie buduje się także stwarzając uczestnikom działań możliwość pomagania sobie wzajemnie oraz dbania o ich bezpieczeństwo. W ten sposób uczestnicy gier, czy wypraw uczą się podejmowania odpowiedzialności za drugą osobę, co przekłada się na kształtowanie ich systemu wartości.

Nauka przez doświadczenie, w terenie, bliskim lub dalszym, jest zazwyczaj bardziej lubiana przez uczniów, co zauważalnie często przekłada się na ich dobre wyniki w nauce. Istnieje bardzo wiele badań naukowych potwierdzających pozytywny wpływ *outdoor education* na uczniów oraz nauczycieli!

### Przykłady *outdoor education*

Najprościej zapoczątkować *outdoor education* już na poziomie nauczania przedszkolaka, który bez zahamowań, pełen ciekawości i ufności w dostępne środki techniczne realizuje poznanie świata ludzi dorosłych. Także ma to swoje przełożenie na poznanie praw i zasad fizycznych, występujących w życiu codziennym.

Ponizej tylko kilka przykładów *outdoor education* na placu zabaw, miejsc tak powszechnie dostępnych na osiedlach mieszkalnych oraz wsiach.

I następne elementy, z możliwością opisaną także przez fizykę.

### Na zakończenie, gdzie może uczyć się nauczyciel?

Niestety, jak do tej pory nie ma w Polsce studiów kształcących w zakresie *outdoor education*, jednak wydaje się, że to jedynie kwestia czasu. Aktualnie nurt ten najdynamiczniej rozwijają organizacje pozarządowe, organizujące konferencje, szkolenia oraz warsztaty.<sup>19</sup>

„Pedagogika przygody” w ujęciu akademickim jest subiektywną syntezą najważniejszych cech *Outdoor Education*, *Adventure Education*, *Experiential learning*, pedagogiką przeżyć czy komunikacją naukową. Wszystko to są nurty opierające się na nauce przez doświadczenie, wzajemnie się uzupełniające. Oczywiście w praktyce, większość nauczycieli (lub trenerów) korzysta się z elementów wszystkich tych nurtów jednocześnie. Osobami inspirującymi dla wszystkich są: John Dewey – nauczanie przez doświadczenie, Ernest Seton i Robert Baden-Powell – skauting oraz Kurt Hahn – pedagogika przeżyć.

Godne uwagi jest, że w Niemczech czy Holandii projekty związane z pedagogiką przygody są codziennością w szkołach albowiem badania pokazują, że są jedną z najlepszych metod integracji, nauki kooperacji i tworzenia kapitału społecznego.<sup>20</sup>

Czekamy na takie działania w polskiej oświacie, by nowsza edukacja wpływała na podniesienie jakości kształcenia.

dr Kazimierz Mikulski  
Maksymilianowo

<sup>19</sup> Co dwa lata organizowana jest ogólnopolska konferencja „Edukacja Przygodą” – [patrz] [www.edukacjaprzygoda.edu.pl](http://www.edukacjaprzygoda.edu.pl) oraz wydano polskie książki przybliżające teorię i praktykę *outdoor* i *adventure education* w języku polskim: *Edukacja Przygodą*, red. E. Palamer-Kabacińska, A. Leśny, Warszawa 2013, *Przygoda w edukacji, edukacja w przygodzie*, red. E. Palamer-Kabacińska, A. Leśny, A. Bąk, Warszawa 2014, *Pedagogika przeżyć*, W. Michl, Kraków 2011.

<sup>20</sup> Na skalę europejską, czytamy w literaturze przedmiotu, nurty zostały odświeżone dzięki projektom wymian międzynarodowych (programy typu „Młodzież w działaniu”, „Erasmus+”) w nurcie edukacji nieformalnej

# Misja kosmiczna DART

## – czyli pierwsza próba obrony Ziemi

Foto – Dreamstime

Pod koniec listopada 2021 roku z bazy Vandenberg w Kalifornii została wyniesiona w przestrzeń kosmiczną sonda DART (ang. Double Asteroid Redirection Test). Głównym celem tej misji jest przetestowanie obecnych technologii, które mogą pomóc w ochronie Ziemi przed potencjalnymi zderzeniami z obiektami należącymi do grupy NEO (ang. Near-Earth Objects).

Marcin Wesółowski

Zauważmy, że w tej grupie występują planetoidy, komety oraz meteorooidy. Umowną granicą przynależności do grupy NEO jest odległość części orbity danego ciała niebieskiego od Ziemi, która jest mniejsza niż 1.3 au. Warto zauważyć, że NASA na podstawie decyzji Kongresu Stanów Zjednoczonych posiada upoważnienie do katalogowania obiektów kosmicznych o średnicy co najmniej 1 km, które należą do grupy NEO. Takie obiekty o średnicy np. 1 km w przypadku kolizji z Ziemią mogą wywołać duże zniszczenia przynajmniej w skali lokalnej, a także mogą stać się główną przyczyną wywołującą zjawiska mające wpływ na znacznie większy obszar.

Warto w tym miejscu odnotować fakt, że większe obiekty jesteśmy w stanie odkrywać i monitorować z większym wyprzedzeniem czasu. Natomiast obiekty relatywnie małe mogą stanowić prawdziwe wyzwanie. Jako przykład można podać planetoidę 2004 FH, której średnica

wynosi około 30 metrów. Obiekt ten przeszedł nad powierzchnią Ziemi w odległości 43 000 km, a jego odkrycie miało miejsce trzy dni wcześniej od maksymalnego zbliżenia do Ziemi. W tym kontekście kluczową kwestią jest ocena potencjalnego ryzyka, którą przeprowadza się w oparciu o dwie skale: Torino oraz skalę Palermo.

Warto także podkreślić i zażalem uspokoić naszych czytelników, że żadna ze zidentyfikowanych dotąd asteroid nie stanowi bezpośredniego



Foto. 1. Asteroida 433 Eros, która zaliczana jest do grupy NEO (Foto – NASA).

zagrożenia dla Ziemi. Jednakże wciąż wiele obiektów nie zostało jeszcze zaobserwowanych. Według danych NASA szacuje się, że dotychczas odkryte zostało około 90% asteroid o średnicy większej niż 1 km, ale tylko 40% tych mniejszych. Dlatego też ciągłe badanie przestrzeni kosmicznej z punktu widzenia naszego bezpieczeństwa jest niezwykle ważne.

Zadaniem sondy kosmicznej DART jest planowe zderzenie sondy, która jest impaktorem z asteroidą Didymos, a właściwie jej księżycem Dimorphosem. Spodziewanym efektem planowanej kolizji jest zmiana okresu obiegu Dimorphosa, która ma skutkować zmianą jego orbity. Chociaż Dimorphos nie zagraża bezpośrednio Ziemi, to ma stać się obiektem, który posłuży do sprawdzenia, czy taka kolizja jest w stanie zmienić pierwotną orbitę tego ciała niebieskiego.

Planowa kolizja została przewidziana pod koniec września lub przełom września i października 2022 roku. Według wstępnych obliczeń taka kolizja ma skutkować skróceniem okresu orbitalnego Dimorphosa wokół asteroidy Didymos o co najmniej 73 se-

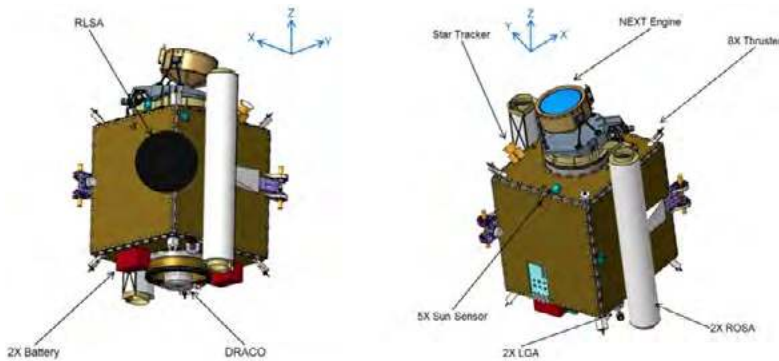


Foto. 2. Podstawowe wyposażenie sondy DART (Foto – NASA).

kundy. Szczegółowe obserwacje po planowym zderzeniu będą prowadzone bezpośrednio z Ziemi. Dodatkowo wpływ tej kolizji będzie także badany w późniejszym czasie za pomocą sondy Hera, która ma zostać wystrzelona w przestrzeń kosmiczną w 2024 roku. Głównym celem tej misji będzie analiza skutków zderzenia Dimorphosa z sondą DART, a także badanie charakterystyki krateru powstałego przy tej kolizji.

Główna struktura sondy DART swoim kształtem przypomina pudełko o wymiarach 1.8 na 1.8 na 2.6 m. Dodatkowo wyposażenie stanowi 12 silników korekcyjnych, tzw. szukacz gwiazd, który umożliwi określenie położenia sondy kosmicznej, czujniki słoneczne, panele słoneczne, anteny, oraz co najważniejsze jedną kamerę DRACO (ang. Didymos Reconnaissance and Asteroid Camera for OpNav), która umożliwia uzyskiwanie

obrazów w wysokiej rozdzielczości przed i w trakcie planowanej kolizji.

Didymos to planetoida pochodząca z grupy Amora tzn. grupy planetoid, których półoś wielka jest większa niż 1 jednostka astronomiczna (ang. astronomical unit – au). Natomiast peryhelium tych planetoid nieznacznie wykraczają poza orbitę Ziemi. Oznacza to, że grupa ta należy także do obiektów NEO. Didymos został odkryty w 1996 roku, a jej nazwa z języka greckiego oznacza bliźniak. Na potwierdzenie przynależności Didymosa do grupy Amora oraz NEO jego parametry orbitalne oraz charakterystyka fizyczna została przedstawiona w Tabeli.

Misja DART według Johnsona szefa programu obrony planetarnej NASA to pierwsza z wielu planowanych tego typu misji mających na celu obronę Ziemi. Oprócz prób związanych z kolizją NASA ma w planach wykorzystać metodę grawitacyjnego odchylenia polegającą na umieszczeniu sondy kosmicznej relatywnie blisko danej asteroidy. Wykorzystując siłę wzajemnego oddziaływania w konsekwencji może to doprowadzić do odchylenia, czyli zmiany pierwotnego toru asteroidy.

Z niecierpliwością więc będziemy czekać na wyniki tych badań, aby dać odpowiedź na nurtujące ludzkość pytanie: Czy na obecnym poziomie technologicznym jesteśmy bezpieczni?

Na koniec warto przypomnieć naszym czytelnikom najważniejszą rzecz, że cała historia Układu Słonecznego to historia zderzeń począwszy od samego Wielkiego Wybuchu aż do dziś.

Najlepszym przykładem ciała niebieskiego którego powierzchnia usiana jest licznymi kraterami jest nasz naturalny satelita – Księżyc. Kratery uderzeniowe powstają w wyniku ko-

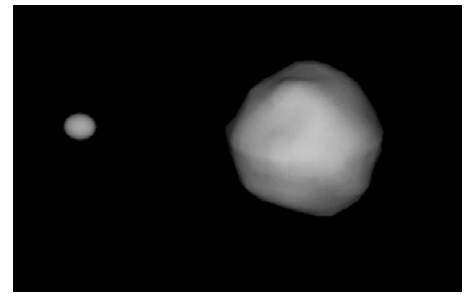


Foto. 3. Didymos wraz ze swym księżycem Dimorphosem – ich kształt został zrekonstruowany na podstawie krzywej blasku oraz danych radarowych (Foto – NASA).



Foto. 4. Start sondy DART na pokładzie rakiety Falcon 9 (Foto – NASA).

lizji komety lub asteroidy z powierzchni srebrnego globu. Na powierzchni Księżyca znajduje się około 0.5 miliona kraterów, których średnica jest większa niż 1 km.



Foto. 5. Powierzchnia Księżyca wraz z widocznym kraterem Daedalus (Foto – NASA).

Parametry orbitalne	
Przynależność obiektu	Grupa Amora, NEO, PHA
Półoś wielka	1,6444 au
Mimośród	0,3840 (-)
Peryhelium	1,0128 au
Aphelium	2,2760 au
Okres obiegu wokół Słońca	2 lata 40 dni 5
Średnia prędkość	23,22 km/s
Inklinacja	3,40°
Charakterystyka fizyczna	
Średnica	0,8 km
Średnia gęstość	1,7 ± 0,4 g/cm <sup>3</sup>
Okres obrotu	2,26 godzin
Albedo	0,147
Jasność absolutna	17,7 magnitudo
Typ spektralny	X
Satelity naturalne	1 – Dimorphos

dr Marcin Wesółowski<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>Kolegium Nauk Przyrodniczych,  
 Instytut Nauk Fizycznych, Uniwersytet Rzeszowski,  
<sup>2</sup>Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy  
 Techniczno-Przyrodniczej Uniwersytetu Rzeszowskiego

Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski

# Kompendium astronomiczne

– wybrane pojęcia i zagadnienia – cz. 8

Foto – NASA

Kompendium astronomiczne zostało napisane z myślą o szerokim gronie czytelników. Może być ono przydatne dla uczniów szkół ponadpodstawowych, a także dla kandydatów na studia, którzy planują zdawać egzamin maturalny z przedmiotu fizyka. Również może stanowić ciekawą pozycję literaturową dla nauczycieli przedmiotu fizyka i wszystkich miłośników tego przedmiotu. W pracy tej przedstawiono najważniejsze pojęcia i terminy związane z astronomią.

**W ósmej, części tego kompendium zostały przedstawione wybrane zagadnienia z astronomii w porządku alfabetycznym częściowo od litery S aż do litery W również częściowo.**

**SOHO** (*Solar and Heliospheric Observatory*) – projekt naukowy, którego głównym celem jest prowadzenie badań nad wewnętrzną strukturą Słońca, zjawiskami zachodzącymi na jego powierzchni oraz nad wiatrem słonecznym i jego wpływem na naszą planetę. Celem pobocznym misji jest wykrywanie komet muskających Słońce w ramach programu Sungrazing Comets.

**Spica (Ktos, Alfa Virginis,  $\alpha$  Vir)** – gwiazda spektroskopowo podwójna, czyli taka, której składników nie można rozdzielić od siebie nawet przy użyciu najczulszych teleskopów. Najjaśniejsza gwiazda w gwiazdozbiorze Panny, która jest odległa od Słońca o około 250 lat świetlnych. Jej obserwowana wielkość gwiazdowa wynosi  $0.97^m$  a absolutna wielkość gwiazdowa wynosi  $3.43^m$ . Typ widmowy tego układu podwójnego to B0,5/B3 Temperatura powierzchni wynosi około 24000/19500 K.

**Stała kosmologiczna** – stała  $\Lambda$  wprowadzona do równań pola przez Einsteina, aby uzyskać z nich statyczny model Wszechświata. Stała kosmologiczna jest związana z newtonowską stałą grawitacji  $G$  i prędkością światła w próżni  $c$ . Wielkość tą możemy opisać za pomocą następującej zależności:

$$\Lambda = \frac{8\pi G}{3c^2} \cdot \rho_\Lambda, \quad (1)$$

gdzie  $\rho_\Lambda$  jest gęstością energii próżni.

**Supergromada Lokalna** – zgrupowanie grup galaktyk o promieniu rzędu 15 MPa, którego centrum stanowi gromada galaktyk widoczna w gwiazdozbiorze Panny. Na skraju Supergromady Lokalnej leży nasza Lokalna Grupa Galaktyk. Supergromada Lokalna ma nieregularną budowę, lecz można w niej w przybliżeniu wyodrębnić trzy struktury: jądro, dysk i nierównomierne halo.

**Syriusz** (*Alfa Canis Majoris,  $\alpha$  CMa*) – najjaśniejsza gwiazda nieba nocnego o gwiazdowej wielkości obserwowanej  $-1.47^m$  ( $-5.50^m$  absolutna wielkość gwiazdowa). Jedna z najbliższych gwiazd nieba południowego, położona w gwiazdozbiorze Wielkiego Psa w odległości 8,6 roku świetlnego od Słońca. Jest to gwiazda ciągu głównego o temperaturze powierzchni 9880K, typu widmowego A1/V. Syriusz stanowi układ podwójny składający się z opisanej powyżej głównej gwiazdy oraz towarzyszącego jej białego karła. Tak więc Syriusz, który oglądany gołym okiem wygląda jak pojedyncza gwiazda. W rzeczywistości jest to gwiazda podwójna, składająca się z jasnej, białej gwiazdy Syriusza A oraz białego karła Syriusza B.

**Szerokość ekliptyczna** ( $\beta$ ) – jedna ze współrzędnych układu ekliptycznego. Jest to kąt pomiędzy kierunkiem od obserwatora do ciała niebieskiego a płaszczyzną ekliptyki (wyrażony w mierze stopniowej).

**Teleskop** – optyczny instrument astronomiczny służący do obserwacji ciał niebieskich. Teleskop zbiera obiektywem możliwie jak największe ilości promie-

niowania elektromagnetycznego i skupia go na detektorze. Detektorem może być oko ludzkie, klisza fotograficzna, fotokomorówka, płytki CCD itp. Teleskopy dzielimy na soczewkowe (refrakторы, lunety), zwierciadlane (reflektory) i zwierciadlano soczewkowe. Podstawowe dwa elementy teleskopu to obiektyw i okular. Jakość teleskopu określają takie parametry jak: zdolność rozdzielcza (najmniejsza odległość kątowna dwóch punktów, które możemy oddzielnie obserwować, gdyż ich obrazy nie nakładają się na siebie), zasięg (wielkość gwiazdowa najślabszych źródeł promieniowania dających się jeszcze zauważyć), powiększenie kątowne, wielkość obrazu w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu i światłosiła (stosunek średnicy obiektywu do jego ogniskowej).

Wybrane słynne teleskopy optyczne:

**Wielki Teleskop Kanaryjski** (Gran Telescopio Canarias, GTC) – teleskop pracujący w zakresie światła widzialnego oraz bliskiej podczerwieni – apertura o średnicy 10,4 m, oficjalnie otwarty 24.07.2009 r. Teleskop umieszczono w Obserwatorium Roque de los Muchachos na wyspie La Palma (Wyspy Kanaryjskie) na wysokości 2267 m n.p.m. Jest wspólnym projektem obserwatoriów astronomicznych z Hiszpanii, Meksyku i Uniwersytetu Stanowego Florydy (USA).

**Teleskopy Kecka** (Keck I/Keck II) – uruchomione w obserwatorium Mauna Kea na wyspach Hawajskich w latach 1993 i 1996. Bliźniacze dwa teleskopy, o zwierciadłach o takiej samej średnicy 9,8 metra

Tabela. 1. Typy widmowe gwiazd.

Typ	Temperatura efektywna [K]	Rzeczywista obserwowana barwa	Masa względem Słońca $M_{\odot} = 1.989 \cdot 10^{30}$ kg
O	$\geq 30\ 000$	Błękitna	$\geq 16 M_{\odot}$
B	10 000 – 30 000	Jasnobłękitna	2.1 – 16.0 $M_{\odot}$
A	7500 – 10 000	Niebiesko-biała	1.4 – 2.1 $M_{\odot}$
F	6000 – 7500	Biała	1.04 – 1.40 $M_{\odot}$
G	5200 – 6000	Biało-żółta	0.80 – 1.04 $M_{\odot}$
K	3700 – 5200	Blado pomarańczowa	0.45 – 0.80 $M_{\odot}$
M	2400 – 3700	Jasna pomarańczowo – czerwona	0.08 – 0.45 $M_{\odot}$

każde, tworzą wspólnie największy układ interferometryczny.

**SALT** (*Southern African Large Telescope*) – największy teleskop optyczny na półkuli południowej Ziemi, zbudowany w RPA jako wspólny projekt astronomów z kilku państw (RPA, Niemcy, Polska, Nowa Zelandia, USA, Wielka Brytania), oficjalnie otwarty 10.11.2005.

Odrębną klasę przyrządów stanowią radioteleskopy, urządzenia do detekcji i rejestracji fal radiowych, które emitują ciała niebieskie.

**Tunel czasoprzestrzenny** – dopuszczalne przez ogólną teorię względności takie zakrzywienie czasoprzestrzeni, które można porównać do tunelu łączącego dwa punkty, przez który podróż byłaby krótsza w czasie niż przez zwykłą przestrzeń. Jest to swego rodzaju czasoprzestrzenna „droga na skróty”. Brak dotychczas dowodów realnego istnienia tuneli czasoprzestrzennych. Ulubiony motyw wielu twórców filmów i autorów powieści gatunku science-fiction.

**Typy widmowe gwiazd** – podstawowa klasyfikacja gwiazd oparta na widmie światła wysyłanego przez gwiazdę. Widmo światła emitowanego przez gwiazdę jest określone przez trzy podstawowe parametry fizyko-chemiczne określające stan jej atmosfery: temperaturę, ciśnienie i skład chemiczny. Najważniejszym parametrem jest temperatura, gdyż ona determinuje postać widma gwiazdy przez stopień jonizacji gazów atmosferycznych oraz barwę emitowanego światła gwiazdy.

**Układ Słoneczny** – układ składający się ze Słońca i ciał, których ruch odbywa się głównie pod wpływem jego pola grawitacyjnego. W skład Układu Słonecznego oprócz Słońca wchodzi planety, planetoidy, komety, meteoroidy, pył i gaz międzyplanetarny. Wokół Słońca, które stanowi dominujące ciało układu krąży po orbitach eliptycznych 8 planet, których ruch charakteryzują z dobrym przybliżeniem trzy Prawa Keplera. Planety ze względu na charakterystykę fizyko-chemiczną dzielimy na 2 grupy: wewnętrzne (plane-

ty ziemniopodobne) i planety zewnętrzne (jowiszowe).

W skład pierwszej grupy w kolejności od Słońca wchodzi: Merkury, Wenus, Ziemia, Mars; a w skład drugiej: Jowisz, Saturn, Uran i Neptun. Planety grupy ziemskiej są położone bliżej Słońca mają stosunkowo niewielkie rozmiary, lecz większe gęstości i okresy rotacji własnej w stosunku do planet olbrzymów.

Ta druga grupa planet jest położona dalej od Słońca, mają one o wiele większe rozmiary i masy, ale mniejsze gęstości i okresy własnej rotacji. Kolejnym obiektem kosmicznym który do 2006 roku był 9 planetą w Układzie Słonecznym był Pluton. W dniu 24 sierpnia 2006 roku Międzynarodowa Unia Astronomiczna odebrała Plutonowi status planety, a zaliczony został do grona nowej klasy obiektów – planet karłowatych. Pomiędzy orbitą Marsa i Jowisza rozciąga się obszar głównego pasa planetoid (asteroidów).

Układ Słoneczny penetrowany jest przez komety krążące wokół Słońca po krzywych stożkowych, które ze względu na aktywność sublimacyjną po dostatecznie dużej liczbie obiegów mogą rozpaść się dając początek rojom meteoroidów krążących dalej po orbicie zbliżonej do orbity macierzystej komety. Jeśli orbita Ziemi przecina orbitę komety (lub przebiega dostatecznie blisko niej) to w określonych porach roku możemy obserwować wzmożoną aktywność roju meteoroidów – np. Sierpniowe Perseidy, które związane z macierzystą kometa 109P/Swift-Tuttle.

Przeważająca większość wpadających do ziemskiej atmosfery brytek meteoroidowych jest na tyle mała, że ulega w niej całkowitemu spaleniu i wyparowaniu. Zdarza się jednak, że bryła większych rozmiarów eksploduje rozpadając się na mniejsze odłamki, które osiągają powierzchnię Ziemi. Te pozostałości meteoroidów nazywamy wtedy meteoritami. Ze względu na skład chemiczny dzielimy je na zasadnicze trzy grupy: żelazne, kamienne i żelazno-kamienne.

Oprócz pyłu meteoroidowego w Układzie Słonecznym występuje bardzo drob-



Rys. 1. Planety wewnętrzne (ziemiopodobne), od lewej strony: Merkury, Wenus, Ziemia, Mars (Rys. NASA).



Rys. 2. Planet zewnętrzne (gazowe olbrzymy) - od lewej strony: Jowisz, Saturn, Uran, Neptun (Rys. NASA).

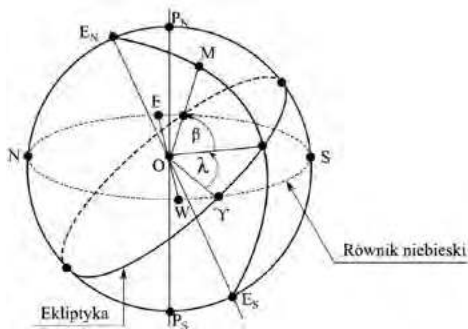
ny pył międzyplanetarny, którego drobiny mają wymiary rzędu  $10^{-5}$  m a jego gęstość przestrzenna jest rzędu  $10^{-19}$   $\text{kg m}^{-3}$  (w pobliżu Ziemi). Pył ten rozpraszając światło słoneczne powoduje zjawisko tzw. światła zodiakalnego – świecącego pasma – rozciągającego się wzdłuż ekliptyki o jasności powierzchniowej około 2-3 razy większej niż jasność nieba nocnego.

Cały Układ Słoneczny wypełniony jest bardzo rozrzedzonym gazem międzyplanetarnym składającym się głównie z wodoru. Za orbitą Neptuna zaczyna rozciągać się pas Kuipera – dość płaski dysk składający się z lodowo-skalnych ciał podobnych do planetoid lub jąder kometarnych.

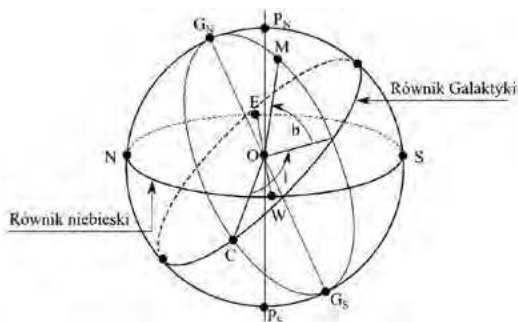
Prawdopodobnie pas Kuipera przechodzi następnie w obłok Oorta – sferyczną otoczkę o promieniu rzędu  $10^6 - 10^5$  AU składającą się z zimnych jąder kometarnych krążących wokół centrum Układu Słonecznego. Układ Słoneczny jest składnikiem o wiele większej struktury – Galaktyki Drogi Mlecznej – znajdującej się w jednym z jej ramion zwanym ramieniem Oriona w odległości około 30 000 lat świetlnych (10 000 parseków) od jej centrum.

**Układ współrzędnych ekliptyczny** – układ, w którym osią podstawową jest linia prostopadła do płaszczyzny ekliptyki łącząca jej bieguny a płaszczyzną podstawową jest płaszczyzna ekliptyki. Położenie ciała niebieskiego określają w tym układzie dwie współrzędne: szerokość ekliptyczna  $\beta$  i długość ekliptyczna  $\lambda$ .

**Układ współrzędnych galaktycznych** – układ, w którym osią podstawową jest linia prostopadła do płaszczyzny równika Galaktyki łącząca jej bieguny  $G$  i  $G^0$  a płaszczyzną podstawową jest płaszczyzna równika Galaktyki. Położenie ciała



Rys.3. Układ współrzędnych ekliptycznych. Przyjęto następujące oznaczenia: O – początek układu, miejsce, gdzie znajduje się obserwator, M – ciało niebieskie, P<sub>N</sub> – północny biegun astronomiczny, P<sub>S</sub> – południowy biegun astronomiczny, E<sub>N</sub> – północny biegun ekliptyczny, E<sub>S</sub> – południowy biegun ekliptyczny, N – punkt północny, S – punkt południowy, β – szerokość ekliptyczna, λ – długość ekliptyczna.



Rys.4. Układ współrzędnych galaktycznych. Na rysunku przyjęto następujące oznaczenia: G<sub>N</sub> – północny biegun galaktyczny, G<sub>S</sub> – południowy biegun galaktyczny, C – centrum Galaktyki, b – szerokość galaktyczna, l – długość galaktyczna. Pozostałe oznaczenia są analogiczne jak w przypadku układu współrzędnych ekliptycznych.

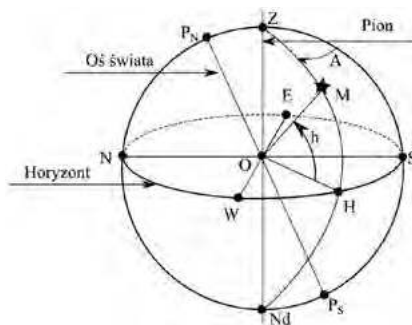
niebieskiego określają szerokość galaktyczną β i długość galaktyczną λ. Szerokość galaktyczna β to kąt jaki tworzy kierunek od obserwatora do ciała niebieskiego z płaszczyzną równika Galaktyki (wyrażany w mierze stopniowej). Długość galaktyczna λ jest kątem dwuściennym pomiędzy płaszczyzną koła wielkiego przechodzącego przez bieguny Galaktyki G i G<sup>0</sup> i jej centrum (C) a płaszczyzną koła wielkiego przechodzącego przez bieguny Galaktyki i ciało niebieskie (liczona jest w stopniach od wyróżnionego kierunku ku centrum (C) w kierunku wzrastających wartości rektascensji).

**Układ współrzędnych horyzontalnych**

– układ, w którym podstawową osią jest linia pionu a płaszczyzną podstawową jest płaszczyzna horyzontu. Położenie ciała niebieskiego określają w tym układzie dwie współrzędne: wysokość horyzontalna h i azymut A.

**Układ współrzędnych równikowych pierwszy (godzinny)**

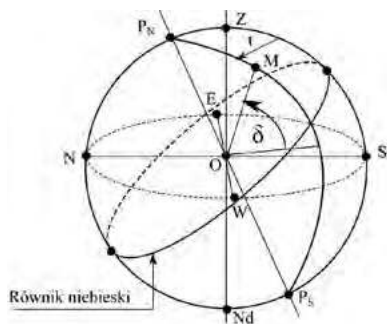
– układ, w którym podstawową osią jest oś świata a płaszczyzną podstawową jest płaszczyzna równika niebieskiego. Położenie ciała niebieskiego określają w tym układzie dwie współrzędne: deklinacja δ i kąt godzinny t.



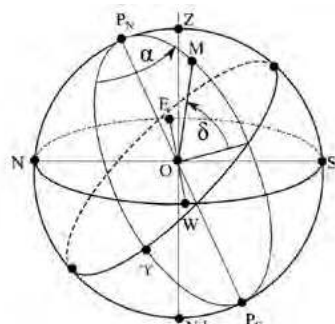
Rys.5. Układ współrzędnych horyzontalnych. Na rysunku przyjęto następujące oznaczenia: N – punkt północny, S – punkt południowy, δ – deklinacja, A – azymut. Pozostałe oznaczenia są analogiczne jak w przypadku układu współrzędnych ekliptycznych i horyzontalnych.

**Układ współrzędnych równikowy drugi (równonocny)** – układ, w którym podstawową osią jest oś świata a płaszczyzną podstawową jest płaszczyzna równika niebieskiego. Położenie ciała niebieskiego określają w tym układzie dwie współrzędne: deklinacja δ i rektascensja α.

**Voyager 1, Voyager 2** – dwa amerykańskie próbniki kosmiczne wystrzelone w 1977 r., których celem było badanie wielkich planet. Voyager 1 zbliżył się do Jowisza i Saturna a Voyager 2 do Jowisza, Saturna, Urana i Neptuna. Próbniki przekazały na Ziemię unikalne zdjęcia wielkich planet, ich księżyców, pierścieni okotoplanetarnych, wyniki pomiarów składu



Rys.6. Układ współrzędnych równikowych pierwszy (godzinny). Na rysunku przyjęto następujące oznaczenia: N – punkt północny, S – punkt południowy, δ – deklinacja, t – kąt godzinny. Pozostałe oznaczenia są analogiczne jak w przypadku układu współrzędnych ekliptycznych i horyzontalnych.



Rys.7. Układ współrzędnych równikowych drugi (równonocny). Na rysunku przyjęto następujące oznaczenia: Y – punkt równonocy wiosennej, α – rektascensja. Pozostałe oznaczenia są analogiczne jak w przypadku układu współrzędnych ekliptycznych i horyzontalnych.

chemicznego i dynamiki atmosfer planet, ich pól magnetycznych, odkryty nowe księżyce planetarne oraz działalność wulkaniczną na Io.

**Wega (Alfa Lyrae, α Lyr)** – najjaśniejszy obiekt gwiazdowy w konstelacji Łutni, o obserwowanej wielkości gwiazdowej: +0,03<sup>m</sup> i absolutnej wielkości gwiazdowej 0.60<sup>m</sup>, Wega odległa jest od Słońca o 25 lat świetlnych. Jest ona jedną z najjaśniejszych gwiazd ziemskiego nieba nocnego. Gwiazda jest widoczna gołym okiem z całej północnej półkuli Ziemi i z półkuli południowej do szerokości 51° S. Wchodzi w skład tzw. trójkąta letniego obok gwiazd Deneb i Altair. Wega jest typu widmowego A0 Va, temperatura jej powierzchni wynosi około 9500 K.

**Wielki Atraktor** (zagęszczenie Shapleya) – hipotetyczny obiekt kojarzony z koncentracją Shapleya – supergromadą galaktyk widoczną w kierunku gwiazdozbioru Centaura, jedną z największych skupisk galaktyk. Hipoteza Wielkiego Atraktora przewiduje, że jego środek masy pozostaje w spoczynku względem promieniowania reliktowego a on sam wywołuje prędkości względne galaktyk należących do Lokalnej Grupy Galaktyk a nawet Lokalnej Supergromady skierowanej do jego centrum.

**Wielki Mur** (ang. Great Wall) – odkryta w 1989 r. przez amerykańskich astronomów Gellera i Huchra największa wówczas znana struktura we Wszechświecie; „ściana” galaktyk rozciągająca się w obszarze o długości rzędu 500 mln lat św., szerokości 300 mln lat św. i grubości 15 mln lat św. W tym roku (2005) w Astrophysical Journal ukazała się praca, w której Gott wraz ze współpracownikami opisuje jeszcze dłuższą o około 80% strukturę zgrupowań galaktyk tzw. Sloan Great Wall.

**Wielki Wybuch** (ang. Big Bang) – hipotetyczny początek naszego Wszechświata w tzw. standardowym modelu kosmologicznym. W szerszym znaczeniu teoria Wielkiego Wybuchu jest modelem powstania Wszechświata uważanym przez większość kosmologów za najbardziej prawdopodobny. Początkowo nazwa „big bang” pochodząca od angielskiego astronoma Freda Hoyle’a miała podtekst ironiczny (wielkie bum). Jednak z upływem lat została przyjęta już bez ironii jako termin naukowy oznaczający rzeczywisty moment początku Wszechświata.

Nazwa „Wielki Wybuch” nie może być utożsamiana z eksplozją, gdyż chodzi tu

nie o gwałtowny ruch materii (np. wybuch bomby) w pustej przestrzeni, lecz o ekspansję czasoprzestrzeni. Według modelu Wielkiego Wybuchu Wszechświat powstał około 13-15 mld lat temu z tzw. początkowej osobliwości. Przypuszcza się, że był to supergęsty obiekt, w którym gęstość i temperatura osiągały niewyobrażalnie olbrzymie prawie nieskończone wielkości a jego rozmiary były niemal zerowe.

W początkowej osobliwości razem z pramaterią „zwinęta” była przestrzeń i czas. W momencie Wielkiego Wybuchu materia, czas i przestrzeń utworzyły się jednocześnie. Okazuje się, że nasza obecna wiedza o Wszechświecie ma pewne granice poznania, poza którymi nie jesteśmy w stanie nic powiedzieć, ponieważ nie obowiązują tam znane nam prawa fizyki. Tę granicę określa tzw. gęstość Plancka  $\rho \approx 10^{96} \text{ kg m}^{-3}$ . Powyżej tej gęstości do opisu ewolucji Wszechświata nie możemy stosować ogólnej teorii względności, lecz przypuszcza się, że powinna być stosowana kwantowa teoria grawitacji, która nie została jeszcze w zadowalający sposób zbudowana. Dlatego, na temat pierwotnej osobliwości możemy snuć tylko mniej lub bardziej prawdopodobne domysły, gdyż zatamuje się w niej znana nam fizyka.

Próbę opisu ewolucji Wszechświata można rozpocząć dopiero od momentu czasu  $10^{-44}$  s po Wielkim Wybuchu, czyli pod koniec ery Plancka, momentu, w którym we Wszechświecie gęstość materii była równa gęstości Plancka, wymiary Wszechświata były rzędu  $10^{-35}$  m a temperatura była rzędu  $10^{33}$  Kelvinów. Następnie ma miejsce era hadronowa, która trwa około  $10^{-4}$  s. W warunkach panującej wtedy gęstości i temperatury o stanie materii decydowały oddziaływania pomiędzy hadronami (barionami i mezonami).

Wczesny bardzo gorący Wszechświat był wypełniony promieniowaniem elektromagnetycznym i materią o olbrzymiej gęstości. W początkach ewolucji gęstość materii była znacznie mniejsza niż gęstość promieniowania. Fotony produkowały w aktach kreacji cząstki i antycząstki i równocześnie cząstki i antycząstki zderzające się ze sobą w aktach anihilacji produkowały z powrotem fotony.

Rozszerzanie się Wszechświata prowadziło do jego stopniowego ochładzania i zmniejszania energii fotonów. Konsekwencją tego było to, że fotony produkowały cząstki o coraz to mniejszej energii spoczynkowej, a więc coraz to mniejsze.

Przypuszcza się, że w początkowych etapach ewolucji liczba cząstek była równa ilości antycząstek, jednak w wyniku procesów naruszających tę symetrię powstała nadwyżka materii nad antymaterią. W pewnym momencie kwarki łącząc się ze sobą utworzyły nukleony. Istniejące wszystkie cząstki – fotony, neutrino, miony, elektrony, protony i neutrony znajdowały się w równowadze termodynamicznej. Na początku ery hadronowej oddziaływania pomiędzy cząstkami były rządzone przez postulowaną – jeszcze opracowywaną – teorię Wielkiej Unifikacji, która usiłuje łączyć oddziaływania silne i elektrosłabe (elektromagnetyczne i słabe jądrowe). Po czasie około  $10^{-35}$  s od Wielkiego Wybuchu oddziaływanie silne oddzieliło się od elektrosłabych a po czasie około  $10^{-12}$  s od Wielkiego Wybuchu oddziaływanie elektromagnetyczne oddzieliło się od oddziaływania jądrowego słabego.

Pod koniec tej ery, czyli  $10^{-4}$  s od Wielkiego Wybuchu ustał proces kreacji hadronów a temperatura spadła do około  $10^{12}$  Kelvinów. Następnie w czasie ery leptonowej, która trwała do momentu  $10^4$  s od Wielkiego Wybuchu temperatura Wszechświata obniżyła się od  $10^{12}$  K do  $10^{10}$  K. Początkowo trwała jeszcze kreacja par elektron-pozyton oraz ich anihilacja, lecz ten proces szybko ustał. Pod koniec tej ery pozostała nadwyżka elektronów nad pozytonami a neutrino przestały praktycznie oddziaływać z materią.

Następny etap ewolucji to era promienista, która trwała od  $10^4$  s do około 300 000 lat. Gdy temperatura obniżyła się do około  $10^9$  K zaistniały warunki, aby w wyniku reakcji pierwotnej nukleosyntezy powstały lekkie jądra deuteru, helu i litu. Dalszy spadek temperatury do około 3000 K spowodował, że w wyniku procesów rekombinacji jąder z elektronami zaczęły powstawać neutralne atomy. Wtedy praktycznie Wszechświat stał się przezroczysty dla promieniowania elektromagnetycznego. Pozostałością po tym okresie jest promieniowanie reliktywne, którego temperatura równoważna jest równa 2.73 K.

Zgodnie z teorią względności gęstość energii promieniowania maleje szybciej niż gęstość energii związanej z cząstkami o niezerowej masie spoczynkowej. Dlatego w pewnym momencie rzędu 300 000 lat po Wielkim Wybuchu temperatura obniżyła się do około 3000 K a gęstość promieniowania stała się mniejsza niż gęstość materii. Skończyła się era promieniowania

a rozpoczęła era materii (gwiazdowa, galaktyczna), która trwa do chwili obecnej. W tej erze gęstość promieniowania jest znacznie mniejsza niż gęstość materii korpuskularnej więc mogą tworzyć się jej lokalne zgęszczenia a ciśnienie promieniowania nie powoduje ich rozbiecia. Mogły powstać galaktyki, gwiazdy, planety itd.

Powyższy model przebiegu ewolucji został w 1981 roku uzupełniony przez Guth'a o tzw. fazę inflacji, która to hipoteza była później nieco zmodyfikowana przez innych kosmologów. Zgodnie z nią Wszechświat na początku swego rozwoju tuż przed erą hadronową przeszedł fazę niezwykle gwałtownej bardzo krótko trwającej ekspansji – gwałtowne rozdęcie Wszechświata wygładziło jego pierwotne fluktuacje – niejednorodności – tak, że obecnie w wielkich skalach wygląda on jednakowo. W szczególności promieniowanie reliktywne jest prawie jednorodne a Wszechświat wydaje się płaski – krzywizna przestrzeni jest bliska zeru. Również powstanie wielkich struktur we Wszechświecie takich jak galaktyki można wyjaśnić „rozdmuchaniem” pierwotnych małych fluktuacji kwantowych do ogromnych rozmiarów.

#### Uwaga:

*Pozostałe pojęcia będą sukcesywnie omawiane w kolejnych częściach tego kompendium.*

dr Marcin Wesołowski<sup>1,2</sup>,  
dr hab. Piotr Gronkowski<sup>1,2</sup>, prof. senior UR  
<sup>1</sup>Kolegium Nauk Przyrodniczych,  
Instytut Nauk Fizycznych, Uniwersytet Rzeszowski,  
<sup>2</sup>Centrum Innowacji  
i Transferu Wiedzy Techniczno-Przyrodniczej  
Uniwersytetu Rzeszowskiego.

#### LITERATURA:

- [1] Harrington, P. S., 1999, Zaćmienie! Co, gdzie, kiedy, dlaczego i jak? Prószyński i S-ka, Warszawa.
- [2] Rybka, E., 1976, Astronomia ogólna, PWN, Warszawa.
- [3] Borkowski, K. M., 1991, Astronomiczne obliczenia nie tylko dla geografów, UMK Toruń.
- [4] Artymowicz, P. 1995, Astrofizyka układów planetarnych, Wyd. Naukowe PWN.
- [5] Kubiak M., 1994, Gwiazdy i materia międzygwiazdowa, PWN, Warszawa.

#### LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

- [6] Stodółkiewicz J. S., 1978, Astrofizyka ogólna z elementami geofizyki, PWN Warszawa.
- [7] Jaroszyński M., 1993, Galaktyki i budowa Wszechświata, PWN, Warszawa.
- [8] Urania – Postępy Astronomii roczniki z lat 2000 – 2020.
- [9] Fizyka w szkole z astronomią – roczniki z lat 2000-2020.

#### STRONY INTERNETOWE:

- [10] <https://www.nasa.gov/>
- [11] <https://sci.esa.int/>

## Otto Stern – fizyk noblista z Żor

Rafał Simon, Marta Wąsik

Urodził się 17 lutego 1888 r w Żorach na Górnym Śląsku, miał czworo młodszego rodzeństwa. Gdy miał cztery lata przeprowadzili się do Wrocławia (dawne Breslau). Pochodził z bogatej żydowskiej rodziny, dlatego po ukończeniu edukacji nie musiał podejmować pracy zarobkowej. Po ukończeniu szkoły podstawowej i gimnazjum we Wrocławiu (Johannes Gymnasium) kontynuował naukę na studiach we Fryburgu, Monachium i Wrocławiu. Zanim otrzymał właściwe stanowisko na uczelni, pracował jako wolontariusz.

W roku 1912 broni doktorat na Uniwersytecie we Wrocławiu w dziedzinie: chemia fizyczna. Badania dotyczyły stężenia osmotycznego dwutlenku węgla w roztworach stężonych. Po czym przeniósł się do Pragi a następnie do Zurychu, gdzie zawarł wiele znajomości z innymi naukowcami. Podczas pierwszej wojny światowej służył w wojsku. W roku 1915 habilitował się, a w 1921 r. otrzymał tytuł profesora fizyki teoretycznej w Uniwersytecie w Rostocku. Rok później wraz z Walterem Gerlachem przeprowadzili eksperyment przestrzennej kwantyzacji spinowego momentu pędu zwany: doświadczeniem Sterna-Gerlacha.

Eksperyment Sterna-Gerlacha z 1922 r. jest jedną z najważniejszych prac prowadzonych przez Otto Sterna.

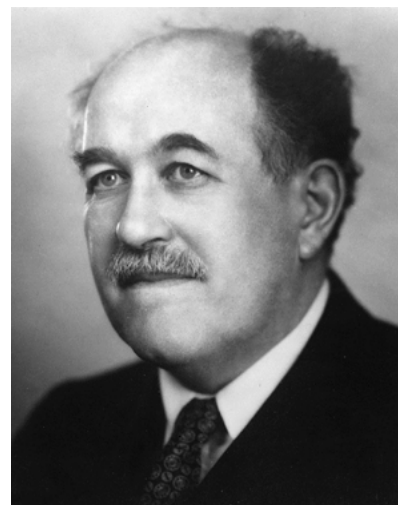
On i Walther Gerlach wysłali wiązkę atomów srebra przez niejednorodne pole magnetyczne na szklaną płytkę i obserwowali ich dyfrakcję. Zgodnie z fizyką klasyczną wiązka powinna rozproszyć się w postaci ciągłego pasma; zamiast tego zaobserwowano tylko dwie wiązki. Potwierdziło to nie tylko teorię kwantyzacji spinu, ale także uutorowało drogę do dalszego rozwoju współczesnej fizyki.

Mierzenie pędu magnetycznego protonu za pomocą wiązki molekularnej to kolejna jego ważna praca. Przeprowadzony w 1933 r. eksperyment wykazał, że rzeczywisty pomiar jest dwa i pół razy większy od jego wartości teoretycznej.

Opublikował także wiele artykułów. Wśród nich na uwagę zasługuje seria trzydziestu wybitnych prac zatytułowanych „Badania metodą wiązki molekularnej”. Po przejściu w Niemczech władzy przez partię Adolfa Hitlera (1933 r.), Otto wyjechał do USA. Do 1945 roku był profesorem na Carnegie Institute of Technology w Pittsburghu.

Rok 1943 przyniósł Sternowi Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki kwantowej („W uznaniu jego wkładu w rozwój metody wiązki molekularnej i jego odkrycia momentu magnetycznego protonu”).

W swojej naukowej karierze był członkiem wielu towarzystw nauko-



Otto Stern

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?search=otto+stern&title=Special:MediaSearch&go=Go&type=image>

wych (szczególnie tych za oceanem) np. National Academy of Science. Do końca życia Otto Stern został kawalerem. Jako młody człowiek lubił dobre życie i taniec. Był także dobrym tenisistą i miał wielu przyjaciół. Zmarł na zawał serca 17 sierpnia 1969 roku podczas przedstawienia teatralnego i został pochowany w Berkeley. Kinetyka fotofizycznego procesu dezaktywacji międzycząsteczkowej została nazwana „Relacją Otto-Volmera” na cześć Otto Sterna i jego wieloletniego przyjaciela Maxa Volmera. Tych dwóch naukowców blisko współpracowało przez długi czas od I wojny światowej. Był także współpracownikiem Alberta Einsteina, z którym przyjaźnił się przez wiele lat.

mgr Rafał Simon  
dr Marta Wąsik

### I. PRENUMERATĘ NA 2022 ROK MOŻNA ZAMÓWIĆ BEZPOŚREDNIO U WYDAWCY

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

#### Cena prenumeraty w 2022 roku

Tytuł	Liczba wydań (I i II półrocze)	Cena egzemplarzowa	Cena prenumeraty rocznej	Cena prenumeraty w I półroczu
<b>Dwumiesięczniki</b>				
Chemia w Szkole	6 (3+3)	35,00	210,00	105,00
Geografia w Szkole	6 (3+3)	35,00	210,00	105,00
<b>Fizyka w Szkole z Astronomią</b>	<b>6 (3+3)</b>	<b>35,00</b>	<b>210,00</b>	<b>105,00</b>
Wiadomości Historyczne z WOS	6 (3+3)	35,00	210,00	105,00

### II. PRENUMERATA DOSTARCZANA PRZEZ FIRMY KOLPORTERSKIE:

1. **RUICH** – zamówienia na prenumeratę w wersji papierowej i na e-wydania można składać bezpośrednio na stronie [www.prenumerata.ruch.com.pl](http://www.prenumerata.ruch.com.pl). Ewentualne pytania prosimy kierować na adres e-mail: [prenumerata@ruch.com.pl](mailto:prenumerata@ruch.com.pl) lub kontaktując się z Centrum Obsługi Klienta „RUICH” 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](mailto:prenumerata.warszawa@garmondpress.pl).
3. **KOLPORTER S.A.** – prenumeratę instytucjonalną można zamawiać w oddziałach firmy. Informacje: [www.kolporter.com.pl](http://www.kolporter.com.pl).
4. **POCZTA POLSKA** – zamówienia we wszystkich urzędach pocztowych lub u listonoszy, drogą elektroniczną: [www.poczta-polska.pl](http://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](mailto:szewczyk24@gmail.com).

**Zamów prenumeratę przez Internet**  
**[www.aspress.com.pl/prenumerata/](http://www.aspress.com.pl/prenumerata/)**

# PRENUMERATA 2022

## PRZEDŁUŻ LUB ZAMÓW!



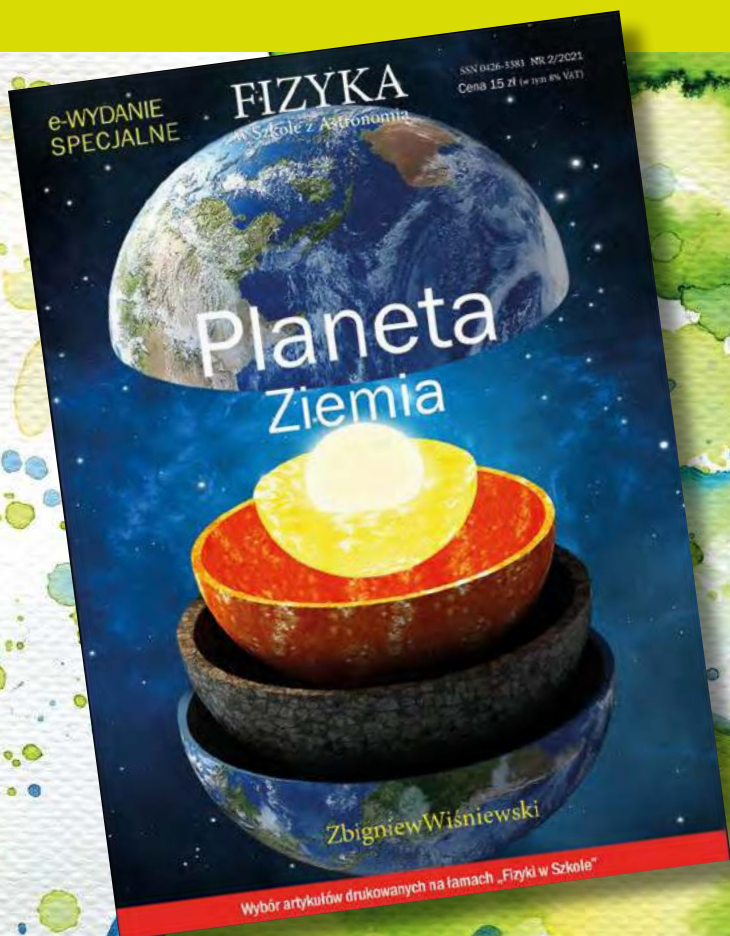
Zamów  
wydanie  
darmowe!

### PRENUMERATA:

- w wersji drukowanej,
- w wersji elektronicznej (pliki PDF),
- roczna,
- półroczna.

Szczegóły i formularz zamówienia na [www.aspress.com.pl/prenumarata/](http://www.aspress.com.pl/prenumarata/)

WYDANIE SPECJALNE W WERSJI ELEKTRONICZNEJ – PLIK PDF



**15** artykułów o tym,  
dlaczego Ziemia  
jest planetą wyjątkową!

Cena  
15 zł  
(w tym 8% VAT)

Szczegóły i formularz zamówienia na [www.aspress.com.pl/wydania-specjalne/](http://www.aspress.com.pl/wydania-specjalne/)