

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

375 (LXIV) indeks 35810X Nr 4 lipiec/sierpień 2021 CENA 30,00 zł (w tym 8% VAT)

CZĄSTECZKA ŻYCIA

Niezwykłe
właściwości
wody

CIEKŁE KRYSTAŁY

– intrygujący stan materii

TEORIA CHAOSU

Źukłady dynamiczne,
nieprzewidywalne

PRYZMAT

Eksperymenty Newtona

ASTRONOMICZNE

WYDARZENIE ROKU

O PRĘDKOŚCI

Skąd ta fascynacja?



Zapraszamy na naszą nową stronę!

Strona główna Prenumerata Wydania specjalne Wydania archiwalne Wydania darmowe Kontakt

Czasopisma pedagogiczne

Witamy na naszej nowej stronie!

Twoje mocne strony!

Strona główna Prenumerata Wydania specjalne Wydania archiwalne Wydania darmowe Kontakt

3/2021 maj/czerwiec
Chemia
Nożyce genetyczne

3/2021 maj/czerwiec
FIZYKA
CIAŁA STAŁE

3/2021 maj/czerwiec
Geografia
UTAH

3/2021 maj/czerwiec
Historyczne
Naukę online zdalnie

Spis treści

W najnowszych wydaniach

<p>Nożyce genetyczne Mamy CRISPR/Cas9, mamy nożyce genetyczne! Nowe narzędzie lub podważenie? Wykorzystanie geny DNA (interakcje, mRNA), rekombinacja. Wstęp</p>	<p>Ciała stałe Mają niesamowite właściwości i kształt. Są sprężyste, gładkie i kruche. Aplikacje i ciekawostki. Czy ciepły płyn nie zmienia ich kształt? Wstęp</p>	<p>Utah – raj marmurów Wspaniałe góry, kapieliska, jeziora, jeziora słoneczne, słoneczne jeziora i jeziora. Najbardziej oryginalne, magiczne dla ludzi. Zanim odwiedzą marmury. Wstęp</p>	<p>Kapitan Ameryka Kontrowersyjny wpływ czołowej gwiazdy na naszą rzeczywistość. Ich bohaterowie przesiedlił na treść polityczną i w tym czasie. Wstęp</p>
---	---	--	---

<h3>Aktualności</h3> <p>Rekordowy czerwiec na świecie Najwyższa temperatura na świecie. Jest już gorąco. Ciężko znaleźć nieparzysty rok w historii, który nie był gorący. Zanim w...</p>	<h3>Najczęściej czytane</h3> <p>Tornado Czy Polska jest już na celiku tornado?</p> <p>Wulkany Najbezpieczniejsze hobby – zbliżenie wulkanów</p> <p>Wirusy Wirusy – niewidzialny i groźny przeciwnik</p> <p>Mieszko Kiedy rozpoczynał się Mieszko?</p>
---	---

Drodzy Czytelnicy!

Serdecznie witamy po wakacjach! Mamy nadzieję, że teraz z nową energią wezmą się Państwo do pracy jak również do lektury „Fizyki w Szkole”. Ale wróćmy na chwilę do wakacji. Wielu z was spędziło je nad wodą. Może to były morza, może jeziora, tego nie wiem, ale woda była tam tematem przewodnim. Woda jest też najważniejszą cieczą we Wszechświecie. Jest też głównym składnikiem organizmów żywych. Fizycy i chemicy często mówią o jej niezwykłych właściwościach. Nic więc dziwnego, że nasz niestrudzony popularyzator zagadnień biofizycznych, Tomasz Kubiak, poświęcił jej swój artykuł, który otwiera ten numer „Fizyki w Szkole”.

Następny artykuł poświęcony jest ciekłym kryształom. Temat ten niestety słabo jest zaznaczony w programie szkolnym, a właściwie wcale go tam nie ma. Szkoda, bo ciekłe kryształy są wszechobecne. Nawet w naszych organizmach jest ich bardzo dużo. Autorka omawianego artykułu koncentruje się na opisie różnych faz ciekłych kryształów i ich właściwości optycznych.

Trzeci z kolei artykuł poświęcony jest chaosowi. Teoria chaosu i ogólnie chaos deterministyczny to niesamowicie prędko rozwijająca się dziedzina nauki. Jej rozwój związany jest z pojawieniem się tanich komputerów. Chaos deterministyczny to ta dziedzina nauki, którą praktycznie każdy może rozwijać z poziomu własnego fotela i laptopa.

Wspomniane artykuły nie wyczerpują mnogości tematów poruszanych w tym numerze. Nie mogło w nim zabraknąć artykułu o Einsteinie ani o największym jego poprzedniku Izaakowi Newtonie. Dla miłośników astronomii przygotowaliśmy artykuł o ostatnim zaćmieniu Słońca. Czyli każdy znajdzie coś dla siebie.

Kończąc, tradycyjnie życzę miłej lektury.

W imieniu redakcji
Zbigniew Wiśniewski



4 Biofizyka a niezwykle właściwości wody | Tomasz Kubiak

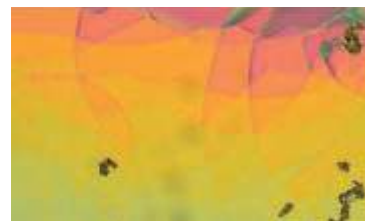
Woda nazywana jest często „cząsteczką życia”. Wiele osób nie uświadamia sobie jednak kluczowej roli, jaką pełni ona w świecie przyrody ożywionej.

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

12 Ciekłe kryształy – niezwykle stan materii

■ Kamila Nowicka

Każdy z nas zna ciekłe kryształy z życia codziennego. Znajdują się w zegarkach cyfrowych, w monitorach komputerów i telewizorach. Te niezwykle materiały zrewolucjonizowały sposób przedstawienia informacji.



16 Teoria chaosu | Cyprian Sobczak

22 Osłony w ochronie radiologicznej | Wioletta Monika Dynkowska

26 100 rocznica przyznania Nagrody Nobla Einsteinowi za interpretację efektu fotoelektrycznego zewnętrznego | Kazimierz Mikulski

Z naszych lekcji

30 Kształcenie językowe na lekcjach fizyki | Arleta Biegańska

32 Isaac Newton (1642/43-1727) ciąg dalszy – Na ramionach olbrzymów | Tadeusz Wibig

35 Co w fizyce piszczy?

36 O prędkości | Jerzy Kuczyński

Przeglądając podręczniki szkolne do fizyki, z pewnym zdziwieniem zauważyłem fascynację pojęciem prędkości. O tym pojęciu znajdziemy w nich bardzo dużo, chyba zdecydowanie zbyt dużo...



40 Zastosowanie teorii równoważnego źródła SEM do obliczania złożonych obwodów elektrycznych – Czesław Surowiec

Astronomia dla każdego

44 Kompendium astronomiczne – wybrane pojęcia i zagadnienia – cz. 4 | Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski

48 Częściowe zaćmienie Słońca – 10.06.2021 – astronomiczne wydarzenie czerwca

■ Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski



FIZYKA

w Szkole z Astronomią

NUMER 4 LIPIEC/SIERPIEŃ 2021
375 (LXIII) indeks 35810X ISSN 0426-3383

CENA 30,00 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-2020/, 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: Adobe Stock

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



Biofizyka

a niezwykle właściwości wody

Woda nazywana jest często „cząsteczką życia”. Wiele osób nie uświadamia sobie jednak kluczowej roli, jaką pełni ona w świecie przyrody ożywionej. Warto zatem przybliżyć ten temat ze szczególnym uwzględnieniem znaczenia niezwykle właściwości wody dla funkcjonowania organizmów.

Tomasz Kubiak

O wodzie młodzież uczy się w szkole na lekcjach chemii czy fizyki. Dowiaduje się tam m.in., że cząsteczka H_2O składa się z dwóch atomów wodoru połączonych wiązaniem kowalencyjnym spolaryzowanym z atomem tlenu. Mimo to, nawet najbardziej podstawowa wiedza niektórym osobom czasem umyka.

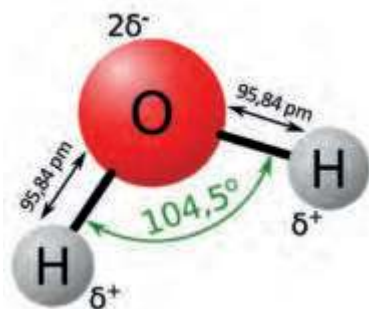
Większość czytelników słyszała zapewne słynne żarty dotyczące monotlenku diwodoru (DHMO, ang. *dihydrogen monoxide*). Tabliczki z informacją o okresowym rozpylaniu tej substancji uchroniły przed zniszczeniem chociażby zielen przed kościołem Dominikanów w Poznaniu, gdyż właściciele czworonogów zyczajnie przestraszyli się

ostrzeżenia. Skoro nawet inna nazwa popularnego związku chemicznego może wywołać konsternację, to co dopiero widok owada swobodnie poruszającego się po tafli jeziora. Do niezwykle zdolności przedstawicieli rodziny nartnikowatych powrócimy jeszcze w dalszej części artykułu.

Na początek warto jednak skupić się jeszcze przez chwilę na budowie cząsteczki wody (rys.1.). Jest ona bowiem polarna, posiada elektryczny moment dipolowy równy $2,95 \pm 0,2$ debaja w temp. 300K.¹ Bardziej elektroujemny atom tlenu przyciąga pojedyncze elektrony atomów wodoru, odsłaniając ich jądra atomowe. Atomy H uzyskują zatem dodatni cząstkowy ładunek elektryczny, a atom O ujemny. Polarność cząsteczek H_2O , a w konsekwencji ich zdolność do łączenia się za pomocą wiązań wodorowych, jest właśnie źródłem kluczowych dla funkcjonowania organizmów własności wody.

Woda w organizmie człowieka

Woda stanowi około 70% masy naszego ciała, ale należy pamiętać, że jej ilość uzależniona jest m.in. od budowy anatomicznej, płci, wieku i warunków panujących w otoczeniu. Największą procentową zawartością H_2O cechuje



Rys. 1. Uproszczony model cząsteczki wody.

¹ Wartość na podstawie pracy: A. V. Gubskaya, Peter G. Kusalik, The total molecular dipole moment for liquid water, Journal of Chemical Physics, 117(11), (2002), s. 5290-5302.

je się ciało noworodków, a najmniejszą osób starszych. Różny jest też stan uwodnienia tkanek, przy czym tkanki: kostna i tłuszczowa są najuboższe w tę cieć.

Na zapotrzebowanie dobowe organizmu na wodę, wynoszące od 21 do ponad 43 ml na kilogram masy ciała, istotny wpływ mają takie czynniki, jak: temperatura otoczenia, wilgotność powietrza, tempo przemiany materii, rodzaj wykonywanej pracy czy podejmowanej aktywności fizycznej. Dobowy bilans wody dla przeciętnego człowieka, będącego w stanie komfortu cieplnego, przedstawia rys.2.

W zachodzących w ustroju reakcjach metabolicznych powstaje dziennie 200-300 ml H₂O. Pozostałą niezbędną do życia ilość tej cieczy musimy po prostu dostarczyć z zewnątrz. Spożywana woda wchłaniana jest w przewodzie pokarmowym, w obrębie jelita cienkiego oraz grubego. Dostaje się do krwi, jest wraz z nią transportowana przez wątrobę do krążenia wielkiego. Następnie przechodzi do płynów tkankowych.

Szacuje się, że około 2/3 wody zawartej w organizmie mieści się wewnątrz komórek (głównie w cytozolu), natomiast 1/3 znajduje się poza nimi (m.in. w płynach: śródnaczyniowym i międzykomórkowym). Woda jest głównym składnikiem osocza, śliny, płynu łzowego i mózgowo-rdzeniowego, ponadto znajdziemy ją też w soku żołądkowym, trzustkowym a nawet żółci.

Nie można oczywiście pominąć płynu owodniowego. Pod względem chemicznym składa się on bowiem w 98-99% z H₂O. Zawartość jego pozostałych składników (elektrolitów, białek, lipidów, węglowodanów itp.) waha się natomiast wraz z wiekiem ciążowym. Objętość wód płodowych zmienia się w miarę wzrostu rozwijającego się organizmu i można ocenić ją ultrasonograficznie.²

Płyn owodniowy chroni płód (amortyzuje wstrząsy i uderzenia), umożliwia mu swobodne ruchy, zapewnia homeostazę termiczną (stałość temperatury), bierze udział w transporcie substancji (m.in. już po ósmym tygodniu ciąży płód wydala mocz a nieco później zaczyna połykać płyn owodniowy).³

Widać zatem, że już od początku życia woda jest dla nas kluczowa. Generalnie cieć ta pełni w organizmie tak wiele funkcji, że nie sposób szczegółowo opisać ich w pojedynczym artykule. Udział w reakcjach biochemicznych, procesach transportu czy termoregulacji to tylko wybrane przykłady. Przyjrzyjmy się dokładniej poszczególnym własnościom wody z punktu widzenia biofizyki.

Woda jako rozpuszczalnik

Już podczas nauki szkolnej można dowiedzieć się, że woda jest dobrym rozpuszczalnikiem związków o budowie jonowej (np. soli takich jak: NaCl czy MgCl₂) a także polarnych związków niejonowych (m.in. cukrów prostych, np. glukozy czy niższych alkoholi, np. etanolu). Wody występujące naturalnie na Ziemi to w rzeczywistości roztwory o różnych stężeniach. W ich skład wchodzi gazy atmosferyczne: azot, tlen, ditlenek węgla oraz sole nieorganiczne będące związkami sodu, wapnia, magnezu, potasu czy żelaza.

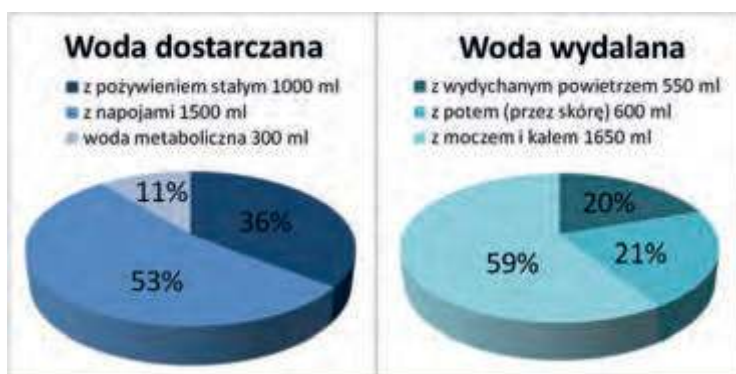
Morza i oceany zawierają średnio 3,5% masowego soli. Co ciekawe, hipertoniczne wodne roztwory soli (np. o stężeniu 22 g/l), nazywane „wodą morską”, są powszechnie używane w postaci sprayu do higieny jamy nosowej nawet u niemowląt, gdyż pomagają oczyszczać błonę śluzową, ułatwiając oddychanie i usuwanie wydzieliny.

Solanki, czyli wody głębinowe z dużą zawartością NaCl (> 15 g/l) wykorzystywane są w leczeniu uzdrowiskowym w takich miejscowościach, jak: Ciechocinek, Inowrocław czy Konstancin-Jeziorna. W medycynie jako płyn infuzyjny powszechnie stosowana jest również sól fizjologiczna, czyli izotoniczny wodny roztwór chlorku sodu (0,9 g/l).

Warto wyjaśnić, że roztwór izotoniczny posiada identyczne stężenie substancji rozpuszczonych jak roztwór odniesienia, natomiast hipertoniczny ma stężenie wyższe i dzięki temu woda przemieszcza się przez membranę półprzepuszczalną w jego kierunku. Dlatego komórka umieszczona w roztworze hipertonicznym traciłaby wodę na skutek osmozy (dyfuzji rozpuszczalnika przez błonę), natomiast ta znajdująca się w roztworze izotonicznym pozostawałaby w równowadze osmotycznej. O samym zjawisku osmozy była już mowa na łamach „Fizyki w Szkole” w artykule poświęconym biofizyce układu wydalniczego.⁴

W organizmie to właśnie nerki odgrywają kluczową rolę w regulacji gospodarki wodno-elektrolitowej. Osocze, składające się w ponad 90% z wody, transportuje nie tylko substancje potrzebne komórkom do życia (białka, elektrolity, składniki odżywcze itp.), ale również zbędne produkty przemiany materii. Nerki oczyszczają krew ze szkodliwych metabolitów, które dalej są wydalane z organizmu wraz z moczem (zawierającym około 96% wody).

Fakt, że woda jest doskonałym rozpuszczalnikiem substancji polarnych ma też oczywiście kluczowe znaczenie

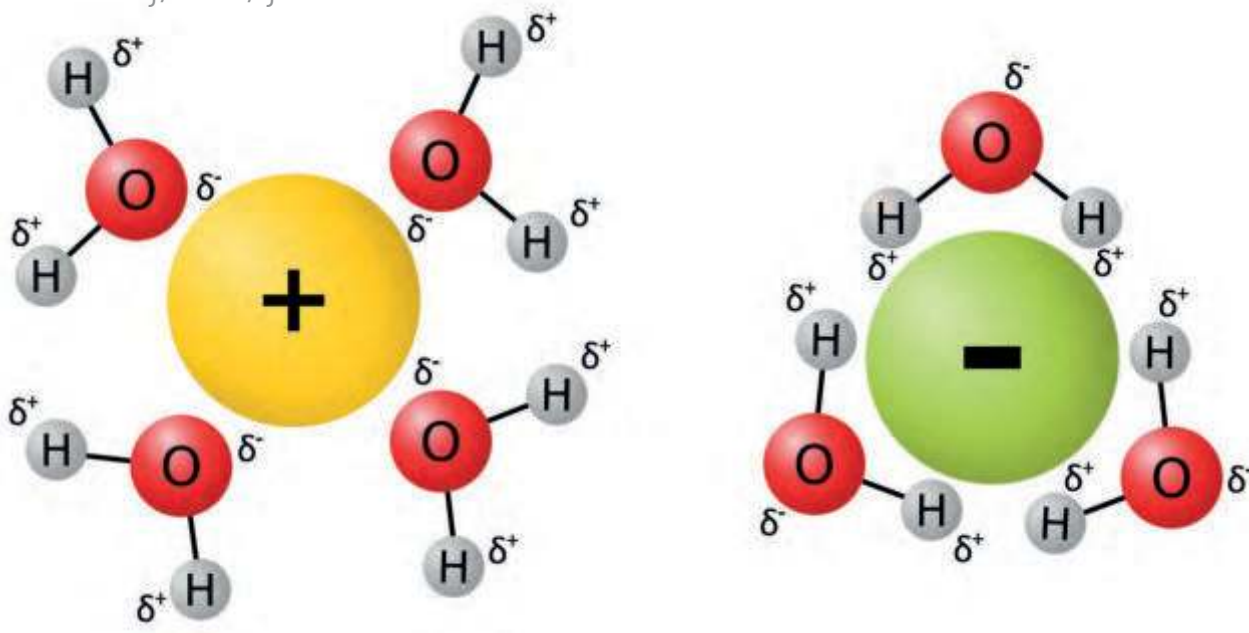


Rys. 2. Dobowy bilans wody dla przeciętnego człowieka będącego w stanie komfortu cieplnego.

² O ultrasonografii można dowiedzieć się więcej z artykułu: T. Kubiak, Ultrasonografia, czyli fale akustyczne w służbie medycyny, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 5 (2017), s. 4-9.

³ Zainteresowanych szczegółami dotyczącymi płynu owodniowego odsyłam do artykułu: M. A. Underwood, W. M. Gilbert, M. P. Sherman, Amniotic Fluid: Not Just Fetal Urine Anymore, Journal of Perinatology 25 (2005), 341-348.

⁴ T. Kubiak, Od zdrowych nerek do dializy, czyli o biofizyce układu wydalniczego, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 4 (2018), s. 8-14.



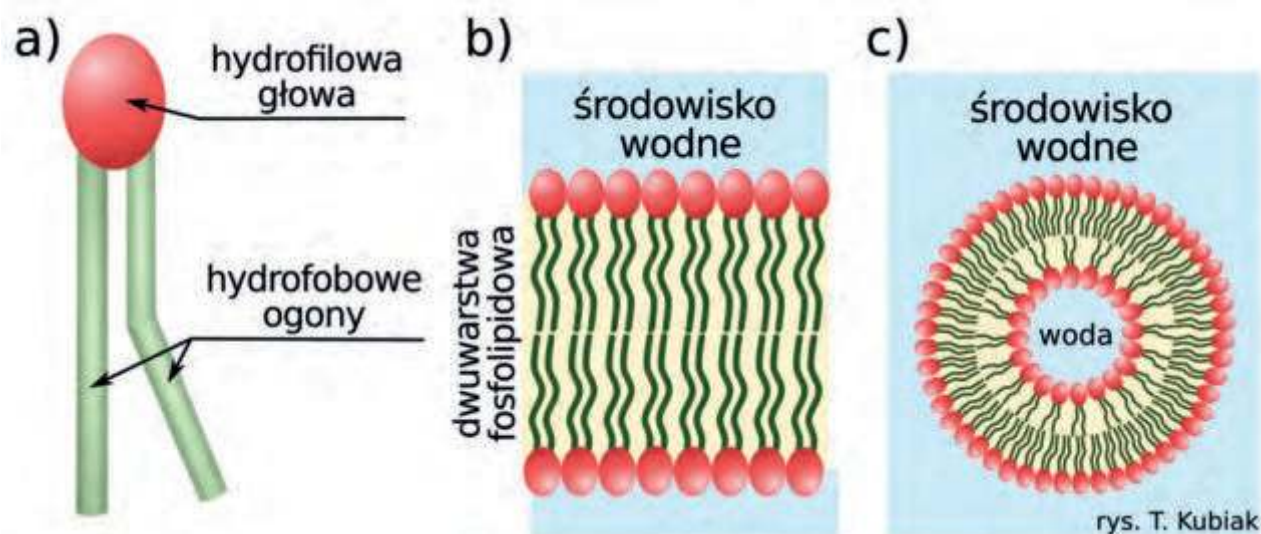
Rys. 3. Jony w roztworze wodnym ulegają hydratacji.

dla funkcjonowania innych układów, np. pokarmowego. Zastanówmy się, co właściwie dzieje się, gdy rozpuszczamy takie substancje w wodzie? Ich molekuly rozpraszają się równomiernie między cząsteczkami rozpuszczalnika. W przypadku elektrolitów zachodzi zjawisko dysocjacji, czemu sprzyja duża wartość względnej przenikalności elektrycznej wody: $\epsilon_r = 81$ (w temp. pokojowej).⁵ Powstałe jony ulegają hydratacji, tzn. są otoczone przez cząsteczki H_2O . Na rys. 3. pokazano kation i anion przyciągane odpowiednio przez cząstkowe ładunki ujemne albo dodatnie molekuł wody.

Nietrudno się domyślić, iż tworzenie się powłok hydratacyjnych znacznie osłabia oddziaływania elektrostatyczne między jonami substancji rozpuszczonej. Warto jeszcze dodać, że na rozpuszczalność różnych soli w wodzie wpływ ma temperatura. Natomiast substancje niepolarne

(np. olej) są w niej nierozpuszczalne. Z kolei zachowanie makrocząsteczek biologicznych (np. białek) w wodzie zależy nie tylko od liczby posiadanych przez nie grup polarnych, ale również od ich rozmieszczenia. Tworzące się otoczki hydratacyjne mają bardziej skomplikowaną budowę ze względu na zaawansowaną geometrię pola elektrycznego przy powierzchni biopolimerów.

Co ciekawe, cząsteczki H_2O z powłoki hydratacyjnej odgrywają również rolę w stabilizacji struktury przestrzennej makrocząsteczek a także w oddziaływaniach pomiędzy podjednostkami tworzącymi strukturę IV-rzędową. Niepolarne łańcuchy boczne niektórych aminokwasów, dążąc do zminimalizowania kontaktu z środowiskiem wodnym, mogą grupować się we wnętrzu zwijającego się białka. Mamy zatem do czynienia z oddziaływaniami hydrofobowymi, które wpływają na proces fałdowania.



Rys. 4 a) Budowa cząsteczki fosfolipidu; b) fosfolipidy grupują się, budując dwuwarstwę, c) liposom to pęcherzyk otoczony podwójną warstwą lipidową.

⁵ Względna przenikalność elektryczna wody znacznie maleje wraz ze wzrostem temperatury.

Dla zainteresowanych warto dodać, iż pewnym wyjątkiem są integralne białka błonowe. Hydrofobowe fragmenty ulokowane są bowiem na ich powierzchni bocznej i oddziałują z również hydrofobowymi łańcuchami węglowodorowymi dwuwarstwy lipidowej. W tym miejscu warto wyjaśnić, że cząsteczki budujących błony biologiczne fosfolipidów mają charakter amfipatyczny (amfifilowy). Oznacza to, iż posiadają zarówno region hydrofilowy (tj. wykazujący powinowactwo do wody) w postaci „głowy” z grupą fosforanową, jak i unikające wody hydrofobowe „ogony”, czyli reszty kwasów tłuszczowych (rys.4a).

Fosfolipidy mają tendencję do samoorganizowania się w fazie wodnej. Ustawiają się tak, aby tylko polarne główki pozostawały w kontakcie z cząsteczkami H_2O , natomiast ogony były skierowane ku sobie, czyli do wnętrza tzw. dwuwarstwy (rys.4b.). Ma ona zdolność do samozaślepienia, co tłumaczy fakt, że posiadanie wolnej krawędzi w kontakcie z wodą byłoby niekorzystne energetycznie. W organizmie tego typu struktury tworzą stabilne, zamknięte przedziały.

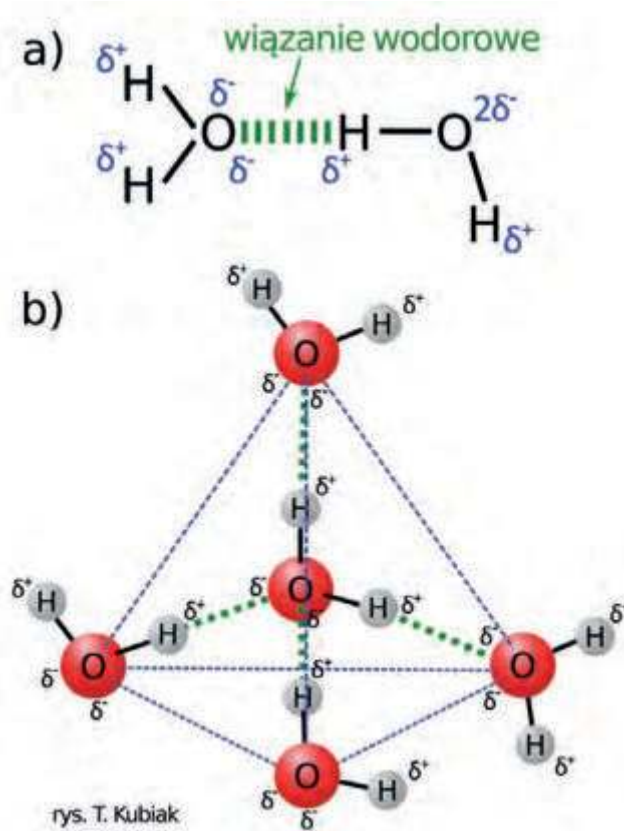
Również sztucznie, poprzez spontaniczną agregację amfifilowych fosfolipidów w środowisku wodnym, możemy wytwarzać proste dwuwarstwy w postaci tzw. liposomów (rys.4c.). Te sferyczne pęcherzyki o wymiarach rozpoczynających się od 25 nm wykorzystuje się nie tylko w badaniach naukowych, ale również w przemyśle kosmetycznym oraz farmaceutycznym.

Wiązania wodorowe

Szczególne właściwości wody ściśle wiążą się z faktem, że sąsiednie cząsteczki H_2O łączą się ze sobą wiązaniami wodorowymi. Takie interakcje powstają na skutek elektrostatycznego przyciągania między wodorem z jednej molekuly wody i tlenem z drugiej (rys.5a.). Przypomnijmy raz jeszcze, że w cząsteczce wody elektrycznie dodatni atom tlenu, związany kowalencyjnie z atomem wodoru (donor wodoru), odciąga od niego elektron. Wodór zyskuje zatem cząstkowy ładunek dodatni i może oddziaływać elektrostatycznie z posiadającym cząstkowy ładunek ujemny tlenem z innej molekuly wody (akceptorem wodoru).

Wiązania wodorowe są silniejsze niż oddziaływania van der Waalsa, ale dużo słabsze niż wiązania kowalencyjne. Mostek wodorowy jest najtrwalszy, gdy atom wodoru jest współliniowy z obydwojoma atomami tlenu. Wówczas siła wiązania $O-H\cdots O$, zależy jednak prawie liniowo od jego długości (im krótsze, tym mocniejsze). Warto jeszcze wspomnieć, że długość wiązania wodorowego rośnie wraz ze zwiększaniem temperatury, a maleje przy wzroście ciśnienia.

Struktura sieci krystalicznej lodu powstaje właśnie dzięki wiązaniami wodorowym. Poszczególne cząsteczki H_2O tworzą wówczas wiązanie wodorowe z czterema sąsiednimi, jak pokazano na rys. 5b. Każdy atom tlenu jest zatem otoczony czterema wodorami; z dwoma łączy się krótszym wiązaniem σ , a z kolejnymi dwoma dłuższym wiązaniem wodorowym. W tym miejscu warto już nad-



Rys.5 a) Wiązanie wodorowe pomiędzy dwoma molekułami H_2O ; b) cząsteczka H_2O może łączyć się wiązaniami wodorowymi z czterema sąsiednimi, tworząc układ tetraedyczny.

mienić, iż część mostków wodorowych ulega zarwaniu podczas topnienia lodu.

Struktura wody w stanie ciekłym wciąż jest natomiast jeszcze przedmiotem zainteresowania naukowców. W literaturze często przywoływana jest stara teoria Némethy-Scheraga z 1962 roku.⁶ Zgodnie z nią w ciekłej wodzie formują się klastry. W ich skład w zakresie temperatur 0° do $70^\circ C$ wchodzi od 91 do 25 cząsteczek H_2O , łączących się wiązaniami wodorowymi. Między tymi zgrupowaniami znajdują się pojedyncze wolne molekuly H_2O .

Jedną z zalet wspomnianej teorii jest fakt, iż stosunkowo dobrze opisuje wiele obserwowalnych własności wody, w tym zależne od temperatury zmiany jej objętości.

Anomalna rozszerzalność termiczna wody

Jedną z najbardziej wyjątkowych cech czystej wody jest jej anomalna rozszerzalność. W przedziale temperatur $0^\circ-4^\circ C$ zmniejsza bowiem swoją objętość. Dopiero po osiągnięciu największej gęstości w $4^\circ C$ zaczyna zachowywać się jak klasyczne ciecze, czyli zwiększać objętość przy ogrzewaniu. Jak wytłumaczyć ten fakt na gruncie fizyki?

Z poprzedniej części artykułu wiemy już, że struktura lodu, który ma mniejszą gęstość od wody w stanie ciekłym ($\approx 0,92 \text{ g/cm}^3$ vs. $\approx 1 \text{ g/cm}^3$ w $0^\circ C$), jest utrzymywana dzięki wiązaniami wodorowym. Podczas topnienia

⁶ G. Némethy, H. Scheraga, Structure of Water and Hydrophobic Bonding in Proteins. I. A Model for the Thermodynamic Properties of Liquid Water, J. Phys. Chem. 1962, 36(12), 3382-3400.

lodu ok. 10-15% wszystkich wiązań wodorowych ulega zerwaniu, co powoduje zmniejszenie objętości. Przy dalszym ogrzewaniu mamy do czynienia z dwoma przeciwstawnymi procesami. Z jednej strony rozpadają się kolejne asocjaty, skutkując dalszym wzrostem gęstości; z drugiej strony, na skutek drgań termicznych, zwiększają się średnie odległości międzycząsteczkowe (co jest odpowiedzialne za rozszerzalność cieplną).

W zakresie temp. 0°-4°C pierwszy z procesów przeważa. Należy jednak zaznaczyć, że kwestia wiązań wodorowych w fazie ciekłej (liczba wiązań, w jakie zaangażowana jest pojedyncza molekula, ich siła oraz rola w przenoszeniu energii w cieczy) wciąż stanowi obiekt debaty akademickiej.⁷

Czytelników zapewne nurtuje fakt, skąd fizycy czerpią informacje na temat zachowania cząsteczek wody i tworzonych przez nie struktur przestrzennych. Podstawą są badania przeprowadzane metodą rozpraszania promieni X czy neutronów a także wyniki symulacji dynamiki molekularnej (MD od *ang. molecular dynamics*). Dodatkowo wykorzystuje się inne zaawansowane techniki, np. dwuwymiarową spektroskopię femtosekundową w podczerwieni.

Wróćmy jednak do anomalnej rozszerzalności wody i jej znaczenia dla funkcjonowania organizmów żywych. Nietrudno się domyślić, iż w przyrodzie własność ta odgrywa istotną rolę zimą. W głębszych zbiornikach wody słodkiej przy dnie gromadzi się bowiem najgęstsza ciecz o temperaturze około 4°C, dzięki czemu mogą tam przetrwać rośliny i zwierzęta.

Warto w skrócie przyjrzeć się procesom termodynamicznym zachodzącym w jeziorze we wspomnianej porze roku. Gdy temperatura powietrza spada, ochładzają się również przypowierzchniowe warstwy wody. Ciecz zwiększa swą gęstość i opada w kierunku dna. Procesy konwekcyjne zachodzą do momentu, gdy temperatura w całym zbiorniku osiągnie 4°C. Oczywiście przy powierzchni woda może dalej się oziębiać, ale wtedy jej gęstość zaczyna już maleć. Ochładzanie głębszych warstw następuje wówczas jedynie na drodze przewodnictwa cieplnego. W końcu tafli jeziora zamarznie. Lód będzie utrzymywać się na powierzchni, stopniowo zwiększając swoją grubość, ale pod nim utrzyma się środowisko do życia (fot.1.).

Wiosną, na skutek wzrostu temperatury powietrza i działania promieni słonecznych, lód najpierw ogrzeje się do 0°C a później stopnieje. Ze względu na stosunkowo wolny proces przewodzenia ciepła w głąb zbiornika, woda przy powierzchni będzie nagrzewać się zdecydowanie szybciej niż jej dolne warstwy. Przy dnie przez długi czas może zalegać ciecz o temp. 4°C, posiadająca największą gęstość.

Co ciekawe, ze stratyfikacją termiczną wody w jeziorze wiąże się szereg pojęć z zakresu limnologii, czyli gałęzi nauki zajmującej się badaniem wód zbiorników śródlądowych. Ze względu na popularyzatorski charakter artykułu nie będą one jednak przytaczane. W warunkach szkolnych



Fot.1. Pod pokrywą lodu utrzymuje się woda w stanie ciekłym, co umożliwia organizmom przetrwanie zimy.

warto natomiast pokazać eksperymentalnie procesy zachodzące w jeziorze. Zainteresowanych odsyłam do ciekawej pracy „*The anomalii thermal expansion of water*” wymienionej w bibliografii.

Napięcie powierzchniowe

Miłośnicy nauk przyrodniczych podczas wypoczynku nad jeziorem czy stawem na pewno chętnie przyglądają się nartnikom, które potrafią przemieszczać się po tafli wody. Z kolei dzieci i młodzież szkolna często pytają, dlaczego te owady nie toną, skoro gęstość ich ciała jest większa niż gęstość wody. Warto zatem przyjrzeć się temu problemowi bliżej. Zaczniemy od tego, że nartnikowate posiadają trzy pary odnóży (fot.2.). Pierwsza z nich służy do chwytania pokarmu. Druga i trzecia pozwala właśnie pluskwiakowi utrzymywać się na powierzchni wody.

Środkowe a także tylne odnóża są bardzo długie. Pokrywają je niezwilżane, mikroskopowe włoski. W zasadzie wyróżniono dwa rodzaje szczecinki: sztywną i długą (40-60 μm), zapewniającą wodoodporność oraz giętką i krótką (<10 μm) zdolną do przenoszenia pęcherzyków powietrza. Kąt zwilżania odnóży nartnika wynosi około 168°, czyli cechują się one tzw. superhydrofobowością. W spoczynku na każdą z rozstawionych szeroko nóg działają siły: wyporu oraz napięcia powierzchniowego (ich suma równoważy ciężar pluskwiaka). Sprężysta błonka, powstająca na styku cieczy i powietrza, nie ulega przerwaniu, lecz ugięciu, utrzymując owada na powierzchni wody. Przy opisie zachowania małych stawonogów półwodnych biofizycy często posługują się tzw. liczbą Baudoin⁸:

$$Ba = \frac{mg}{\sigma P}$$

⁷ Zainteresowanych odsyłam do pracy: J. T. Titantah, M. Karttunen, Water dynamics: Relation between hydrogen bond bifurcations, molecular jumps, local density & hydrophobicity, Scientific Reports, 3 (2013), 2991.

⁸ Nazwa pochodzi od francuskiego naukowca René Baudoin, który już w 1955 roku opublikował słynną pracę pt. „La physico-chimie des surfaces dans la vie des Arthropodes aeriens des miroirs d'eau, des rivages marins etlacustres et de la zone intercotidale” (Bull. Biol. Fr. Belg. 89, 1955, 16 - 164).

gdzie: m – masa owada, g – przyspieszenie ziemskie, σ – współczynnik napięcia powierzchniowego ($\sigma = 72$ mN/m dla wody w 25°C), P – parametr związany z kontaktem (σP – maksymalna siła napięcia powierzchniowego). Dla małych pluskwiaków utrzymujących się bez problemu na powierzchni wody $Ba < 1$ (dla nartników oszacowano $Ba \approx 10^{-2}$).

Ze znacznie trudniejszą do opisu fizycznego sytuacją mamy do czynienia, gdy nartnik się porusza. Należy wówczas uwzględnić dodatkowe czynniki, np. opór, bezwładność i tarcie lepkie. Owad musi oderwać się od tafli wody i wyskoczyć, uzyskując duże przyspieszenie. Jego środek masy uzyskuje szybkość przekraczającą 1 m/s już w 5 ms po wygenerowaniu maksymalnej siły, czyli około 20 ms od chwili rozpoczęcia ruchu. Pluskwiak stopniowo zwiększa bowiem siłę wywieraną przez odnóża do wartości nieco mniejszej niż ta, która powoduje przełamanie błony powierzchniowej ($2\sigma = 144$ mN/m).

Analizy wykonane z użyciem szybkich kamer pokazują, że nartniki nie tylko wysuwają w dół, ale przede wszystkim obracają środkowe i tylne odnóża w taki sposób, że ich część w sposób ciągły napotyka niezniekształconą powierzchnię wody, powodując jej wpuklenie (siła napięcia powierzchniowego rośnie wraz z głębokością zmarszczki). Co ciekawe, w oparciu o badania z zakresu biomechaniki ruchu nartników stworzono już roboty mogące przemieszczać się skokami po powierzchni wody.

Powróćmy jeszcze do samych podstaw zjawiska napięcia powierzchniowego. Wiemy, że siły spójności działające na cząsteczki wewnątrz cieczy się równoważą. Z kolei przy powierzchni, ze względu na sąsiedztwo gazu, siły te nie działają już ze wszystkich kierunków, co skutkuje niezzerową siłą wypadkową zwróconą w głąb cieczy.

Ciecze, dążąc do minimalizacji energii potencjalnej, przyjmują kształt zapewniający im możliwie najmniejszą powierzchnię przy określonej objętości. Przy braku sił zewnętrznych będzie to kula. Nietrudno domyślić się, że



Fot.2. Nartnik potrafi skakać po powierzchni wody.

zwiększenie powierzchni międzyfazowej o ΔS wiąże się z wykonaniem pracy W .

Siły dążące do ograniczenia powierzchni swobodnej cieczy (obszaru jej styku z innym płynem, np. powietrzem) stanowią właśnie siły napięcia powierzchniowego. Stosunek ich wypadkowej F_w do długości d odcinka, wzdłuż którego działają, określany jest mianem współczynnika napięcia powierzchniowego σ :

$$\sigma = \frac{F_w}{d} = \frac{W}{\Delta S}$$

Zależy on od rodzaju substancji, temperatury (dla czystych cieczy maleje wraz z jej wzrostem) i ciśnienia. Różnicę ciśnień Δp , występującą między wewnętrzną a zewnętrzną stroną zakrzywionej powierzchni na granicy cieczy i gazu, określa wzór Younga – Laplace'a:

$$\Delta p = p_{wew} - p_{zew} = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

gdzie: r_1 i r_2 – promienie krzywizny powierzchni cieczy w dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach (poprzedzamy je znakiem minus, gdy środki krzywizn znajdują się po stronie gazu).

Należy zwrócić uwagę na fakt, że pod wypukłą powierzchnią panuje ciśnienie większe niż w gazowym otoczeniu ($\Delta p > 0$), natomiast pod wklęsłą mniejsze ($\Delta p < 0$). W praktyce często spotykamy powierzchnie kuliste o promieniu r , dla których:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r}$$

Z napięciem powierzchniowym łączy się ściśle zjawisko zwilżania, występujące na granicy faz ciało stałe-ciecz-gaz. Stopień zwilżenia określa się ilościowo za pomocą kąta zwilżania θ . Jest on mierzony przez ciecz i zawarty między powierzchnią ciała stałego a styczną do kropki przechodzącą przez miejsce styku trzech faz (rys.6.).

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{SG} - \sigma_{SC}}{\sigma_{CG}}$$

gdzie: σ – współczynniki napięcia powierzchniowego dla odpowiednich granic faz oznaczonych jako: S – stała, C – ciecz, G – gaz. Wspomniany już przy okazji charakterystyki odnoży nartnika stan superhydrofobowy występuje w ogólności, gdy kąt zwilżania ciała stałego wodą jest większy od 150° . Oznacza to w praktyce prawie całkowity brak zwilżania. W ogólności powierzchnie, dla których $\theta > 90^\circ$ są hydrofobowe, natomiast te charakteryzowane przez $\theta < 90^\circ$ hydrofilowe.

Po 2000 roku w literaturze fachowej coraz częściej można również znaleźć informacje o materiałach superhydrofilowych, cechujących się doskonałą zwilżalnością przez wodę (kąt zwilżania bliski 0°). Wytwarzane są one zazwyczaj w laboratoriach w wyniku sztucznych modyfikacji powierzchni.⁹

⁹ Zainteresowanych powierzchniami superhydrofilowymi odsyłam do pracy: J. Drelich, E. Chibowski, Superhydrophilic and Superwetting Surfaces: Definition and Mechanisms of Control, Langmuir 2010, 26(24), 18621-18623.



Rys. 6. Kąty zwilżania dla kropli wody umieszczonej na podłożach o odmiennych właściwościach.

W kontekście głównego tematu artykułu koniecznie trzeba wyjaśnić jeszcze, dlaczego woda ma tak duże napięcie powierzchniowe (72 mN/m w 25°C) w porównaniu do innych cieczy (oczywiście nie licząc rtęci, którą jako ciekły metal cechuje ogromna wartość $\sigma \approx 485$ mN/m).¹⁰ Odpowiedzialne są za to silniejsze oddziaływania międzycząsteczkowe. Czytelnicy pamiętają już zapewne, że molekuly wody łączą się poprzez wiązania wodorowe i tworzą asocjaty. Cząsteczki H₂O znajdujące się w pobliżu powierzchni, ze względu na sąsiedztwo gazu, nie mogą tworzyć wiązań we wszystkich kierunkach, zatem ich sieć jest zaburzona.

Surfaktanty (środki powierzchniowo czynne), np. powszechnie wykorzystywany w przemyśle kosmetycznym laurylosiarczan sodu (SDS od ang. *sodium dodecyl sulfate*), potrafią istotnie obniżyć napięcie powierzchniowe wody (w temp. pokojowej z 72 mN/m do 39 mN/m). Amfifilowe cząsteczki surfaktantu ustawiają się na granicy faz tak, aby ich część hydrofilowa pozostała w wodzie a hydrofobowa graniczyła z powietrzem. Polarne grupy głowy molekuł surfaktantu tworzą wiązania wodorowe z obecnymi na styku faz cząsteczkami H₂O, co właśnie przyczynia się do obniżenia napięcia powierzchniowego.¹¹

O napięciu powierzchniowym była już mowa na łamach „Fizyki w Szkole” przy okazji omawiania funkcjonowania układu oddechowego.¹² Przypomnijmy tylko, że zgodnie z prawem Laplace’a ciśnienie niezbędne do utrzymania napełnionych pęcherzyków płucnych jest zależne od napięcia powierzchniowego. Zatem gdyby na ich zakrzywionych ściankach znajdowała się jedynie woda, miałyby tendencję do zapadania się. Na szczęście organizm wytwarza dodatkową warstwę surfaktantu, który zmniejsza napięcie powierzchniowe, zapewniając płucom stabilność.

Substancjami powierzchniowo czynnymi w naszym ciele są też sole sodowe kwasów żółciowych, będące produktem zachodzącej w wątrobie wieloetapowej przemiany cholesterolu. Ich cząsteczki mają charakter amfifilowy i w jelicie cienkim działają jak solubilizator. W hydrofo-

bowym wnętrzu tworzonych przez nie miceli mogą być zatem przenoszone substancje lipofilne, które stają się przez to pośrednio rozpuszczalne w wodzie (tylko zewnętrzna, hydrofilowa strona sferycznej miceli kontaktuje się bowiem z H₂O).

Właściwości termodynamiczne wody

Wiązania wodorowe, występujące pomiędzy cząsteczkami H₂O, są również odpowiedzialne za inne charakterystyczne właściwości wody, przede wszystkim jej dużą pojemność cieplną oraz wartości ciepła topnienia i ciepła parowania. Pojemność cieplna, zdefiniowana jako ilość ciepła, jaką trzeba dostarczyć do układu, żeby zwiększyć jego temperaturę o ΔT , jest wielkością ekstensywną (zależy od rozmiarów układu). Dlatego w praktyce posługujemy się pojemnością cieplną właściwą, uwzględniając masę próbki.

Tablicowa wartość ciepła właściwego dla wody w temp. 25°C wynosi 4175,4 J/(kg·K), czyli znacznie więcej niż w przypadku innych cieczy. Energia przekazywana wodzie przy ogrzewaniu zużywana jest nie tylko do zwiększenia średniej energii kinetycznej jej cząsteczek, ale również do zrywania wiązań wodorowych. Co ciekawe, woda morska posiada mniejsze ciepło właściwe niż woda chemicznie czysta. Ma to prawdopodobnie związek z faktem, że w słonej wodzie molekuly H₂O są zaangażowane w tworzenie otoczek hydratacyjnych, a zatem mniejsza ich liczba buduje duże, połączone wiązaniami wodorowymi klastry.

Szacuje się, że blisko 93% ciepła uwięzionego przez antropogeniczne gazy cieplarniane jest pochłaniane przez oceany. Duże zbiorniki wodne stanowią swoiste rezerwuary termiczne. Utrzymują względnie stałą temperaturę, umożliwiając życie organizmów. Duża pojemność cieplna wody ma jednak ogromne znaczenie dla funkcjonowania organizmów nie tylko w skali całych ekosystemów. Jest ona kluczowa nawet dla pojedynczych komórek. Woda zawarta w cytozolu stanowi bowiem ochronę przed nagłymi zmianami temperatury, które mogłyby przyczynić się

¹⁰ Tablicowe wartości σ dla cieczy można znaleźć na stronie: https://www.engineeringtoolbox.com/surface-tension-d_962.html (dostęp z 30.04.2021).

¹¹ Szczegółów o działaniu surfaktantu można dowiedzieć się z artykułu: R. A. Livingstone i inni, Two types of water at the water-surfactant interface revealed by time-resolved vibrational spectroscopy, *J. Am. Chem. Soc.* 137 (2015), s. 14912-14919.

¹² Tomasz Kubiak, Biofizyka układu oddechowego - od teorii do eksperymentu, *Fizyka w Szkole z Astronomią*, nr 1 (2018), s. 4-8

do uszkodzenia błon biologicznych i wewnętrznych struktur komórki. Generalnie to właśnie wodzie zawdzięczamy możliwość utrzymania homeostazy termicznej. Krew, a właściwie jej płynny składnik, czyli złożone w 90% z H_2O osocze, przenosi ciepło w ustroju.

W przypadku wychłodzenia organizmu transport ten odbywa się z kończyn do kluczowych narządów. Natomiast w sytuacji przegrzania zachodzi w kierunku powierzchni skóry. Tam nadmiar ciepła może zostać uwolniony dzięki parowaniu potu. W tym miejscu ujawnia się kolejna właściwość wody. Entalpia parowania (zmiana entalpii jednego mola cząsteczek parującej cieczy):

$$\Delta H_{parow} = H_{para} - H_{ciecz}$$

dla wody w temp. $25^{\circ}C$ jest dodatnia i wynosi $44,01 \text{ kJ/mol}$. Duża wartość wiąże się z koniecznością zrywania wiązań wodorowych przy przejściu cieczy w stan gazowy.

O tym, że parowanie jest procesem endotermicznym, w którym następuje pochłonięcie ciepła, przekonujemy się codziennie, wychodząc spod prysznica. Czujemy wówczas chłód. Podobne dzieje się, gdy stosujemy krem nawilżający zawierający wodę odparowującą po nałożeniu kosmetyku na skórę. Parowanie wydzielanej wraz z potem wody pozwala obniżyć temperaturę skóry (fot.3.), która w konsekwencji będzie mogła dalej odbierać ciepło z krwi. Podczas hipertermii jej przepływ w rozszerzonych naczyniach skóry może wynosić nawet $6 \text{ do } 8 \text{ l/min}$. Dla porównania w spoczynku, w sytuacji komfortu cieplnego wynosi on tylko około 250 ml/min .

Duża ilość przepływającej krwi wymusza oczywiście znaczne zwiększenie rzutu serca (objętości krwi, jaką serce pompuje w ciągu minuty) a zatem częstotliwości jego pracy. Nie zawsze jednak mechanizmy termoregulacji są wystarczające. Ze skutkiem nadmiernego przegrzania organizmu mamy do czynienia w przypadku udaru cieplnego. Wówczas głęboka temperatura ciała (tj. mierzona w jego wnętrzu) przekracza $40^{\circ}C$. Taki stan zagrożenia życia może wystąpić podczas upałów nie tylko u osób starszych, ale również u ludzi podejmujących znaczny wysiłek fizyczny (pracę bądź trening sportowy).

Chociaż dziś wydaje się to absurdalne, w dawnej Polsce nagły zgon osób przebywających podczas upalnego lata na polu tłumaczono napadem tzw. południcy (złośliwego demona atakującego w chwili górowania Słońca na niebie).

Na szczęście współcześnie tego typu zabobony ustąpiły miejsca nauce a całą sytuację można prosto wyjaśnić wystąpieniem udaru cieplnego. Normalnie straty wody w wyniku parowania niewyczuwalnego (z wydychanym powietrzem oraz przez skórę) u dorosłego człowieka charakteryzującego się masą ciała 70 kg wynoszą w ciągu doby $650\text{-}850 \text{ ml}$. Przy wzniesieniu temperatury na każdy stopień powyżej normy tracimy dodatkowo $40\text{-}75 \text{ ml } H_2O$. Wówczas szybko możemy ulec odwodnieniu. Deficyt wody oznacza problemy ze sprawną termoregulacją. Dlatego podczas upałów a także w sytuacji, gdy mamy gorączkę, musimy zawsze pamiętać o prawidłowym nawodnieniu.

Woda, mimo że badana od wielu stuleci, wciąż jeszcze w wielu aspektach stanowi zagadkę dla naukowców.



Fot.3. Woda parując odbiera ciepło z powierzchni skóry.

Poznając jej niezwykle właściwości i znaczenie dla funkcjonowania istot żywych, uświadamiamy sobie, jak trafne jest nazwanie H_2O „cząsteczką życia”.

dr Tomasz Kubiak

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Hipolita Cegielskiego
w Gnieźnie

LITERATURA:

- [1] Je-Sung Koh i inni, Jumping on water: Surface tension – dominated jumping of water striders and robotic insects, *Science*, 349 (6247), 2015, s. 517-521.
- [2] Jing-Ze Ma i inni, Interfacial phenomena of water striders on water surfaces: a review from biology to biomechanics, *Zoological Research* 41(3), 2020, s. 231-246.
- [3] L. Jones, P. Atkins, *Chemia ogólna*, PWN, Warszawa 2006, s. 239-250, 392, 441-448.
- [4] F. Jaroszyk, A. Pilawski, P. Piskunowicz, Stany skupienia materii [w:] *Biofizyka* pod red. F. Jaroszyka, PZWŁ, Warszawa 2008, s. 90-142.
- [5] J. M. Berg, J. L. Tymoczko, L. Stryer, *Biochemia*, PWN, Warszawa 2007, s. 9-14, 29-34.
- [6] A. Karowicz-Bilińska, Woda i jej znaczenie dla organizmu kobiety, *Ginekologia Polska* 2011, 82, s. 455-459.
- [7] J. Mazerski, Woda w układach biologicznych [w:] *Materiały pomocnicze do wykładów z podstaw biofizyki*, Katedra Technologii Leków i Biochemii Politechniki Gdańskiej, <https://chem.pg.edu.pl/documents/175361/28234243/cz1.pdf> (dostęp z 30.04.2021).
- [8] B. Alberts i inni, *Podstawy biologii komórki*, t.1., PWN, Warszawa 2007, s. 68-73.
- [9] M. Chaplin, *Water's Hydrogen Bond Strength [w:] Water and life. The unique properties of H_2O* , pod red. R. M. Lynden-Bell i inni, CRC Press. Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2010, s. 69-86.
- [10] J. D. Eaves i inni, Hydrogen bonds in liquid water are broken only fleetingly, *PNAS* 102(37), 2005, 13019-13022.
- [11] *Tablice fizyczno-astronomiczne* pod red. W. Mizerskiego, Adamantan, Warszawa 2005, s. 72-73, 111-113.
- [12] A. Michajlik, W. Ramotowski, *Anatomia i fizjologia człowieka*, PZWŁ Warszawa 2007, s. 235-236.
- [13] D. Ivanov, S. Nikolov, The anomalous thermal expansion of water, *Phys. Educ.* 55 (2020), 055008.
- [14] P. G. Brewer, E. T. Peltzer, The Molecular Basis for the Heat Capacity and Thermal Expansion of Natural Waters, *Geophysical Research Letters* 46(22), (2019), 13227-13233.
- [15] N. Charkoudian, Skin Blood Flow in Adult Human Thermoregulation: How It Works, When It Does Not, and Why, *Mayo Clin. Proc.* 78 (2003), s. 603-612.

Ciekłe kryształy – niezwykły stan materii

Każdy z nas zna ciekłe kryształy z życia codziennego. Znajdują się w zegarkach cyfrowych, w monitorach komputerów i telewizorach. Te niezwykle materiały zrewolucjonizowały sposób przedstawienia informacji w dzisiejszych czasach, umożliwiając rozwój przemysłu płaskich wyświetlaczy ciekłokrystalicznych.

Kamila Nowicka

Ale czym są ciekłe kryształy? W szkole uczymy się o trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym. W tej klasyfikacji brakuje miejsca na ciekłe kryształy. Nazwa „ciekły kryształ” sugeruje, że jest to stan pomiędzy ciałem stałym a cieczą. Z lekcji fizyki wiemy, że podczas procesu topnienia ciała stałego powstaje zazwyczaj ciecz. Niekiedy jednak proces topnienia może zachodzić w dwóch lub wielu etapach. Stany pośrednie między stanem stałym a ciekłym nazywamy mezofazami – ciekłymi kryształami.

Ciało stałe od ciekłego odróżnimy na podstawie uporządkowania cząsteczek. W ciele stałym cząsteczki zajmują ściśle określone położenie, charakteryzuje je porządek pozycyjny dalekiego zasięgu. Ciecze tego porządku nie wykazują.

Mezofazy charakteryzuje zarówno porządek pozycyjny jak i płynność [1-3]. Jednakże ich uporządkowanie nie jest tak idealne jak w kryształach. Fazę ciekłokrystaliczną mogą tworzyć cząstki o wydłużonym kształcie, tworzące lokalnie orientacyjny porządek wzdłuż pewnego średniego kierunku n , nazywanego direktorem. Gdy cząsteczki są chiralne (różnią się od swego odbicia zwierciadlanego), pojawia się spontaniczne skręcenie orientacji molekular-

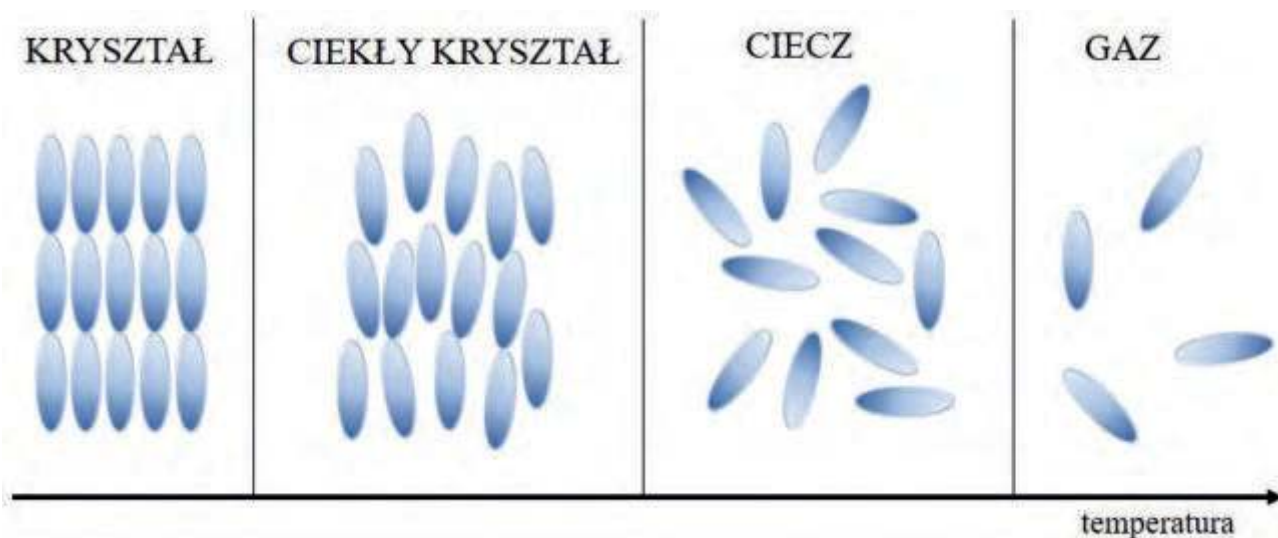
nej. A lokalny porządek orientacyjny może wywoływać frustrację, a zatem występowanie struktur złożonych.

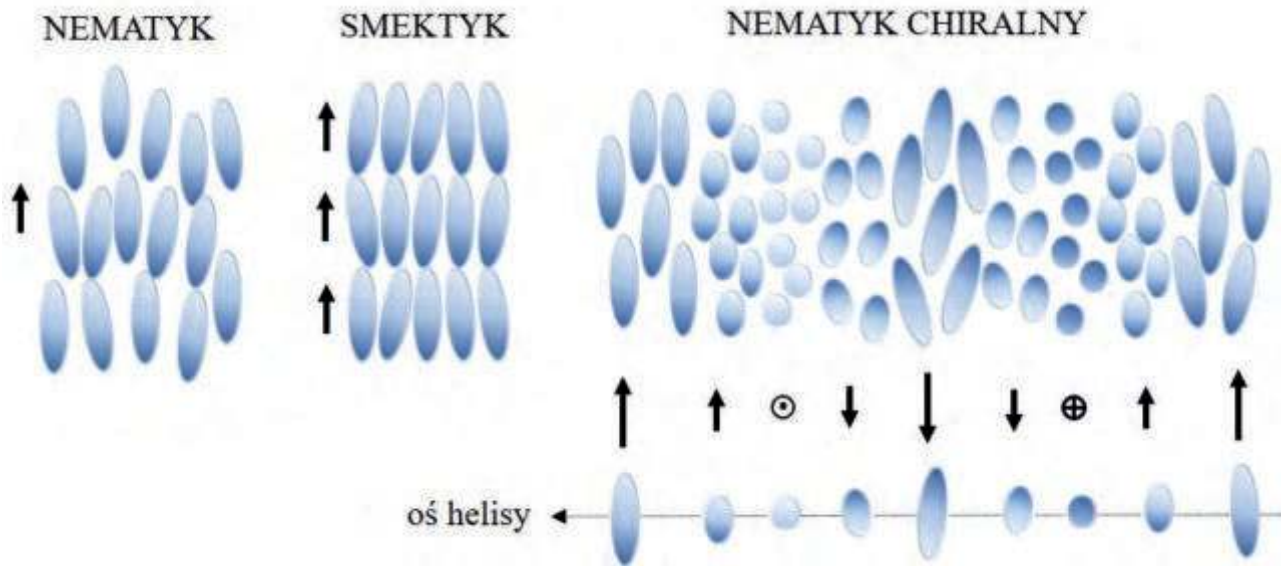
W różnych temperaturach obserwuje się różne uporządkowania, a w klasyfikacji ciekłych kryształów, poza dobrze znanymi fazami jak nematyczna, smektyczna i cholesteryczna, istnieje również oddzielna kategoria, zwana fazami sfrustrowanymi (rys. 1-3).

Fazy ciekłokrystaliczne

Pomiędzy fazą stałą a fazą izotropową (fazą ciekłą) może występować jedna, dwie lub więcej faz ciekłokrystalicznych. W miarę wzrostu temperatury mają one ściśle określoną kolejność pojawiania się, związaną ze spadkiem uporządkowania w następującej po sobie fazach. Sekwencję tę można przedstawić następująco: kryształ – smektyki – nematyk – cholesteryk – faza izotropowa [1-3].

Najprostsze ciekłe kryształy, zwane nematykami, odznaczają się jednowymiarowym porządkiem orientacyjnym. Oznacza to, że tworzą je molekuly, które ustawiają się osiami w wyróżnionym kierunku. Z tego powodu wiele ich własności fizycznych ma charakter anizotropowy tzn. zależny od kierunku obserwacji. Faza smektyczna ma bardziej złożoną budowę. Oprócz uporządkowania orientacyjnego, charakteryzuje się dodatkowo pewnym stopniem uporządkowania pozycyjnego, tworząc strukturę warstwową.



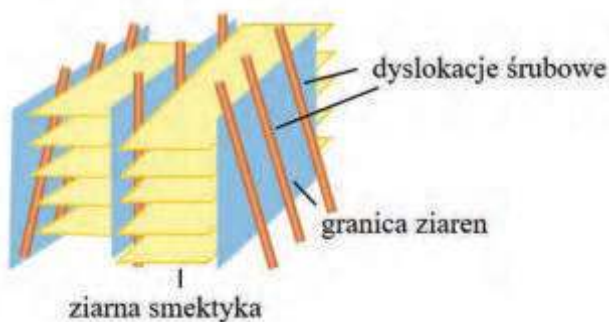


Rysunek 1. Struktury ciekłych kryształów. Strzałka oznacza orientację direktora – średniego kierunku orientacji cząsteczek ciekłego kryształu.

Molekuły w warstwach mogą być mniej lub bardziej uporządkowane i w zależności od sposobu tego uporządkowania wyróżniono kilkanaście rodzajów smektyków (A, B, C, D, E, G...). Jeśli niektóre molekuły w kryształach są chiralne mogą tworzyć struktury śrubowe – chiralne smektyczne ciekłe kryształy. Okres struktur śrubowych bardzo często jest porównywalny z długością fali światła

widzialnego. Cholesteryczne ciekłe kryształy – chiralna faza nematyczna, charakteryzują się tym, że długie osie molekuł leżą w płaszczyznach, w których ustawione są one w przybliżeniu równoległe do siebie. Direktory n są skręcone wzajemnie o niewielki kąt, nadając tej strukturze charakter spiralny tworząc tzw. helisę.

FAZA KRĘCONYCH GRANIC ZIAREN

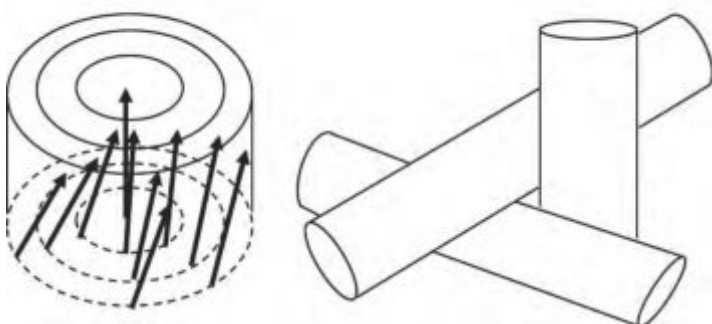


Rysunek 2. Schemat struktury fazy TGB-A. Ziarna smektyka nie muszą mieć struktury smektyka A. Obserwowano również fazy TGB, którym przypisano strukturę pochylonego smektyka C (TGB-C), a nawet chiralnego smektyka C.

Niektóre chiralne smektyczne ciekłe kryształy mogą tworzyć struktury sfrustrowane tzn. fazy skręconych granic ziaren (ang. Twis Grain Boundary phases, TGB). Faza TGB zbudowana jest ze smektycznych ziaren oddzielonych między sobą defektami (dyslokacjami śrubowymi), przy czym warstwy smektyczne w sąsiednich ziarnach są skręcone tworząc makrostrukturę helikoidalną (śrubową) (rys. 2). Istnienie takiej struktury możliwe jest dzięki pojawieniu się wielkiej liczby defektów.

Innego rodzaju frustracje są powodem wystąpienia błękitnych faz (ang. Blue phases, BP). Błękitne fazy (znane są trzy fazy błękitne: BPI, BPII i BPIII) powstają w przypadku silnych oddziaływań chiralnych, które prowadzą do powstania helisy. Skręcenie helisy występuje nie tylko w jednym kierunku, jak na przykład w fazie chiralnego nematyka, ale w dwóch prostopadłych kierunkach tworząc tzw. podwójnie skręcone cylindry. Jednakże rozłożenie cylindrów w strukturze trójwymiarowej jest topologicznie niemożliwe, dlatego pojawiają się linie defektów (rys. 3). Tworzone dysklinacje przechodzą przez punkt zetknięcia się trzech cylindrów, tworząc sieci defektów o określonej symetrii kubicznej [1-3].

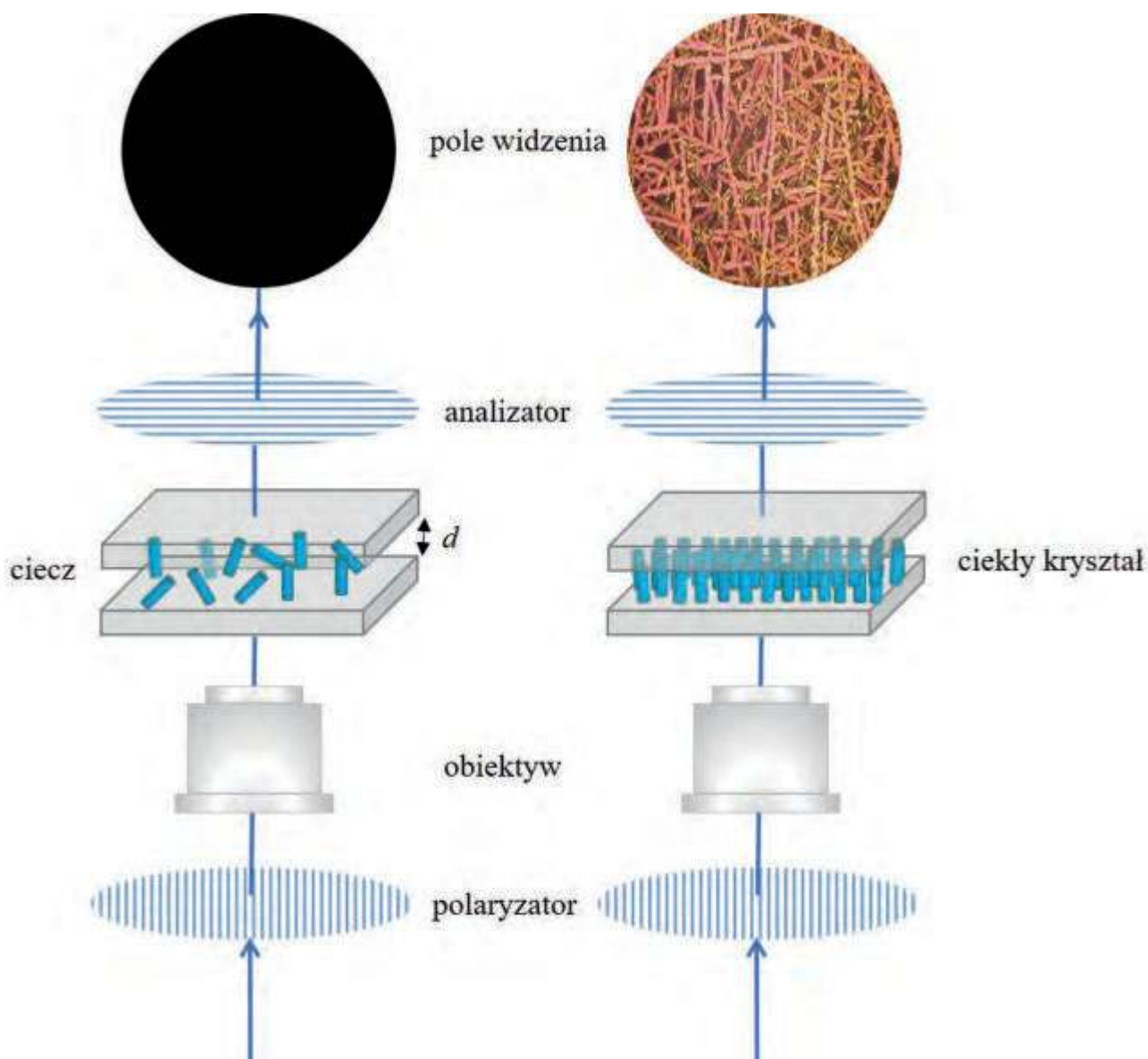
BŁĘKITNA FAZA



Rysunek 3. Model struktury błękitnej fazy BPII.

Tekstury ciekłokrystaliczne

Różne typy struktur ciekłych kryształów są zwykle identyfikowane poprzez obserwację cienkich warstw ciekłokrystalicznych za pomocą polaryzacyjnego mikroskopu optycznego. Fazy ciekłokrystaliczne wykazują anizotropię, czyli zależność własności fizycznych od kierunku. Szczególnie użyteczną jest własność dwójłomności oraz aktywność optyczna w przypadku chiralnych ciekłych kryształów. Obie własności anizotropii powodują, że



Rysunek 4. Schemat układu do obserwacji tekstur.

ciekłe kryształy przejawiają bardzo interesujące zachowanie w świetle spolaryzowanym [1-3].

Głównymi elementami mikroskopu polaryzacyjnego są polaryzator i analizator, których kierunki polaryzacji są wzajemnie prostopadłe (rys.4). Wówczas analizator wygasa całkowicie promień, sam bowiem może przepuszczać tylko drgania zgodnie z kierunkiem jego polaryzacji. Jeżeli badany obiekt jest ciałem izotropowym, to tło pola widzenia mikroskopu jest czarne. Światło, które przeszło przez polaryzator jest spolaryzowane liniowo. Oznacza to, że jego drgania zachodzą tylko w jednej płaszczyźnie. Jeżeli między dwie płytki skrzyżowane ze względu na kierunki polaryzacji wprowadzimy ciało dwójłomne albo ciało skręcające płaszczyznę polaryzacji (czyli ciało optycznie aktywne) to okaże się, że światło, które przeszło przez ciało przejdzie częściowo przez analizator. W polu widzenia mikroskopu obserwuje się wówczas tekstury charakterystyczne dla poszczególnych faz ciekłokrystalicznych. Tekstura oznacza charakterystyczny

sposób ułożenia jednorodnych elementów badanego materiału. Jasność i barwa jednorodnych elementów materiału ciekłokrystalicznego, czyli obszarów o mniej więcej jednakowej orientacji direktora, zależą od kąta, jaki tworzy lokalna oś optyczna (lub direktor) z kierunkiem drgań wektora świetlnego. W przypadku gdy badany materiał umieszczony jest pomiędzy dwoma polaryzatorami, których płaszczyzny polaryzacji są prostopadłe, natężenie przechodzącego światła I opisuje wzór [1, 4]:

$$I = I_0 \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\pi d \cdot \Delta n}{\lambda}$$

W powyższym wzorze I_0 oznacza natężenie światła o długości fali λ padająca na próbkę, α – kąt między kierunkiem drgań polaryzatora a rzutem lokalnej osi optycznej na płaszczyznę próbki o grubości d , Δn – różnicę współczynników załamania promienia nadzwyczajnego i zwyczajnego w kierunku propagacji światła. Przykłady kilku tekstur ciekłokrystalicznych przedstawia rysunek 5.

Podsumowanie

Pomimo, że ciekłe kryształy zostały odkryte ponad 100 lat temu to ciągle jeszcze materiały o intrygujących własnościach fizycznych wywołujące wielkie zainteresowanie fizyków i inżynierów. Stymulują rozwój badań naukowych i technologii.

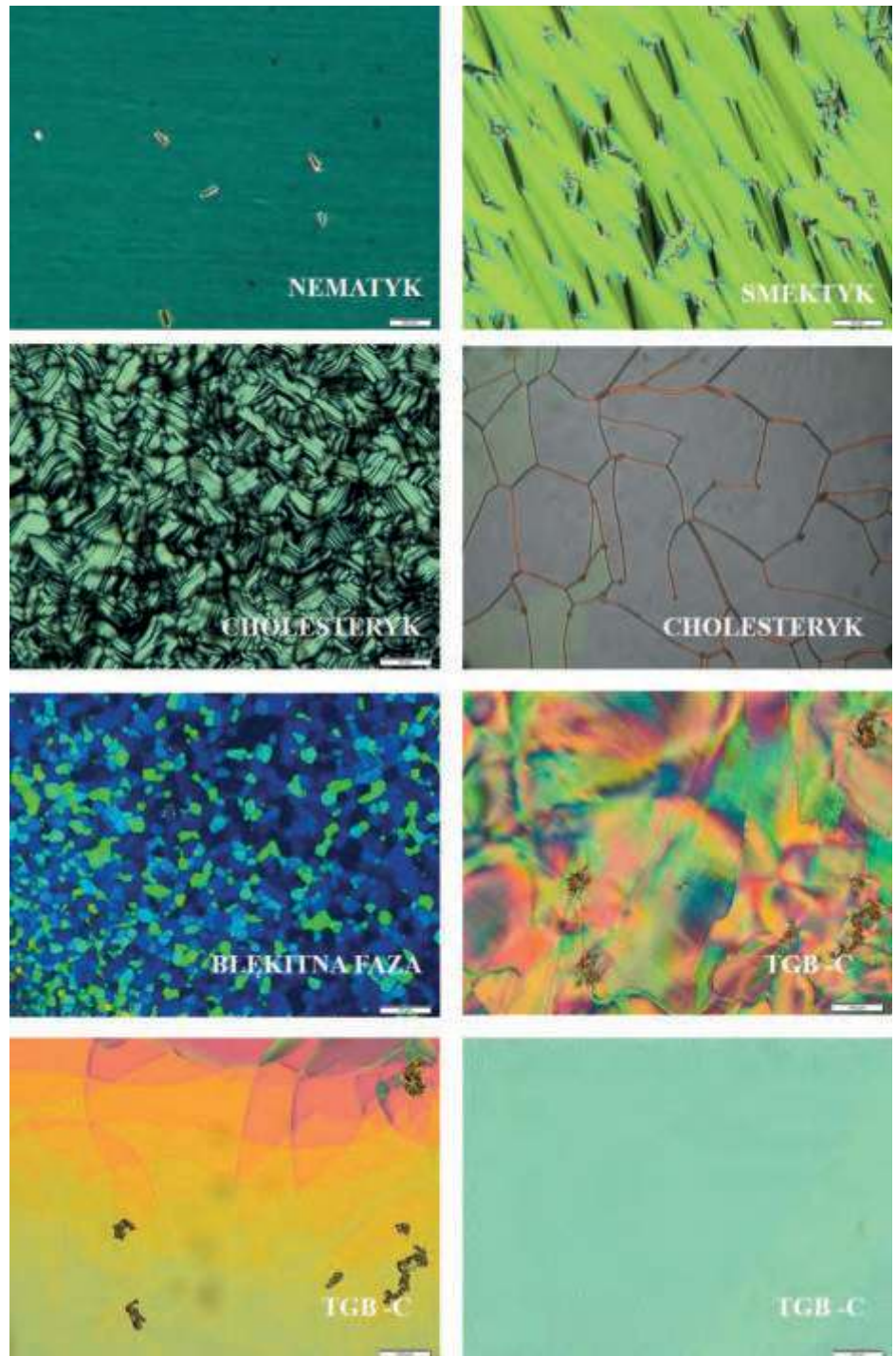
Rosnące wymagania w zakresie technologii wyświetlaczy elektronicznych powoduje nieustanną presję na poszukiwania i badania nowych materiałów nadających się do wykorzystania w zaawansowanych technologicznie wyświetlaczach. Dziś użytkownicy oczekują urządzeń o wysokim kontraście, lepszym odwzorowaniu kolorów, większych rozmiarach i kątach widzenia.

Kluczowymi wyzwaniem w poprawie jakości wyświetlaczy ciekłokrystalicznych przyszłej generacji są, rozwinięcie nowych ciekłokrystalicznych materiałów z szybką odpowiedzią elektro-optyczną oraz uproszczonym procesem produkcji urządzeń. W odpowiedzi na te wymagania proponuje się wykorzystanie faz sfrustrowanych takich jak na przykład błękitna faza [5-6]. Jest to idealny kandydat do zastosowań w wyświetlaczach ciekłokrystalicznych przyszłej generacji, ponieważ po pierwsze daje możliwość poprawy jakości a po drugie obniżenie kosztów ich wytwarzania. Związane jest to z tym, że fazy te, nad zazwyczaj wykorzystywanymi w wyświetlaczach ciekłokrystalicznych fazami nematycznymi, mają dwie znaczące zalety, są optycznie izotropowe (nie wymagają warstw orientujących, oznacza to obniżenie kosztów produkcji) i wykazują szybki czas reakcji (10-100 μ s) [7-8].

W maju 2008 roku Samsung Electronics ogłosił, że opracował pierwszy na świecie wyświetlacz ciekłokrystaliczny na stabilizowanej polimerem błękitnej fazie, który może pracować z niespotykaną dotychczas częstotliwością odświeżania 240 Hz!

Współpraca uczonych i techników prowadzi do pojawienia się nowych zastosowań i otwiera bramę do nowych odkryć w fizyce ciekłych kryształów.

dr Kamila Nowicka



Rysunek 5. Przykładowe tekstury faz ciekłokrystalicznych.

LITERATURA

- [1] W. Kuczyński, *Przemiany Fazowe Tom II*, Ośrodek Wydawnictw Naukowych, Poznań (2003).
- [2] A. Adamczyk, *Niezwykły stan materii – ciekłe kryształy*, Wiedza Powszechna, Warszawa (1981).
- [3] I. Dierking, *Textures of Liquid Crystals*, Wiley – VCH Verlag (2003).
- [4] K. Nowicka, W. Kuczyński, *Liquid Crystals*, 46 (2018) 977.
- [5] D. C. Wright, N. D. Mermin, *Rev. Mod. Phys.*, 61 (1989) 385.
- [6] T. Seideman, *Rep. Prog. Phys.*, 53 (1990) 659.
- [7] A. Rahman et. al., *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 16 (2015) 033501.
- [8] A. Yoshizawa, *RSC Adv.*, 3 (2013) 25475.

Teoria chaosu

Teoria chaosu, przez swoją intrygującą nazwę, budzi zainteresowanie wśród wielu osób, również nie zajmujących się nauką. Za tą nazwą kryje się jednak stwierdzenie, że pewne układy dynamiczne, charakteryzuje bardzo duża wrażliwość na zmiany parametrów, które sprawiają, że układ staje się nieprzewidywalny.

Cyprian Sobczak

Nie jest tajemnicą, że pewne układy są na tyle skomplikowane, że ciężko się je bada, zaskakujące jest jednak, że istnieją układy opisane bardzo prostymi równaniami, dla których niewielka zmiana warunków początkowych, generuje ogromne różnice w wynikach. Artykuł ma na celu przedstawienie ogólnych idei teorii chaosu oraz zwrócenie uwagi na znaczenie dokładności pomiaru przy próbach przewidywania zachowań układów dynamicznych.

Wprowadzenie

Chaos jest pierwszym, co przychodzi nam do głowy, gdy szukamy kluczy w bałaganie, śpiesząc się do wyjścia lub gdy patrzymy z wysokości na tłum ludzi pędzących w pogoni za swoją codziennością. Potoczna interpretacja tego terminu, wiąże go z rozległym nieporządkiem, który ciężko opanować i poniekąd jest ona trafna również w rozumieniu naukowym. Ściśle rzecz biorąc naukowcy definiują chaos, w odniesieniu do układów dynamicznych, które pomimo deterministycznej natury, okazują się być nieprzewidywalne, za sprawą wrażliwości na warunki początkowe.

Deterministyczna natura układu oznacza, że jest on opisywany równaniami mechaniki klasycznej, jak na przykład piłka rzucona w powietrze, jadący samochód czy wahadło starego zegara, wykonujące monotony ruch harmoniczny. Wydawać by się mogło, że układy determi-

nistyczne, cechuje pełna przewidywalność: jeżeli coś się wydarzyło, to miało swoją przyczynę, jeżeli znalazłbyśmy przyczynę to wywnioskowalibyśmy skutek.

Takie rozumowanie, nierozzerwalnie wiąże się z postacią wielkiego francuskiego uczonego Pierre Laplace'a, który dla zobrazowania swoich poglądów, stworzył koncepcję istnienia pewnego bytu. Owa wymaginowana istota, nosi miano demona Laplace'a, a wyróżniającą ją cechą, jest wiedza o wszelkich siłach, prędkościach i położeniach, wymaganych do policzenia ruchu dowolnego obiektu. Laplace'a zakładał, że dzięki takiej wiedzy w danym momencie i znajomości odpowiednich równań, można poznać przyszłość każdego obiektu.

Pogląd ten, był dość popularny dla ludzi żyjących w oświeceniu, choć ujmowany mniej obrazowo. Wynikał z pewnością, z cudu jakim okazały się być równania mechaniki. Przed Newtonem, Lagrangiem, Laplace'm i kilkoma innymi wybitnymi postaciami, niemal wszystko co dziś opisuje fizyka, było uważane za magię. Planety trzymały się orbit za sprawą aniołów, ruch ze stałą prędkością wymagał ciągłego działania siły, a przedmioty spadały na ziemię za sprawą złośliwych skrzatów ciągnących je w dół. Wielu ludzi sądziło, że skoro nagle pojawił się sposób, na wyjaśnienie tych czarów przyrody, to z pewnością można już nad nią zapanować.

Jednak jak to często bywa, sprawa okazała się nie być taka prosta, i chociaż w wyidealizowanym świecie matematycznym, zdefiniowanie warunków początkowych,

wystarcza do prowadzenia przewidywań, to świat rzeczywisty wymaga dokonania rzeczywistych pomiaru.

Problem pomiaru

Problemy z otrzymaniem wiarygodnego wyniku pomiaru, są bezsprzecznie kluczowym elementem wszystkich badań naukowych, jak i funkcjonowania w życiu codziennym. Kiedy staramy się wybrać nową szafkę do kuchni, bierzemy metrówkę i mierzymy jej wymiary. Jeżeli jesteśmy rozważni, to zawsze przyjmujemy pewną niepewność pomiaru, czyli poprawkę na to, że nasza metrówka nie jest dokładna, że ściany szafki mogą być lekko pochylone, lub że zwyczajnie nie jesteśmy w stanie przy pomocy oka odczytać wyniku, z dowolną dokładnością po przecinku.

Naukowcy działają dokładnie w ten sam sposób podczas wykonywania pomiarów, zakładając niedoskonałość narzędzi jakimi się posługują oraz starając się jak najbardziej zbliżyć do wartości dokładnej, jeżeli taka istnieje.

To czy istnieje coś takiego jak wartość dokładna, stanowi bardzo głęboki problem w teorii pomiaru. Nie jest to bynajmniej sposób na usprawiedliwianie trudności z dokonywaniem pewnych pomiarów, po prostu są rzeczy, których zmierzyć dokładnie nie można, jak na przykład równoczesny pomiar pędu i położenia elektronu.

W przypadku dopasowania szafki w przeznaczony dla niej miejsce, niepewność pomiaru którą przyjmujemy, jest nieporównywalnie większa, niż ta narzucana przez zasadę nieoznaczoności, a cały układ jest statyczny i pomyłka nie grozi katastrofą. Istnieją jednak układy, w których najmniejsza różnica stanu początkowego, ma ogromny wpływ na to, jak układ ten będzie się zachowywał w przyszłości.

Wyobraźmy sobie szklaną kulkę, postawioną na zapalce. Wiemy, że jeśli odpowiednio określimy środek ciężkości kulki i postawimy ją na zapalce w taki sposób, aby jej momenty siły się zniosły, to pozostanie ona w stanie równowagi. Jeśli jednak nasze oszacowanie, będzie chociaż odrobinę błędne, to kulka stoczy się z zapalaki i z pewnością, złośliwie dla nas, nowe położenie równowagi znajdzie w miejscu, z którego ciężko będzie ją wyjąć.

Chaos wisiał w powietrzu

Już Maxwell, zwracał uwagę na to, że bardzo mała zmiana w pewnych układach, może mocno wpłynąć na różnice w efekcie i z pewnością nie był w tym sam. Uwaga, że pewne układy są tak skomplikowane, że nie potrafimy w prosty sposób ocenić, jak będą się zachowywać, nie jest niczym odkrywczym. Tym co jest zdumiewające w teorii chaosu, to fakt, że układy które na pierwszy rzut oka wydają się być proste w opisie, mogą okazać się być nierozwiązywalne, lub bardzo trudne do rozwiązania.

Do takich problemów należy chociażby zagadnienie trzech ciał, które uporządkował w XIX wieku przez Poincarégo. Problem ten polegał na opisanu w sposób ogólny, zachowania się trzech punktów, krążących wokół jednego środka masy, przy założeniu dowolnych wartości mas. Dzięki pracy nad tym zagadnieniem Poincaré wygrał konkurs, zorganizowany przez króla Norwegii Oskara II, z okazji swoich 60 urodzin.

Poincaré nie rozwiązał problemu do końca, jednak wydawało się, że dokonał przełomu. Szybko jednak zorientował się, że popełnił błąd i rozwiązanie tego zagadnienia jest poza jego zasięgiem. Rozwiązania Poincaré, zawierały w sobie pewną niestabilność, a próby narysowania otrzymanych trajektorii okazały się niemożliwe. Dziś wiemy, że nie istnieje analityczne rozwiązanie ogólne ruchu trzech ciał, a z tym fundamentalnym dla modelowania zachowania się obiektów w kosmosie problemem, radzimy sobie w sposób numeryczny [2,3].

Narodziny Chaosu

Teoria chaosu wzięła się z przypadku. Za sprawą meteorologa Edwarda Lorenza, który pasjonował się matematyką. Lorenz miał za zadanie stworzyć model opisujący pogodę, jednak jego możliwości były mocno okrojone, ze względu na złożoność problemu i brak odpowiedniej technologii. Był to rok 1961 i odpowiednikiem ekranu komputera prezentującego wykres, był kawałek papieru, drukowany przez maszynę, na którym pojawiały się różne sekwencje spacji i litery „a”. Nie był to zbyt wygodny sposób prowadzenia obliczeń, a dodatkowo sprawę komplikowała niska wydajność komputera.

Pewnego dnia Lorenz chcąc wykonać dłuższy pomiar, postanowił skorzystać z otrzymanych wcześniej wyników, uzyskanych dla tych samych parametrów. U uruchomił więc swój program z wartością początkową, zawierającą się we fragmencie otrzymanych już wyników. Rozumowanie to wydaje się jak najbardziej poprawne, jeśli komputer dla pewnych parametrów doliczył coś do jakiegoś miejsca, to uruchamiając obliczenia od tego miejsca, wszystko powinno nadal zachowywać spójność. Tak się jednak nie stało.

Wyniki, które otrzymał Lorenz, różniły się od tych z poprzednich obliczeń, tak jakby nagle zaczęto liczyć coś innego, a im dłużej trwały obliczenia tym bardziej wyniki odbiegały od początkowej tendencji. Lorenz szybko zrozumiał w czym leży problem. Okazało się, że jego komputer przechowywał w pamięci 6 liczb po przecinku, a jako wynik podawał tylko 3. Lorenz wyznaczył więc warunki początkowe z dokładnością do 3 liczb po przecinku, zamiast do 6 i ta niewielka różnica okazała się mieć ogromne znaczenie dla równań, które wykazywały wielką czułość na zmiany w parametrach.

Praca Lorenza, będąca narodzinami teorii chaosu rozeszła się jednak bez echa i została zapomniana na wiele lat. Prawdopodobnie wynika to z faktu, że ukazała się w periodyku meteorologicznym, do którego nie zaglądali zbyt często matematycy i fizycy [1].

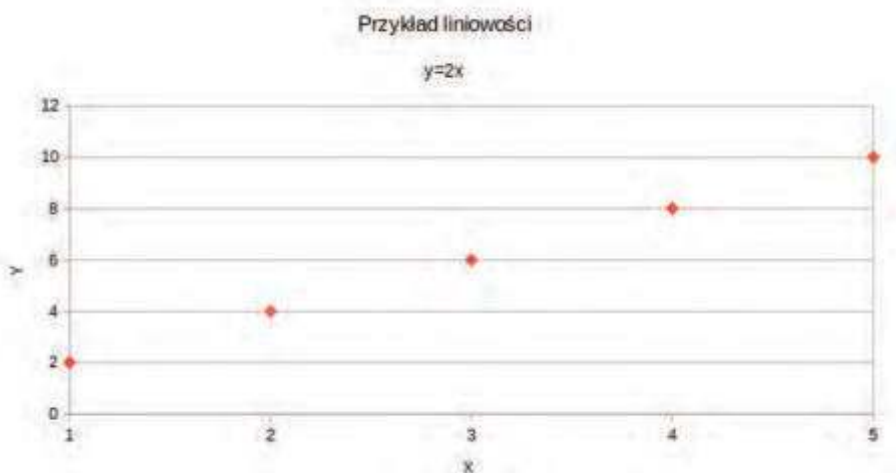
Znaczenie nieliniowości

Układ równań różniczkowych badany przez Lorentza, wyglądał dość niewinnie jednak okazuje się on być układem nieliniowym, co bardzo komplikuje sposób jego rozwiązania, sposobem innym niż metody numeryczne [1].

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \sigma(y - x) \\ \frac{dy}{dt} = x(r - z) - y \\ \frac{dz}{dt} = xy - bz \end{cases}$$

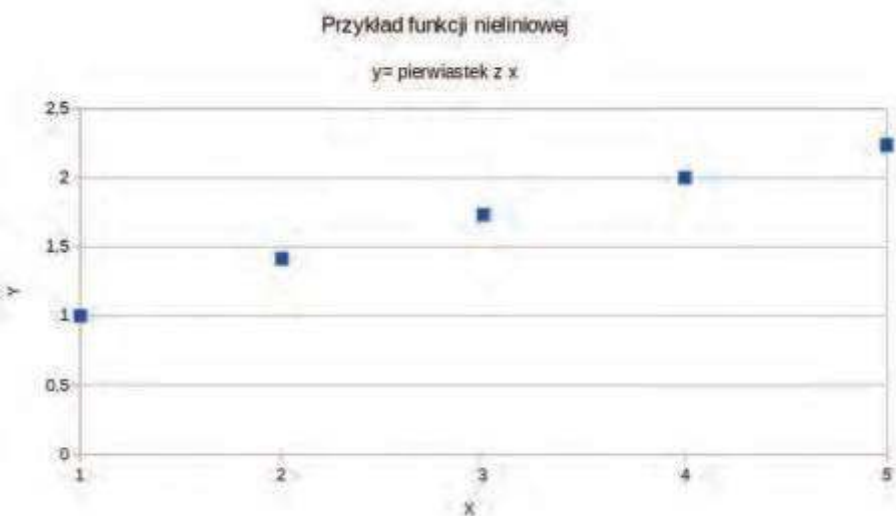
Układ Lorenza opisujący zjawisko konwekcji w atmosferze, gdzie σ to stała charakteryzująca lepkość ośrodka, r stała charakteryzująca przewodnictwo ciepła, a b rozmiar badanego obszaru. Przy pewnym doborze stałych układ traci stabilność.

Nieliniowość jest częstym towarzyszem równań, które opisują układy chaotyczne, chociaż literatura wskazuje również na pewne wyjątki [5]. Najłatwiej zrozumieć czym jest liniowość na przykładzie prostej. Wykres funkcji liniowej jest czymś przyjemnym dla oka i bez problemu jesteśmy w stanie przewidzieć położenie kolejnych punktów do niego należących.



Rys. 1. Przykład rozłożenia wybranych punktów na funkcji liniowej $y = 2x$. Patrząc na punkty od razu zauważamy tendencje ich rozmieszczenia i z łatwością potrafimy odgadnąć, gdzie będzie następny punkt.

Funkcje nieliniowe są dla nas z kolei mało intuicyjne i często niełatwo nam przewidzieć położenie kolejnych punktów na wykresie.



Rys. 2. Przykład rozłożenia wybranych punktów na wykresie funkcji pierwiastek z x . Rozmieszczenie punktów w tym przypadku nie jest dla nas rzeczą oczywistą.

Nieprzyjemną cechą nieliniowości jest to, że suma rozwiązań funkcji nie składa się, na kolejne wyniki. Tzn. dla funkcji liniowej z rysunku jeden, zachodzi:

$$f(1)=2, f(2)=4, f(3)=6 \Rightarrow f(1+2)=f(1)+f(2),$$

Zapisane powyżej wyrażenie, nie wynika z przypadkowego doboru liczb, jest to jedna z ogólnych własności układów liniowych, których układy nieliniowe nie posiadają.

Nieliniowość tworzy zamęt w naszych głowach, czyniąc zachowanie pewnych obiektów, nieuchwytnym dla naszej wyobraźni, jeżeli nie poświęcimy im odrobiny czasu i uwagi.

Równanie Logistyczne

Jeden z najprostszych układów chaotycznych, wyraża się za pomocą ciągu rekurencyjnego¹ o wzorze przypominającym funkcję kwadratową:

$$X_{n+1} = aX_n(1-X_n)$$

Równanie to nazywa się logistycznym i służy do opisu rozrostu populacji organizmów w ekosystemie (na przykład owadów) [3,4].

Oznaczenia w powyższym równaniu są następujące: X wartość populacji w danym momencie, wyskalowaną tak aby mieścić się w przedziale $\langle 0,1 \rangle$, natomiast „ a ” jest pewnym stałym parametrem, który odpowiada, żywotności populacji owadów.

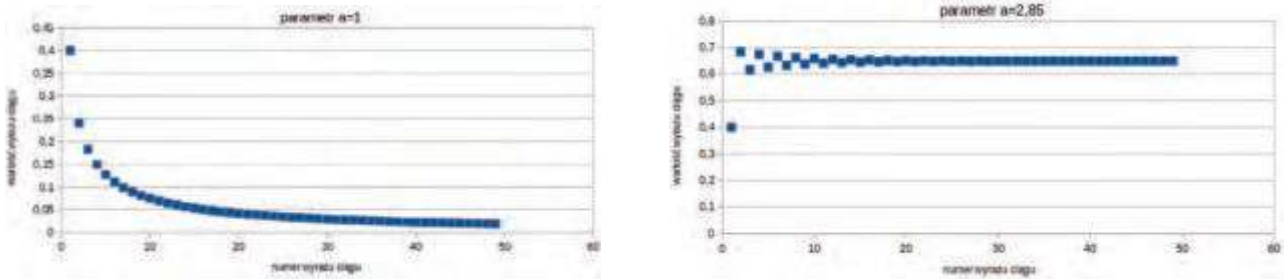
W przypadku $a=1$ populacja dąży do pewnej liczebności i na niej się stabilizuje, gdy $a < 1$, populacja ginie, za to gdy $a > 1$ populacja roznosi się bez ograniczeń. Widać, że opis tego modelu, jest bardzo prosty jednak, kiedy zaczniemy rozważać różne wartości parametru, zaczynają dziać się dziwne rzeczy. Przyjrzyjmy się 50 cyklom (wyrazom ciągu), z różnymi wartościami parametru „ a ”, dla początkowej liczebności populacji wyrażonej współczynnikiem $x=0,4$.

Początkowo, różnice podczas podnoszenia wartości parametru „ a ”, nie są specjalnie spektakularne. Różnica pomiędzy $a=1$, i $a=2,85$ jest zdecydowanie zauważalna, chociaż to wciąż nic specjalnego. Jednak im bardziej zbliżamy się do wartości $a=4$ tym bardziej wkraczamy na ścieżki chaosu.

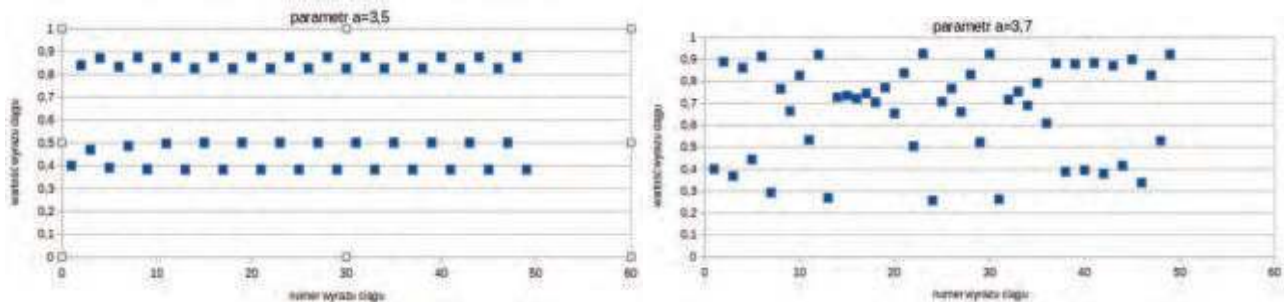
Na wykresie dla $a=3,5$ widzimy charakterystyczne przejawy porządkowania się, które pojawiają się spontanicznie dla pewnych wartości „ a ”. Widać, że rozkład punktów na wykresie dla $a=3,7$ jest znacznie słabiej uporządkowany od poprzednich wykresów i coraz trudniej wskazać, gdzie umieścić następny punkt.

W końcu dochodzimy do momentu, w którym zmiana parametru „ a ”

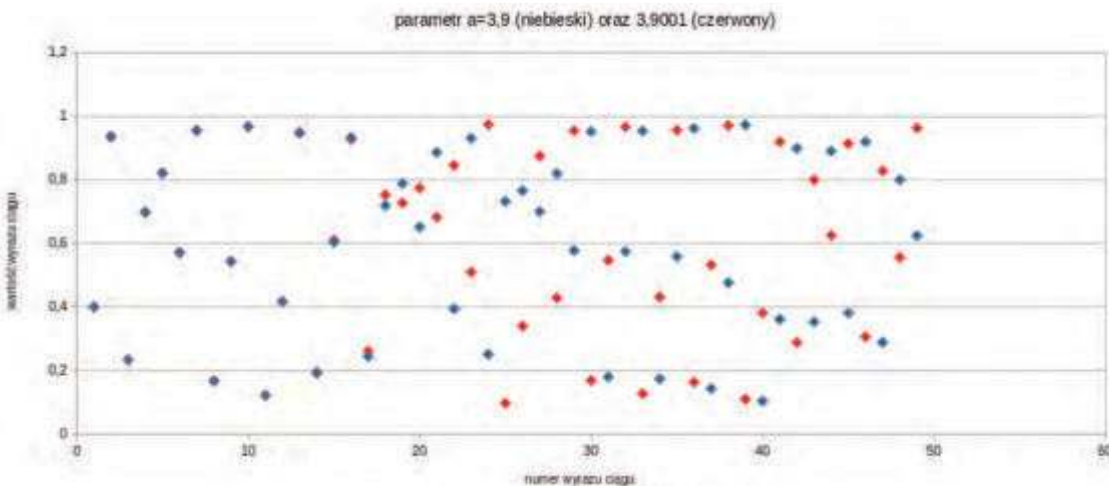
¹ Ciąg rekurencyjny, to taki w którym, każdy kolejny wyraz zależy od poprzedniego.



Rys. 3. Przedstawia rozkład 50 punktowy wygenerowanych dla równia logistycznego o liczebności x wyrażonej współczynnikiem 0.4, oraz stałą $a=1$ (po lewej) i $a=2,85$ (po prawej).

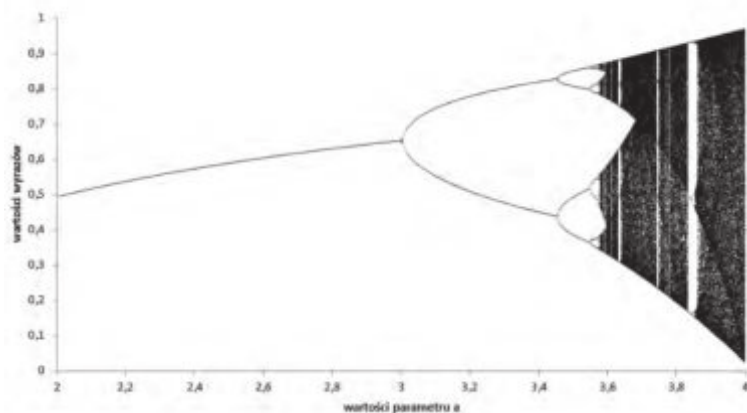


Rys. 4. Przedstawia rozkład 50 punktowy wygenerowanych dla równia logistycznego o liczebności x wyrażonej współczynnikiem 0.4, oraz stałą $a=3.5$ (po lewej) i $a=3.7$ (po prawej).



Rys. 5. Zestawienie rozkładu punktów otrzymanych z równania logistycznego dla stałej $a=3,9$ i $a=3,9001$.

na czwartym miejscu po przecinku, generuje znaczącą zmianę, która wraz ze wzrostem ilości wyrazów, będzie coraz bardziej widoczna. Na wykresie powyżej, który jest zestawieniem dla $a=3,9$ (niebieskie punkty), oraz $a=3,9001$ (czerwone punkty), widać, jak ta niewielka zmiana, na początku nie odgrywa istotnej roli dla kilkunastu pierwszych punktów, które się pokrywają. Po tych kilkunastu krokach, zaczynają się jednak klarować odstępstwa, które narastają i będą narastać coraz bardziej. Jeżeli nałożymy na siebie wszystkie wykresy otrzymane dla wartości „ a ” w przedziale $\langle 2,4 \rangle$, otrzymamy wykres równania logistycznego (drzewko bifurkacyjne):



Rys. 6. Zestawienie rozkładu punktów generowanych dla równania logistycznego z wartościami stałej a w przedziale $\langle 2,4 \rangle$.

Inne przykłady układów chaotycznych

Przykładów pojawiania się chaosu w naszym otoczeniu, jest całe mnóstwo. Chociażby podczas powolnego odkręcania wody w kranie, możemy obserwować początkowo jednolity, laminarny przepływ wody. Wraz ze zwiększaniem ilości płynącej wody, strumień zaczyna się chwiać, staje się wówczas turbulentny i nieprzewidywalny, co jakiś czas przesuwał się i zmieniając swój kształt.

Podobnie w przypadku dymu unoszącego się nad świeczki, podczas jej zgaszenia.

Początkowo dym unosi się do góry, w gładkiej strudze, aż na pewnej wysokości, zaczyna się kłębić, związać i rozpraszać. Oba te zjawiska wynikają z turbulencji, którą przewiduje nieliniowe równanie Naviera-Stokesa.

Układ chaotyczny stanowi także podwójne wahadło matematyczne, którego rzeczywistym odpowiednikiem jest obciążony dźwиг z dwuczłonowym hakiem.

Chociaż w przypadku żurawi budowlanych, efekty chaotyczne nie ujawniają się szczególnie drastycznie, to wciąż zmiana masy lub wysokości podnoszonego obiektu istotnie wpływa na sposób kołysania się obciążenia. Zachęcam czytelnika, do znalezienia w Internecie symulatora, wahadła podwójnego i przekonania się na własne oczy jak wrażliwy jest to układ.

Chaotyczny jest oczywiście również wszechświat, z którego w pewnym momencie może nadlecieć jakaś masa, która zaburzy stabilność Układu Słonecznego. Ale czy układ słoneczny jest stabilny?

Nawet położenia ciał niebieskich takich jak Pluton i Neptun (których orbity się krzyżują) mogą w przyszłości nieoczekiwanie ulec zmianie. Innym przykładem z naszego kosmicznego podwórka, jest księżyc saturna Hyperion, przypominający wyglądem ziemiaka.

Hyperion ze względu na swój kształt, okrąży Saturna, niezdarnie koziółkując wokół swojego środka masy w bardzo nieprzewidywalny sposób.

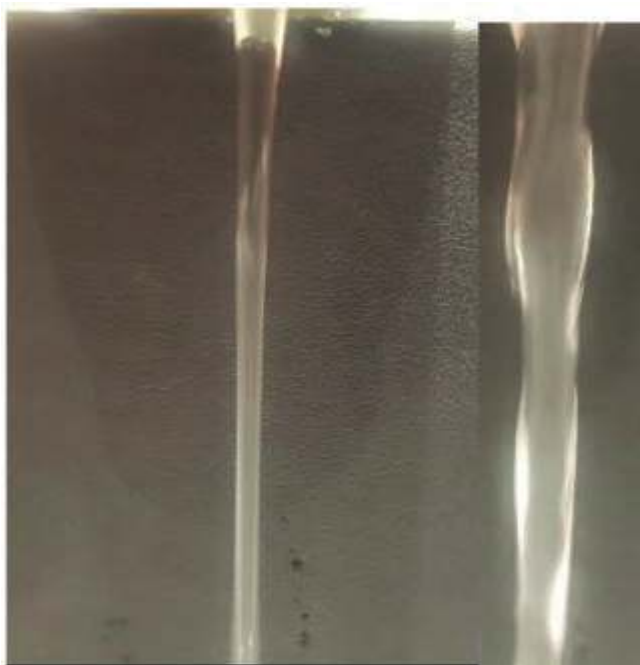
Oznacza to, że w zależności od miejsca na Hyperionie, w którym znalazłby się obserwator, czas, przez który mógłby obserwować Saturna, byłby inny każdego hyperionowego „dnia”.

Takich mniej lub bardziej skomplikowanych przykładów, można by podać jeszcze wiele, ale wśród wymienionych nie może zabraknąć niezwykle intrygującego, czyli chaosu w nas samych. Okazuje się bowiem, że nawet w nas samych tkwi chaos, ale tylko kiedy jesteśmy zdrowi. EKG i EEG osób zdrowych wykazuje chaotyczne zachowanie, natomiast stabilizuje się wraz z wiekiem i natywnymi chorobami [1,3].

Dokąd dąży Chaos

Walka z chaosem trwa w najlepsze i rozgrywana jest głównie przez matematyków. Prób okiełznania jego opisu dokonuje się przy użyciu algebry, topologii, analizy matematycznej i wciąż jest to sprawa bardzo kłopotliwa. Wydaje się, że pewien sukces w określaniu chaotyczności układów, opiera się na wielkości zwanej wykładnikiem Hursta, pozwalającej określić charakter układów, na których można go zdefiniować [3].

Jednak zamiast zamęczać się abstrakcyjnymi wyjaśnieniami, możemy (z jak sądzę dużą dozą przyjemności) zobaczyć na własne oczy efekty chaosu. Równania kryjące w sobie chaos przy odpowiednich dobranych współczynnikach, często da się narysować przy pomocy komputera (tak jak w przypadku drzewka bifurkacji).



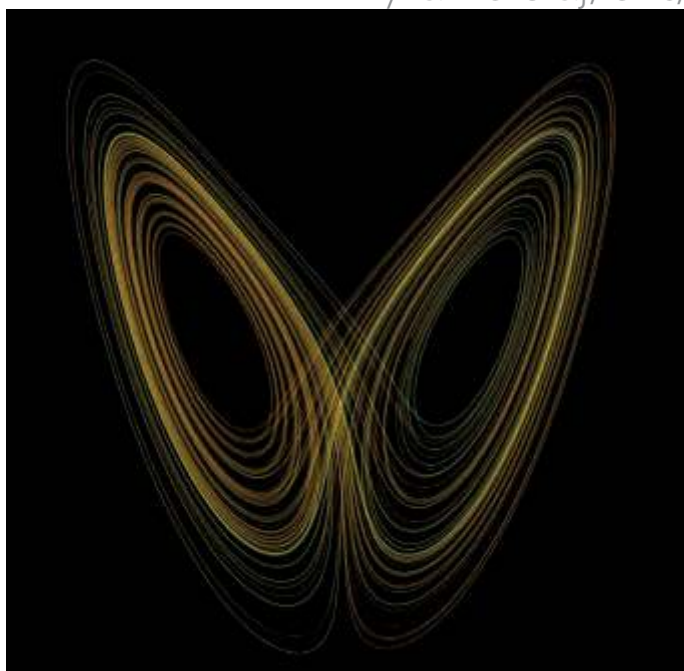
Rys. 7. Po lewej zdjęciu przedstawiają strumień wody płynącej z kranu. Po lewej strumień przepływa laminarnie, w spójnej strudze, obok na fotografii widać przepływ turbulentny, strumień jest niestabilny i zmienia swój kształt w nieprzewidywalny sposób. Po prawej. Dym unoszący się z gaszonego kawałka drewna. Początkowo, dym unosi się w jednolitej strudze, która wraz z unoszeniem się zmienia kształt i zaczyna się rozmywać w powietrzu.



Rys. 8. Dźwиг, który do końcowej części haka, ma doczepiony łańcuch z kolejnym hakiem. Źródło obrazka dźwigu: https://pl.wikipedia.org/wiki/%C5%BBuraw_wie%C5%BCowy#/media/Plik:%C5%BBuraw_%C5%BBB_75_100.jpg



Rys. 9. Zdjęcie przedstawiające Hyperiona. Źródło obrazka: [https://pl.wikipedia.org/wiki/Hyperion_\(księżyc\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/Hyperion_(księżyc))



Rys. 10. Przedstawia wykres rozwiązania równań Lorenza dla parametrów: $r=28$, $\sigma=10$, $b=8/3$. Źródło obrazka: https://pl.wikipedia.org/wiki/UK%C5%82ad_Lorenza#/media/Plik:Lorenz_attractor_yb.svg

Okazuje się, że wykresy takich układów mają pewną ciekawą właściwość, otóż linia tworząca taki wykres nigdzie się nie przecina i nieustannie odtwarza pewien kształt charakterystyczny dla danego układu.

Wykresy funkcji o charakterze chaotycznym noszą nazwę atraktorów dziwnych. Samo określenie atraktor określa granice, w której spotykają się trajektorie (lub linie wykresu). Przykładem takiego atraktora może być duża wanna, do której wrzuca się garść niewielkich kuleczek. Kulki będą podążać różnymi trajektoriami, ale ostatecznie i tak wszystkie będą dążyć do jednej, którą jest odpływ.

W przypadku atraktorów dziwnych, granice taką stanowią fraktal, czyli pewien skomplikowany twór geometryczny, który odtwarza się w nieskończoność. Przyjrzyjmy się dla przykładu wykresowi atraktora Lorentza, ze współczynnikami równymi: $r=28$, $\sigma=10$, $b=8/3$



Rys. 11. Wykres atraktora Henona. Źródło obrazka: https://pl.wikipedia.org/wiki/UK%C5%82ad_Henona#/media/Plik:Henon_attractor.png

Ten przypominający kształtem motyla symbol chaosu, znalazł też swoje odbicie w kulturze masowej, pod nazwą efektu motyla, którego nazwa również pochodzi od Lorenza i została stworzona na potrzeby jednego z jego wykładów. Efekt motyla to przedstawienie działania chaosu, za pomocą stwierdzenia, że trzepot skrzydeł motyla na jednym końcu świata potrafi wywołać tornado na innym jego końcu. Jest to oczywiście hiperbolizacja i nie jest to możliwe, tym nie mniej pomaga uzmysłowić sobie to wszystko, co zostało omówione we wcześniejszej części artykułu.

Wracając do atraktorów dziwnych jest ich oczywiście więcej, jak wspomniane już drzewko bifurkacji, czy atraktor Henona-Helisa, powstały przy próbie opisu zachowania gromad gwiazd, który zakończy nasz drobny przegląd [1].:

Podsumowanie

Czy warto badać chaos? Oczywiście, że tak, podobnie jak wszystko czego nie rozumiemy i nie znamy, ponieważ poznanie otwiera nam nowe drogi i możliwości. Dotychczasowe badania pokazały, że często cenną informacją jest to, czy układ jest chaotyczny, czy jedynie taki „udaje” ze względu na swoją złożoność, a rozwój teorii chaosu pozwala nam to łatwiej oceniać. Najważniejszym wnioskiem płynącym z badania chaosu, jest to, że nieważne jak doskonale będziemy mieć komputery i metody matematyczne, to i tak ze względu na niedoskonałość pomiarów, pewnych rzeczy nie będziemy mogli dokładnie przewidywać.

LITERATURA.

- [1] Gleick J. – „Chaos. Narodziny nowej nauki”.
- [2] Carlos Madrid, „Motyl i tornado. Teoria chaosu i zmian klimatycznych”, seria „Świat jest matematyczny tom 29, 2012.
- [3] Michał Tempczyk, „Teoria chaosu dla odważnych”, PWN, Warszawa 2012.
- [4] Edgar E. Peters, „Teoria Chaosu a rynki kapitałowe”, WIGPRESS, Warszawa 1997.
- [5] Rocznik Polskiego Towarzystwa Matematycznego, „Wiadomości Matematyczne XLI”, Polskie Towarzystwo Matematyczne, seria II, Warszawa 2005.

Ostony w ochronie radiologicznej

Foto – Dreamstime

Różnorodność promieniowania jonizującego oraz powodowane przez nie negatywne skutki dla zdrowia żywych organizmów sprawia, że ostony przed promieniowaniem stanowią bardzo ważny aspekt w ochronie radiologicznej.

Wioletta Monika Dynkowska

Praca ze źródłami promieniowania jonizującego wymaga zachowania warunków bezpiecznych dla pracownika. Warunki te określone są w ustawie z dnia 29 listopada 2000 r – Prawo atomowe (tekst jednolity Dz.U. z 2021 r. poz. 623), a także w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006 roku w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego.

Dostosowanie warunków pracy ściśle wynika z zasady optymalizacji, do niedawna określanej zasadą ALARA – akronim ten pochodzi od głównego przesłania w ochronie radiologicznej: „as low as reasonably achievable” („tak nisko, jak to jest racjonalnie osiągalne”) przy uwzględnieniu czynników technicznych, ekonomicznych i socjalnych. Konkretnie rzecz ujmując, zysk musi przewyższać straty.

Źródła promieniowania jonizującego, pomimo swej ponurej sławy zdobytej chociażby w wyniku bombardowań wojennych (Hiroshima, Nagasaki, 1945 rok) czy katastrofy w Czarnobylskiej Elektrowni Jądrowej (1984 rok) oraz awarii po uderzeniu fali tsunami (Fukushima, Japonia 2011 rok) znajdują jednak wiele zastosowań przynoszących zysk a także usprawniających pracę w dziedzinie

nauki, techniki, medycyny i wielu innych gałęzi działalności człowieka.

Jednakże poprzez swe właściwości, a przede wszystkim fakt, że jest to zjawisko niedostrzegalne gołym okiem i nie można go wykryć przy pomocy ludzkich zmysłów oraz prostych, łatwo dostępnych przyrządów, należy przyłożyć szczególną uwagę na ochronę przed tym czynnikiem.

Skutki jego oddziaływania, niestety w większości te negatywne, pojawiają się już po fakcie samego narażenia na promieniowanie jonizujące, wtedy jest już za późno na podjęcie skutecznych działań. Dlatego tak istotnym jest zapobieganie narażeniu, niż usuwanie szkód powstałych w wyniku jego oddziaływania.

Praca ze źródłami promieniowania jonizującego a przepisy prawne

Ryzyko wystąpienia negatywnych skutków dla zdrowia pracownika, w tym zwiększonej zapadalności na choroby typu nowotworowego powoduje, że praca ze źródłami promieniowania jonizującego podlega reglamentacji. Źródłami promieniowania jonizującego mogą być izotopy pierwiastków, ale również urządzenia, takie jak lampy rentgenowskie czy mikroskopy elektronowe. Poziomy aktywności od określonego źródła promieniowania w przypadku izotopów promieniotwórczych podaje załącznik nr 2 do

ustawy *Prawo atomowe*, natomiast dla urzędzeń, które mogą być źródłem promieniowania jonizującego wartości różnicy potencjałów, przy której wymagane jest zezwolenie, zgoda lub powiadomienie, określa seria rozporządzeń: Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego, Rady Ministrów z dnia 6 sierpnia 2002 r. w sprawie przypadków, w których działalność związana z narażeniem na promieniowanie jonizujące nie podlega obowiązkowi uzyskania zezwolenia albo zgłoszenia, oraz przypadków, w których może być wykonywana na podstawie zgłoszenia oraz Ministra Zdrowia z dnia 18 lutego 2011 r. w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej.

Zezwolenie na działalność ze źródłami promieniowania jonizującego w celach pozamedycznych, po rozpatrzeniu złożonego wniosku wydaje Prezes Państwowej Agencji Atomistyki (PAA), natomiast zezwolenie na stosowanie źródeł promieniowania jonizującego w celach medycznych wydaje państwowy wojewódzki inspektor sanitarny.

Bardzo ważnym punktem w treści wniosku o wydanie zezwolenia jest określenie, na jaką dawkę promieniowania jonizującego będzie narażony pracownik a także jakie kroki podejmie pracodawca zatrudniający takiego pracownika, by dawka promieniowania jonizującego była jak najmniejsza.

Maksymalne poziomy dawek, na jakie może być narażony pracownik wykonujący pracę w narażeniu na promieniowanie jonizujące, określone są w załączniku nr 4 do ustawy *Prawo atomowe*. Należy pamiętać o tym, że organizmy żywe narażone są na działanie promieniowania jonizującego od źródeł naturalnych, a także pewną dawkę promieniowania otrzymujemy ze źródeł sztucznych, na przykład w wyniku wykonywania okresowych badań lekarskich (poprzez wykonywanie zdjęć rtg). Do wartości wysokości dawki promieniowania jonizującego, na jaką może być narażony pracownik nie wliczana jest dawka pochodząca od promieniowania tła.

Według ustawy *Prawo atomowe*, dawka graniczna dla osób nie zatrudnionych w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące nie może przekraczać 1 mSv w ciągu 1 roku. Tymczasem dla osób zatrudnionych w warunkach narażenia wysokość tej dawki w ciągu roku kalendarzowego nie może przekraczać 20 mSv.

Pracownicy zatrudnieni w warunkach narażenia informowani są o wysokości przyjętej dawki promieniowania na podstawie pomiarów środowiskowych w miejscu pracy lub na podstawie pomiarów uzyskanych z dozymetrów – podstawowego wyposażenia pracowników, którzy mogą być narażeni na otrzymanie w ciągu roku dawki powyżej 6 mSv.

Środki bezpieczeństwa

Ryzyko, jakie niesie ze sobą praca ze źródłem promieniowania jonizującego powoduje, że szczególną wagę przywiązuje się do zapewnienia bezpieczeństwa pracowników poprzez określenie czasu pracy ze źródłem, zapewnienie właściwej odległości od źródła, a przede wszystkim zastosowania osłon przed promieniowaniem. Osłony te są trojaki-

go rodzaju: stałe – czyli ściany, stropy, kształtki będące stałe przymocowane do podłoża; ruchome – ekrany, parawany, pojemniki transportowe głowice i kolimatory; oraz osobiste – rękawice, okulary ochronne, fartuchy, osłony strzykawek stosowanych w medycynie nuklearnej i wiele innych.

Właściwości każdego rodzaju promieniowania jonizującego powodują, że kluczową sprawą jest dobór materiału osłony. Nie wystarczy znajomość geometrii pomieszczenia do pracy ze źródłem promieniowania jonizującego, materiałów użytych w budownictwie czy czynności, jakie należy wykonać w trakcie pracy. Pamiętać należy też o tym, że prace ze źródłami promieniowania jonizującego odbywają się również poza pomieszczeniem, w terenie. Wówczas należy liczyć się z narażeniem osób postronnych.

Ten ostatni problem jest paradoksalnie łatwy do rozwiązania, gdyż polega na ogrodzeniu terenu i ustawieniu znaków ostrzegawczych w stosownej odległości. Oczywiście – niewiele możemy poradzić na ludzkie przyzwyczajenia, takie jak upór i ciekawość, jednak panująca w społeczeństwie radiofobia skutecznie odstrasza potencjalnych ciekawskich, gdy tylko zobaczą oni znak ostrzegający przed promieniowaniem jonizującym.

Wracając do osłon – bazą do zaprojektowania osłony jest wiedza na temat stosowanego izotopu, rodzaju promieniowania, jakie ten nuklid emituje (alfa, beta, gamma, neutronowe, rentgenowskie), typu źródła (zamknięte czy otwarte) i oczywiście aktywności źródła. Ta ostatnia wielkość decyduje bowiem o tym, czy w ogóle potencjalny użytkownik źródła promieniowania jonizującego otrzyma stosowne zezwolenie lub zgodę na prowadzenie działalności ze źródłami promieniowania jonizującego w konkretnym zakresie prac.

Podstawową sprawą jest określenie rodzaju emitowanego promieniowania, ale także typu źródła. Należy bowiem pamiętać, że przy pracy z otwartym źródłem promienio-



Mężczyzna w kamizelce chroniącej przed promieniowaniem, podczas wykonywania zdjęcia rentgenowskiego, tzw. pantomogramu, w gabinecie stomatologicznym. Foto – Dreamstime



Strażacy i ratownicy w strojach ochronnych przed promieniowaniem i środkami chemicznymi. Foto – Dreamstime

wania organizm człowieka narażony jest na skażenie zewnętrzne, ale także na trudniejsze do usunięcia skażenie wewnętrzne, do którego dochodzi w sytuacji przedostania się izotopu promieniotwórczego do organizmu człowieka – drogą oddechową, pokarmową lub przez zranioną skórę. W przypadku źródeł zamkniętych narażenie ogranicza się do oddziaływania promieniowania magnetycznego na sposób zewnętrzny.

Omawiając problem narażenia na promieniowanie jonizujące, związanego z ryzykiem skażenia wewnętrznego, należy zacząć od izotopów emitujących promieniowanie alfa. Wysoce jonizujące i niezwykle niebezpieczne w przypadku wchłonięć (Fizyka w Szkole, nr 1/2021), promieniowanie alfa nie wymaga stosowania osłon. Cząstka składająca się z dwóch protonów i dwóch neutronów jest krótkozasięgowa, więc przy rutynowej pracy nie powoduje zagrożenia. Wystarczy, aby osoba pracująca z takim źródłem nie pochylała się nad nim.

Ale czy aby na pewno jesteśmy bezpieczni pracując przy otwartym źródle promieniowania alfa bez osłon, zachowując jedynie stosowną odległość, by cząstka alfa nie przedostała się do organizmu drogą oddechową czy pokarmową? Otóż nie. Wyjaśnienie jest w dalszej części artykułu.

Zastosowania stosownych osłon wymaga praca z izotopami emitującymi promieniowanie beta. Emitowany z jądra atomowego elektron (lub jego antycząstka – pozyton) niesie ze sobą wysoką energię. Podobnie jak w przypadku cząstki alfa, przedostanie się cząstki beta do organizmu wywołuje poważne szkody, choć nie są one aż tak poważne, jak przy tym pierwszym.

Zasięg cząstek beta w powietrzu, w zależności od stosowanego izotopu waha się od kilku centymetrów (dla izotopu wodoru ^3H wynosi niespełna 0,5 cm) do kilku metrów. Swoistym rekordzistą jest tu izotop sodu $^{24}_{11}\text{Na}$, emitujący dwa rodzaje cząstek beta, różniących się niesioną przez nie energią. Zasięg większości z nich, o niższej energii promieniowania to 4,5 m, ale te o wyższej energii biegną na odległość nawet 16 m. Napotykając na swej drodze osłonę, cząstki beta przekazują jej część swojej energii tym samym znacznie skracając drogę, jaką może ta cząstka przebyć w konkretnym materiale.

Skutecznymi materiałami na osłony przed tym typem promieniowania są te, które w swym składzie pierwiastkowym zawierają pierwiastki o niskich liczbach atomowych: tlen ($^{16}_8\text{O}$), węgiel ($^{12}_6\text{C}$), wodor (^1_1H), glin ($^{27}_{13}\text{Al}$), itp. W praktyce stosuje się osłony ze szkła organicznego lub folii aluminiowej. Zasięgi cząstek beta w takim materiale drastycznie spadają. Wiąże się to z różnicą gęstości ośrodka, w którym rozchodzi się promieniowanie. Znając gęstość materiału, z którego należy skonstruować osłonę, a także charakterystykę energetyczną cząstek beta i ich zasięg powierzchniowy, ustala się grubość osłony.

Wbrew pozorom dla ochrony przed promieniowaniem beta nie stosuje się materiałów ciężkich. Wynika to ze zjawiska hamowania pędzących elektronów w pobliżu jąder atomowych pierwiastków ciężkich i emitowania promieniowania hamowania. Promieniowanie to jest składową promieniowania rentgenowskiego i podobnie jak gamma, jest promieniowaniem elektromagnetycznym. Różni się on niego zakresem długości fal i niesioną energią.

Wysokoenergetyczny elektron przebija się przez powłoki elektronowe atomów tworzących materiał osłony, tym samym pojawiając się w pobliżu jądra atomowego ciężkiego pierwiastka. Z zasady elektrodynamiki: dodatnio naładowane jądro przyciąga do siebie przelatującą w pobliżu ujemną cząstkę beta. Na skutek działania sił kulombowskich cząstka beta traci część swojej energii, wypromieniowując ją w postaci promieniowania elektromagnetycznego, zwanego promieniowaniem charakterystycznym. Ponieważ emisja ta nie pochodzi bezpośrednio z jądra atomowego a jedynie z jego otoczenia, wobec powyższego w odróżnieniu od promieniowania gamma zdecydowano się nadać mu inną nazwę. Krótko mówiąc, stosowanie materiałów ciężkich w osłonach przed promieniowaniem beta skutkuje powstaniem innego, znacznie groźniejszego w skutkach promieniowania hamowania.

O ile kwestia osłon przed promieniowaniem alfa i beta nie nastęrczają większych problemów, to promieniowanie neutronowe jest wysoce przenikliwe. Wyjaśnienie tego faktu jest proste: w przeciwieństwie od cząstek alfa i beta, neutrony są cząstkami pozbawionymi ładunku elektrycznego. Energie pędzących neutronów zawierają się w kilku rzędach wielkości – od 10 keV do ponad 20 MeV – wskutek czego podzielono je na pięć grup. Podział ten wynika z faktu, że w zależności od niesionej energii, neutrony te inaczej zachowują się podczas oddziaływania z materią. Łatwo zatrzymać neutrony powolne, natomiast neutrony prędkie, o wysokich energiach są trudne do wyhamowania.

Idea konstrukcji osłon dla promieniowania neutronowego opiera się więc na osłonach złożonych: jeden materiał osłony ma na celu spowolnienie neutronów prędkich, natomiast drugi – ma je pochłoniąć. Przykładem takiej kombinacji jest warstwa parafiny jako spowalniacza, połączona z warstwą kadmu lub boru, pierwiastków dobrze pochłaniających powolne neutrony. Grubość takich osłon obliczana jest w oparciu o energię neutronów.

Wszystkim trzem wymienionym wyżej rodzajem promieniowania towarzyszy emisja fali elektromagnetycznej – promieniowania gamma. Ze względu na wysoką przenikliwość oraz niesioną wysoką energię, skutecznymi osłonami przed tym rodzajem promieniowania są osłony z materiałów ciężkich, takich jak ołów ($^{207}_{82}\text{Pb}$), wolfram ($^{183}_{74}\text{W}$), czy uran zubożony ($^{238}_{92}\text{U}$).

W tym miejscu jednak należy rozparzyć problem osłon od strony technicznej oraz ekonomicznej. W jakim celu stosujemy osłonę? Czy chcemy osłonić pracownika, który na tym stanowisku będzie wykonywał swoje czynności zawodowe, czy musimy źródło przetransportować?

Przeważająca większość prac ze źródłem promieniowania jonizującego odbywa się w pomieszczeniach; betonowe ściany same w sobie stanowią element osłonny. Kwestią jest tylko zagwarantowanie właściwej ich grubości, ewentualnie dodanie do nich materiałów polepszających ich właściwości ochronne. Do wykonywania osłon transportowych idealne będą materiały ciężkie. Niewielki gabaryt opakowania nie pochłonie wygórowanych kosztów i stanowi będzie wygodny transporter, bezpieczny dla przewoźnika.

Nie inaczej kwestia osłon wygląda w ochronie przed promieniowaniem rentgenowskim. Z uwagi na fakt, że

ten rodzaj promieniowania również jest falą elektromagnetyczną o wysokiej przenikliwości i energii nieco niższej od promieniowania gamma, ale nadal dość wysokiej, problem osłon jest analogiczny jak przy promieniowaniu gamma. Osłony stałe, którymi zazwyczaj są elementy konstrukcyjne pracowni, wykonywane są z odpowiedniej warstwy betonu, natomiast na osłony ruchome i osłony osobiste (fartuch pracownika obsługi aparatu rentgenowskiego) przeznacza się materiały ciężkie. Nikogo więc nie powinien dziwić niezwykle ciężki fartuch, zakładany przez pracowników zatrudnionych w pracowniach rentgenowskich, gdy konieczne jest wykonanie zdjęcia rentgenowskiego. Ciężar fartucha wynika z obecności kilkumilimetrowej warstwy ołowiu między warstwami materiału.

Określenie grubości osłon zależne jest zarówno od źródła emitującego promieniowanie gamma (i rentgenowskie), jak również od materiału osłony, który należy zastosować. W zależności od tego, czy źródło emituje wiązkę szeroką – obrazowo rzecz ujmując, czy promieniowanie rozchodzi się w przestrzeni w określonym kącie brylowym, czy jest to wiązka wąska (skolimowana), grubość osłony odczytujemy z odpowiedniego nomogramu (dla wiązki szerokiej) bądź obliczamy (dla wiązki skolimowanej). W każdym z tych przypadków niezbędne jest obliczenie wielkości dawki, na jaką narażony jest pracownik wykonujący swe obowiązki w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące.

Znajomość własności poszczególnych rodzajów promieniowania, stopień zagrożenia, jakie każde z nich ze sobą niesie, a także właściwe określenie rodzaju pracy ze źródłem promieniowania jonizującego – aktywność, typ, rodzaj źródła, celowość jego użycia – powoduje, że ochrona przed narażeniem na promieniowanie jonizujące nie jest szczególnym czynnikiem ograniczającym stosowanie tego czynnika w wielu dziedzinach życia.

Racjonalne spojrzenie na problem zastosowania źródeł promieniowania jonizującego i związaną z tym kwestię osłon, po rozpatrzeniu wpływu czynników technicznych, ekonomicznych i społecznych powoduje, że w obecnych czasach źródła promieniowania jonizującego stanowią przydatne narzędzie techniczne, technologiczne i diagnostyczne, szczególnie w diagnostyce chorób nowotworowych.

LITERATURA:

- [1] Ustawa z dnia 29 listopada 2000 roku – Prawo atomowe (tekst jednolity Dz.U. z 2011 r. poz. 623)
- [2] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 6 sierpnia 2002 r. w sprawie przypadków, w których działalność związana z narażeniem na promieniowanie jonizujące nie podlega obowiązkowi uzyskania zezwolenia albo zgłoszenia, oraz przypadków, w których może być wykonywana na podstawie zgłoszenia (Dz.U. 2002 nr 137 poz. 1153)
- [3] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 18 lutego 2011 r. w sprawie warunków bezpiecznego stosowania promieniowania jonizującego dla wszystkich rodzajów ekspozycji medycznej (Dz.U. 2011 nr 51 poz. 265)
- [4] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 lipca 2006 roku w sprawie szczegółowych warunków bezpiecznej pracy ze źródłami promieniowania jonizującego (Dz.U. 2006 Nr 140 Poz. 994)
- [5] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 roku w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz.U. 2005 Nr 20 Poz. 168)
- [6] Gostkowska, B. Fizyczne podstawy ochrony radiologicznej. Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa 1992
- [7] Gostkowska, B. Ochrona radiologiczna. Wielkości, jednostki, obliczenia. Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa 2018

100 rocznica przyznania Nagrody Nobla Einsteinowi za interpretację efektu fotoelektrycznego zewnętrznego

Kazimierz Mikulski

Laureatem Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki za 1921 r., w uznaniu za „wkład do fizyki teoretycznej, zwłaszcza opis prawa efektu fotoelektrycznego” został Albert Einstein.¹ Otrzymała w 1922 r. przez Einstein nagrodę za rok 1921, była uzasadniona przez Fundację Nobla: „za zasługi dla fizyki teoretycznej, szczególnie za odkrycie praw rządzących efektem fotoelektrycznym”². W czasie wręczenia nagrody Einstein był za granicą. W jego imieniu wystąpił Rudolf Nadolny, ambasador Niemiec w Szwecji.³ W większości 60 nominacji, uzasadnieniem było sformułowanie przez Einsteina teorii względności. Jednak komitet noblowski uważał, że nie była ona wystarczająco potwierdzona doświadczalnie. Jednocześnie komitet był pod silnym naciskiem, by przyznać nagrodę temu uczonemu. Z tego powodu przyjęto propozycję Oseena, by przyznać Einsteinowi nagrodę jako uzasadnienie podając prace nad efektem fotoelektrycznym.

Odkrycie i wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego przyczyniło się do rozwoju korpuskularno-falowej teorii materii, w której obiektom mikroświata przypisywane są jednocześnie własności falowe i materialne (korpuskularne). Wyjaśnienie i matematyczny opis efektu fotoelektrycznego pochodzą od Alberta Einsteina. Jego praca z 1905 roku wysuwała hipotezę kwantów światła, nazwanych potem fotonami. Powstała niezależnie od pracy Maxa Plancka w 1900 roku, gdzie wysunięto dużo słabszą hipotezę skwantowanej emisji promieniowania.⁴

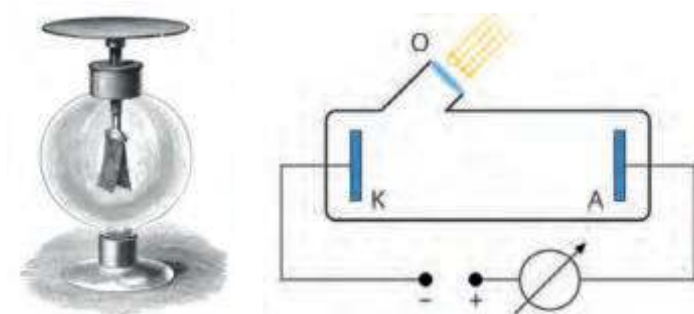
Rok 1905 jest określany jako *Annus mirabilis* (cudowny rok) Einsteina

Był w 1905 r. szwajcarskim urzędnikiem patentowym, niedawnym absolwentem fizyki, a jego dorobek obejmował tylko kilka publikacji. Jako mało znany w środowisku fizyków, w tym roku opublikował 5 prac, z których przynajmniej część była przełomowa.⁵

Einstein wyjaśnił też efekt fotoelektryczny, zaobserwowany już w 1888 roku przez Philipa Lenarda. Przyjął, że światło oddziałuje z materią w postaci cząstek – nazwanych później fotonami. Pracę Einsteina z tego roku można uznać za rozwinięcie Plancka koncepcji kwantów energii,

choć, jak czytamy w literaturze przedmiotu, mogły się rozwijać niezależnie⁶.

W swoim *cudownym roku* Einstein napisał też rozprawę doktorską pod tytułem *O nowej metodzie wyznaczania rozmiarów molekuł* (przyjęta 19.08.1905 r. na Uniwersytecie w Zurychu) oraz wyjaśnił i opisał ruchy Browna. Mimo wielkiego znaczenia, jego prace nie zostały początkowo docenione.



Rysunek 1. Jeden z pierwszych zestawów do demonstracji efektu fotoelektrycznego. Schemat układu doświadczalnego do badania zjawiska fotoelektrycznego
Źródło: https://www.wikiwand.com/pl/Efekt_fotoelektryczny
<https://epodreczniki.pl/a/zewnetrzny-efekt-fotoelektryczny-i-jego-zastosowanie/DSQIntxam>



Foto. 1. Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947) niemiecki fizyk, laureat Nagrody Nobla w 1905 roku za pracę nad promieniowaniem katodowym.
Foto. 2. Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 - 1947) nagroda Nobla w 1918 r.
Foto. 3. Albert Einstein (1879-1955) w 1921 roku
Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Philipp_Lenard https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1d/Philipp_Lenard_in_1900.jpg
Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d7/Max_planck.jpg
Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/af/Einstein1921_by_F_Schmutzer_2.jpg

¹ https://www.wikiwand.com/pl/Albert_Einstein_„za_zaslugi_dla_fizyki_teoretycznej_szczegolnie_za_odkrycie_praw_rzadzacych_efektem_fotoelektrycznym”

² <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1921/summary/>

³ https://www.wikiwand.com/pl/Albert_Einstein

⁴ https://www.wikiwand.com/pl/Efekt_fotoelektryczny

⁵ https://pl.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein#CITEREFNorton2016

⁶ John D. Norton How Einstein Did Not Discover http://www.pitt.edu/~jdnorton/papers/Einstein_Discover_final.pdf s. 268

Czym jest efekt fotoelektryczny?

Jest to zjawisko fizyczne polegające na emisji elektronów z powierzchni przedmiotu, zwane również precyzyjniej zjawiskiem fotoelektrycznym zewnętrznym – dla odróżnienia od wewnętrznego⁷. Emitowane w tym zjawisku elektrony nazywa się czasem fotoelektronami.

Krótką historia odkrycia efektu fotoelektrycznego zewnętrznego

Doświadczenie Hertza

W 1887 r. Hertz opublikował wyniki badań nad przeskokiem iskier w iskrowniku cewki odbierającej fale elektromagnetyczne. W latach 1885-1889 używał wyładowań iskrowych do wytwarzania fal elektromagnetycznych. W publikacji opisuje zbudowany przez siebie odbiornik fal, który składał się z obrotowej i cewki zapłonowej. Zauważył, że ilekroć odbiornik rejestrował fale elektromagnetyczne, na zastosowanej w eksperymencie cewce przeskakiwała iskra.

Po umieszczeniu urządzenia w ciemnym pudle, celem lepszej widoczności iskry, zaobserwował, że spowodowało to jej osłabienie. Szyba izolująca źródło fal i odbiornik pochłaniała promieniowanie ultrafioletowe, które docierając w obszar szczeliny, sprzyjało przeskokowi elektronów, a tym samym obserwowano wzmocnienie iskry. Badacz użył kwarcu zamiast szkła, ale nie powodowało to osłabienia iskry, ponieważ kwarc nie pochłania promieniowania ultrafioletowego⁸.

W 1888 r. Hallwachs, asystent Hertza zauważył, że kiedy światło nadfioletowe pada na ujemnie naładowane płyty metalowe, sprawia, że tracą one swój ładunek elektryczny. Zjawisko to nazwano najpierw efektem Hallwacha, a nieco później zjawiskiem fotoelektrycznym.

Pierwsze prawo fotoefektu Stoletowa

W 1888 r. Stoletow rozpoczął badania fotoefektu, odkrytego rok wcześniej. Już w 1889 r. opublikował ich rezultaty w fundamentalnej pracy *Актинно-электрические исследования* (Badania aktyno-elektryczne)⁹. Przeprowadzając serię oryginalnych eksperymentów, Stoletow odkrył pierwsze prawo fotoefektu, nazwane na jego cześć prawem Stoletowa o treści: natężenie fotoprądu jest wprost proporcjonalne do intensywności padającego światła.

Badanie Thomsona i odkrycie elektronu

W 1899 r. Thomson badał promieniowanie ultrafioletowe powstające w lampie katodowej. Zainspirowany pracami Maxwella¹⁰ stwierdził, że promienie katodowe są strumieniem ujemnie naładowanych cząstek, które nazwał



Foto. 4. Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894)

Foto. 5. Wilhelm Ludwig Franz Hallwachs (1859-1922).

Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Heinrich_Hertz.jpg <https://epo-dreczniki.pl/a/zewnetrzny-efekt-fotoelektryczny-i-jego-zastosowanie/DSQIntxam>

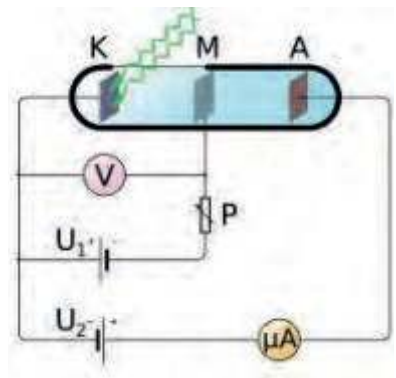


Foto. 6. Aleksandr Grigorjewicz Stoletow (1839-1896) – prace nad zjawiskiem fotoelektrycznym.¹¹

Rysunek 2. Układ do badania fotoefektu zewnętrznego

Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Aleksandr_Stoletow

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/35/Alexander_stoletov.jpg

https://pl.wikipedia.org/wiki/Efekt_fotoelektryczny

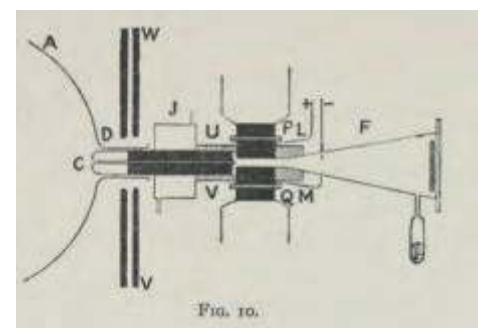
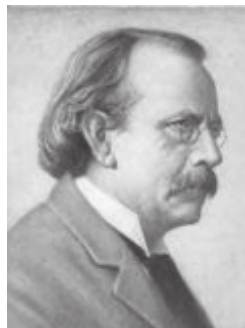


Foto. 7. Joseph John Thomson, znany także jako J. J. Thomson (1856-1940) – fizyk angielski. W 1906 r. otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki „w uznaniu zasług za teoretyczne i eksperymentalne badania nad przewodnictwem elektrycznym gazów, które doprowadziły do odkrycia elektronu”

Rysunek 3. Schemat aparatu J.J. Thomsona

Źródło: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b6/Jj-thomson2.jpg>

<https://www.sciencehistory.org/distillations/positive-effect>

⁷ W zjawisku fotoelektrycznym wewnętrznym nośniki ładunku są przenoszone pomiędzy pasmami energetycznymi, na skutek naświetlania promieniowaniem elektromagnetycznym, na przykład światłem widzialnym o częstotliwości zależnej od rodzaju przedmiotu.

⁸ Hertz nie analizował dalej zaobserwowanego przez siebie zjawiska i ograniczył się do publikacji wyników. <http://web.archive.org/web/20080603101734/http://www.ur5eaw.com/Hertz.html>

⁹ Aktyno-elektriczeskije issledowanija - tak Stoletow nazywał fotoefekt

¹⁰ Zbudował pierwszy fotoelement, oparty na zjawisku fotoefektu zewnętrznego. Odkrył wprost proporcjonalną zależność między natężeniem fotoprądu i intensywnością padającego na fotokatodę światła (pierwsze prawo Stoletowa); Odkrył zjawisko obniżenia wraz z czasem czułości fotoelementu (1889); Stworzył podstawy metod ilościowych badania fotoefektu; był autorem metody fotoelektrycznej kontroli intensywności światła. https://pl.wikipedia.org/wiki/Aleksandr_Stoletow

¹¹ James Clerk Maxwell (1831-1879) https://www.wikiwand.com/pl/James_Clerk_Maxwell

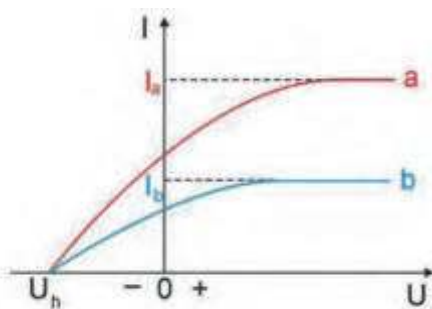


Foto. 8. Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947) laureatem Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w 1905 r. za pracę nad promieniami katodowymi i odkrycie wielu ich właściwości. Najważniejszym wkładem była eksperymentalna realizacja efektu fotoelektrycznego. Odkrył, że energia (prędkość) elektronów wyrzucanych z katody zależy tylko od długości fali, a nie od intensywności padającego światła.

Rysunek 4. Wykresy z badań Leonarda – opis powyżej. Przy silniejszym oświetleniu (krzywa a) otrzymujemy większy prąd nasycenia, ale takie samo napięcie hamowania jak dla układu oświetlonego słabiej (krzywa b).

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1d/Philipp_Lenard_in_1900.jpg

korpuskułami, a które dziś znamy jako elektrony. Odwracając eksperyment, Thomson umieścił metalową blaszkę (katodę) w rurze próżniowej i wystawił ją na promieniowanie o wysokiej częstotliwości. Zmienne pole elektromagnetyczne powodowało powstawanie w metalu prądu o natężeniu zależnym od natężenia i barwy światła, jakim naświetlał rurę. W ten sposób dokonał odkrycia elektronu oraz następnego prawa w zjawisku fotoelektrycznym zewnętrznym.

Co obserwował von Lenard?

Po dokonaniach Thomsona, w 1902 r. Philipp von Lenard odkrył zależność między emisją elektronów a intensywnością i częstotliwością światła padającego na powierzchnię emisyjną. Używał mocnego światła łukowego, dzięki któremu mógł w dużym zakresie regulować jego natężenie i częstotliwość. Zmieniał także napięcie między płytką emitującą (katodą) a odbierającą elektrony. Zauważył, że powyżej pewnej wartości dodatniego napięcia przyłożonego do płytki zanika prąd emisji, przy czym napięcie to zależy wyłącznie od częstotliwości padającego światła, a nie jego natężenia.

Przykładając napięcie ujemne, obserwował początkowo wzrost prądu przy zwiększaniu napięcia, później natężenie prądu nie rosło. Maksymalne natężenie prądu zależało od natężenia oświetlenia. Jego eksperymenty dostarczały zbyt mało danych ilościowych, by na ich podstawie móc wyjaśnić obserwowany fenomen. Doświadczenie opracowane przez Leonarda wzbudziło zainteresowanie zjawiskiem.

Einstein i hipoteza kwantów

Wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego jest niemożliwe na gruncie elektrodynamiki klasycznej. Zakładającej, że światło jest falą elektromagnetyczną – należałoby raczej oczekiwać, że energia fotoelektronów zależy od natężenia fali świetlnej. Zjawisko zostało wyjaśnione w 1905 r. przez Alberta Einsteina, opierającego się na założeniach mechaniki kwantowej. W literaturze przedmiotu ujęto, że zjawisko fotoelektryczne, obok efektu Comptona, jest dowodem na kwantową naturę światła.

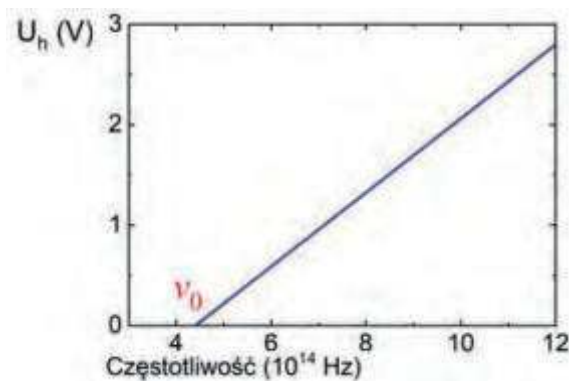
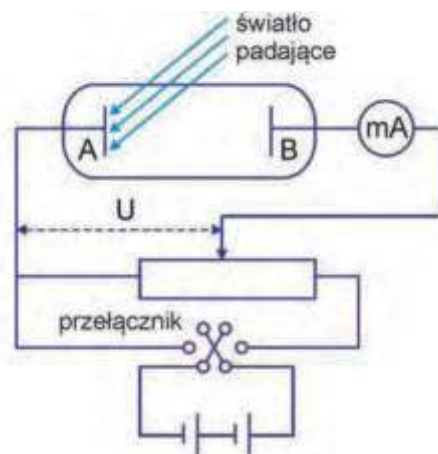
Jak obserwować fotoefekt?

W szklanej bańce, o wysokiej próżni, znajdują się dwie metalowe elektrody A i B. Światło pada na metalową płytkę A i uwalnia z niej elektrony. Do pomiaru prądu stosuje się czuły miliamperomierz (mA). Jeżeli nastąpi zmiana znaku napięcia U, to prąd nie spada natychmiast do zera (przy U = 0 mamy niezerowy prąd). Oznacza to, że fotoelektrony emitowane z płytki A mają pewną energię kinetyczną, dzięki której docierają do B. Wszystkie elektrony mają jednakowo dużą energię kinetyczną, bo tylko część z nich dolatuje do elektrody B; przy U = 0 prąd jest mniejszy od maksymalnego (rys. 4). Przy odpowiednio dużym napięciu, równym U_h zwanym napięciem hamowania, prąd zanika. Różnica potencjałów U_h pomnożona przez ładunek elektronu e jest miarą energii najszybszych elektronów (przy U = U_h nawet najszybsze elektrony są zahamowane, nie dochodzą do elektrody B).

$$E_{kmax} = eU_h \quad (1)$$

Widać, że E_{kmax} nie zależy od natężenia światła, a jedynie zmienia się prąd nasycenia. Wiązka światła o większym natężeniu wybija więcej elektronów, ale **nie szybszych**.

Opisanego zjawiska fotoelektrycznego nie da się wyjaśnić stosując klasyczną falową teorię światła. Wynika z niej, że większe natężenie światła oznacza większą energię fali i większe pole elektryczne E. Siła działająca na elektron wynosi eE więc, gdy rośnie natężenie światła to powinna



Rysunek 5. Układ do obserwacji zjawiska fotoelektrycznego

Rysunek 6. Zależność napięcia hamowania od częstotliwości światła dla sodu. Otrzymano zależność liniową oraz że istnieje pewna wartość progowa częstotliwości ν₀, poniżej której zjawisko fotoelektryczne nie występuje
<http://home.agh.edu.pl/~kakol/efizyka/w32/main32d.html>



Foto 9. Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947) – laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w 1918 r.

Foto 10. Robert Andrews Millikan (1868-1953) – laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w 1923 r. za wyznaczenie ładunku elementarnego i prace nad zjawiskiem fotoelektrycznym

Foto 11. Arthur Holly Compton (1892-1962) – laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki w 1927 r. za zjawisko zwane efektem Comptona

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d7/Max_planck.jpg
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/be/Robert_Andrews_Millikan_1920s.jpg

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/Arthur_Compton.jpg

rosnąć też siła i w konsekwencji energia kinetyczna elektronów, ale stwierdzono, że E_{kmax} nie zależy od natężenia światła. Zgodnie z teorią falową zjawisko fotoelektryczne powinno występować dla każdej częstotliwości światła pod warunkiem dostatecznego natężenia. Ustalono, że dla każdego materiału istnieje progowa częstotliwość ν_0 , poniżej której nie obserwujemy zjawiska fotoelektrycznego, bez względu na to jak silne jest oświetlenie.¹²

$$h\nu = W + E_k \quad (2)$$

Wielkość W charakterystyczna dla danego metalu nazywano pracą wyjścia. Energia $h\nu$ fotonu (h – stała Plancka, ν – częstotliwość), w części (W) zostaje zużyta na wyrwanie elektronu z materiału, a ewentualny nadmiar energii ($h\nu - W$) otrzymuje elektron w postaci energii kinetycznej. Jej część może być stracona w zderzeniach wewnętrznych (przed opuszczeniem materiału). Z zapisu (2) wynika szereg istotnych wniosków: istnieje pewna progowa częstość światła, poniżej której zjawisko nie występuje, a zależność energii kinetycznej od częstości jest linią prostą (rys. 6) o takim samym nachyleniu dla wszystkich materiałów itd. Równanie Einsteina zostało doświadczalnie zweryfikowane przez Millikana. Einstein otrzymał Nagrodę Nobla za rok 1921 właśnie za to równanie – nie za teorię względności i nie za koncepcję kwantów światła.¹³

¹² <http://home.agh.edu.pl/~kakol/efizyka/w32/main32d.html>

¹³ <https://kierul.wordpress.com/tag/einstein/>

Teoria Einsteina pozwala na wyjaśnienie osobliwych własności zjawiska fotoelektrycznego.

Po pierwsze, zwiększając natężenie światła zwiększamy liczbę fotonów, a nie zmieniamy ich energii. Ulega więc zwiększeniu liczba wybitych elektronów (fotoprąd), a nie energia elektronów E_{kmax} , która tym samym nie zależy od natężenia oświetlenia. Po drugie, jeżeli mamy taką częstotliwość ν_0 , że $h\nu_0 = W$, to wtedy $E_{kmax} = 0$. Nie ma nadmiaru energii. Po trzecie, jeżeli $\nu < \nu_0$ to fotony niezależnie od ich liczby (natężenia światła) nie mają dość energii do wywołania fotoemisji, albowiem energia jest w postaci skupionej (kwant, porcja) a nie rozłożonej (fala). Elektron pochłania cały kwant.

Stosując zależność (1) możemy przekształcić równanie (2) do postaci

$$U_h = \frac{h}{e} \nu - \frac{W}{e}$$

Teoria Einsteina przewiduje liniową zależność pomiędzy napięciem hamowania, a częstotliwością, co jest całkowicie zgodne z doświadczeniem (rys. 6).

Odkrycie i wyjaśnienie efektu fotoelektrycznego przyczyniło się do rozwoju korpuskularno-falowej teorii materii, w której obiektom mikroświata przypisywane są jednocześnie własności falowe i materialne (korpuskularne). Wyjaśnienie i matematyczny opis efektu fotoelektrycznego pochodzi od Einsteina. Jego praca z 1905 r. podająca hipotezę kwantów światła, powstała niezależnie od pracy Plancka w 1900 r. wysuwającej słabszą hipotezę skwantowanej emisji promieniowania.

Komitet Noblowski wybrał bezpieczne osiągnięcie, dobrze sprawdzone eksperymentalnie przez Millikana. Millikan wspominał w roku 1949: *spędziłem dziesięć lat życia na sprawdzaniu równania Einsteina i wbrew wszystkim moim oczekiwaniom w 1915 r. musiałem uznać, że zostało jednoznacznie potwierdzone, mimo iż wydaje się zupełnie absurdalne, ponieważ pozornie przeczy wszystkiemu, co wiemy na temat interferencji światła*. Millikan jako eksperymentator był sceptyczny wobec zbyt nowatorskich teorii Einsteina. Jednak nawet koledzy Einsteina – Max Planck, czy Niels Bohr, długo nie chcieli uwierzyć w istnienie cząstek światła. Dopiero zjawisko Comptona zaobserwowane w 1923 r. uznano za przekonujący dowód cząstkowej natury światła.

dr Kazimierz Mikulski
Maksymilianowo

Co w fizyce piszczy

Powstanie podziemny teleskop Einsteina

Teleskop Einsteina to projekt pierwszego podziemnego i najbardziej zaawansowanego europejskiego obserwatorium fal grawitacyjnych trzeciej generacji, którego detektory będą znacznie czulsze niż istniejące obecnie. Europejskie Forum Strategii ds. Infrastruktur Badawczych (ESFRI) wybrało 11 przedsięwzięć, w tym Teleskop Einsteina, które zawarło w swojej mapie drogowej 2021.

Mapa to dokument, który gromadzi inicjatywy kluczowe z punktu widzenia budowy w Unii Europejskiej najnowocześniejszej na świecie bazy badawczej, od nauk humanistycznych i społecznych, przez środowiskowe i fizyczne, po nauki biomedyczne i e-infrastrukturę. Jedną z wybranych przez ESFRI inicjatyw jest Teleskop Einsteina (Einstein Telescope, ET).

W Polsce liderem konsorcjum ET jest Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego.

<https://www.fuw.edu.pl/informacja-prasowa/news7061.html>

dziedziny przyczyniamy się do poszerzania słownictwa uczniów realizując w ten sposób zapisany w Podstawach programowych obowiązek.

Badania fizyczne zaczynały się tam, gdzie zamieszkiwali ludzie. Większość tych badań była skupiona w starożytnej Grecji. Z tego też powodu wiele nazw i pojęć wywodzi się z języka greckiego. Sama nazwa fizyka pochodzi z języka greckiego: znaczy φύσις, *physis* – „natura”. Fizyka dzieli się na działy, kategorie. Podział fizyki zmieniał się w miarę rozwoju tej dziedziny badań człowieka. Nazwy działów fizyki wywodzą się również z języka greckiego. Nieświadomi tego faktu oswoiliśmy je i traktujemy jak „własne”.

Ciekawą rzeczą jest to, że inne starożytne nacje, w tym Babilończycy czy Egipcjanie, które wniosły duży wkład w rozwój np. matematyki i astronomii niewiele natomiast wniosły w rozwój fizyki³.

Jako nauczyciela fizyki zastanawia mnie fakt pomijania naukowych nazw działów fizyki zarówno w podstawach programowych jak i w podręcznikach. Czyżby autorzy podstaw programowych uważali, że są zbyt trudne dla współczesnych nastolatków, czyżby nie doceniali ich inteligencji i obycia? A czy nie jest to sprzeczne z omawianym wcześniej obowiązkiem poszerzania słownictwa uczniów?

Nazwy działów fizyki w podstawach programowych i podręcznikach

W podstawach programowych dla szkoły podstawowej treści szczegółowe zostały podzielone na następujące działy: I. Wymagania przekrojowe, II. Ruch i siły, III. Energia, IV. Zjawiska cieplne, V. Właściwości materii, VI. Elektryczność, VII. Magnetyzm, VIII. Ruch drgający i fale, IX. Optyka.

W programach nauczania i tym samym w podręcznikach realizowane treści zostały również podzielone na rozdziały nazwane podobnie jak to zostało zapisane w podstawach programowych.

Na przykład w podręcznikach „Świat fizyki”⁴ znajdziemy m.in. następujące tytuły rozdziałów: „Jak opisujemy ruch”, „Siły w przyrodzie”, „O elektryczności statycznej” i „Optyka, czyli nauka o świetle”.

W podręcznikach „To jest fizyka”⁵ wydawnictwa Nowa Era analogiczne rozdziały zatytułowano: „Ciała w ruchu”, „Siła wpływa na ruch”, „Elektrostatyka i prąd elektryczny”, „Optyka”.

Analizując podręczniki znalazłam pewne odstępstwa. W serii „Spotkania z fizyką”⁶ wydawnictwa „Nowa Era” rozdziały zatytułowano inaczej np. rozdział III. Hydrostatyka i aerostatyka, IV. Kinematyka, VI. Dynamika, VII. Termodynamika, Elektrostatyka, Optyka. Przyznaję,

że te zapisy moim zdaniem są trafniejsze, uwzględniają bowiem naukowe nazwy przyjęte w fizyce.

Uczę fizyki w szkole podstawowej korzystając z podręczników serii „Świat fizyki” WSiP. Realizuję program w zasadzie zgodnie z proponowaną kolejnością.

Rozpoczynając realizację nowego działu zalecam swoim uczniom zapisanie w zeszytach jego tytułu. Pomaga im to określić np. zakres materiału do powtórzenia przed sprawdzianem, który piszą na zakończenie, czy też szybko odszukać jakiś wzór czy prawo. Modyfikuję jednak zapisane w podstawach programowych i podręcznikach tytuły niektórych rozdziałów.

Na przykład realizując rozdział o ruchu podaję tytuł „Kinematyka, czyli jak opisujemy ruch”. Rozdział o siłach tytułuję „Dynamika, czyli o przyczynach ruchu”. W dalszej kolejności w podobny sposób wprowadzam inne nazwy podając naukową nazwę rozdziału z krótkim wyjaśnieniem np. „Akustyka, czyli nauka o dźwiękach”, „Elektrostatyka, nauka o ładunkach w spoczynku” itd.

Zapoznając uczniów z naukową nomenklaturą przyjętą w danej dziedzinie nauki rozszerzamy zakres słownictwa uczniów. Nie znaczy to, że mamy wymagać od nich zapamiętania dokładnych definicji naukowych tytułów rozdziałów i kategorii ani tym bardziej sprawdzać ich znajomość np. na testach czy sprawdzianach. Jednak dobrze, żeby uczniowie osłuchali się z nowymi słowami lub poznali naukowe znaczenie słów, które w potocznym języku mają różne znaczenie.

Zresztą naukowe nazwy działów fizyki nie są uczniom tak całkiem obce. Uczniowie dobrze znają niektóre z nich z życia codziennego. Weźmy na przykład słowo „optyka”. Idąc do sklepu po okulary szukamy „optyka”. Interesujący się astronomią korzystają ze sprzętu optycznego. Uczniowie interesujący się muzyką, sprzętem odtwarzającym znają nazwę „akustyk”. Niektórzy wiążą swoją przyszłość zawodową z zawodem akustyka. Podobnie oczywiste jest dla nich słowo „elektryczność”.

W życiu codziennym może rzadziej używa się pojęć „kinematyka”⁷. Często jednak spotykamy się z określeniami medycznymi np. kinestezja (czucie pozycji i ruchów poszczególnych części ciała) czy technicznymi np. kioskop (przyjęte w polskiej terminologii a powstałe z połączenia słów *kine(to)*, *kino* – oznaczającą ruch działanie, kojarzoną z ruchomymi obrazami oraz *skop* – przyrząd, instrument do obserwowania, oglądania). Podobnie nazwy dynamika, statyka czy mechanika występują często w języku potocznym. Czasem bez wyraźnych związków ze znaczeniem naukowym. Warto może jednak uczniów zapoznać z pierwotnym znaczeniem.

Moim zdaniem pomijanie naukowych nazw działów fizyki w podstawach programowych i w podręcznikach

³ Za: Georg Gamow „Biografia fizyki”

⁴ Tytuł serii „Świat fizyki” klasa 7 i klasa 8, B. Sagnowska, M. Rozenbajgier, R. Rozenbajgier, D. Szot-Gawlik, M. Godlewska Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, nr dopuszczenia 821/1/2017 i 821/2/2018

⁵ Tytuł serii „To jest fizyka” klasa 7 i klasa 8, M. Braun, W. Śliwa, Nowa Era Spółka z o.o. nr dopuszczenia 818/1/2017 i 818/2/2018

⁶ Tytuł serii „Spotkania z fizyką” klasa 7 i klasa 8, G. Francuz-Ornat, T. Kulawik, M. Nowotny-Różańska, owa Era Spółka z o.o. nr dopuszczenia 885/1/2017 i 885/2/2018

⁷ Greckie *kinēma*, *kinēmatos* \ znaczy „ruch”

jest pewną niekonsekwencją. Na przykład w rozdziale II podstaw programowych „Ruch i siły” w punktach 13-15 i 18 wprowadza się „zasady dynamiki”. Zasady dynamiki, czyli czego? Czym jest dynamika⁸? Wprowadza się również podział skutków oddziaływań na statyczne i dynamiczne. Może warto wyjaśnić uczniom co oznaczają te terminy? Dynamika, jak podaje „Słownik fizyczny”, to dział mechaniki zajmujący się ruchem ciał materialnych pod działaniem sił⁹. Znając znaczenie słowa „statyczne”¹⁰ uczniowie łatwo przyswoją sobie np. zakres badań elektrostatyki.

Wprowadzanie przyjętych w nauce nazw poszczególnych działów fizyki sprzyja kształceniu języków obcych. Języki nowożytnie podstawowe nazwy i pojęcia z zakresu fizyki przejęły również z języka greckiego. Kinematyka brzmi podobnie w innych językach nowożytnych. Na przykład po angielsku to „kinematics”, po niemiecku to kinematik, po francusku - cinématique. Analogicznie dynamika to dynamics, dynamik, dynamique. Podobnie jest w przypadku innych nazw.

Podsumowanie

Zastanawiając się nad funkcją szkoły we współczesnym świecie należy uwzględnić zupełnie inne warunki życia dzieci niż na przykład w czasach przed reformą oświaty. We współczesnym świecie dzieci mają nieograniczony dostęp do wiedzy podawanej w różnej formie: książki, Internet, telewizja, radio z programami edukacyjnymi itd. Już w przedszkolu uczą się języków obcych. Rodzice dzisiejszych uczniów często mają wykształcenie na poziomie pozwalającym na edukowanie własnych dzieci.

Szkoła i nauczyciel przestali być jedynym źródłem wiedzy. Ważną funkcją szkoły jest obecnie porządkowanie, usystematyzowanie wiedzy nabywanej poza szkołą, kształcenie umiejętności uczenia się, eksperymentowania, wnioskowania itd. Biorąc to pod uwagę zastanawia mnie, dlaczego autorzy podstaw programowych zakładają, że uczniowie nie będą w stanie opanować naukowego słownictwa. Widzę tu pewną skłonność do infantylnego traktowania uczniów.¹¹

Z drugiej strony powszechne są narzekania na ubóstwo językowe młodzieży, na skłonność do komunikowania się skrótami (mam tu na myśli nie tylko SMS). Może unikając wprowadzania nowych nazw sprzyjamy temu zjawisku?

Wprowadzając naukowe terminy i pojęcia rozbudzimy ciekawość uczniów, a oni sami poczują się docenieni, potraktowani po partnersku. W codziennej pracy przynajmniej nauczyciel powinien nazywać rzeczy po imieniu. Mówmy o mechanice, dynamice, kinematyce itd., a uczniowie niech sami zdecydują czy włączą te nazwy do swojego słownictwa. Przynajmniej dajmy im na to szansę.

⁸ Z greckiego - „dynamis” znaczy siła, władza.

⁹ Słownik fizyczny, wyd. WP 1984 r.

¹⁰ Z greckiego στατός znaczy „trwały, stały”.

¹¹ W pedagogice infantylizm jest przejawianiem się u dorosłych cech, zachowań, postaw, które są typowe dla dzieci, lub u dzieci starszych typowych dla dzieci młodszych – Wikipedia



Tadeusz Wibig

Jedynie, co łączy eksperymenty Newtona z pryzmatami i odkrycie przez niego prawa powszechnego ciężenia, to Robert Hooke.

A zaczęło się od tego, że Newton zaprezentował w 1672 roku w Towarzystwie Królewskim swoje prace z optyki. Jak wiadomo uważał on, że światło ma naturę cząsteczkową, a to, co uważane jest za światło białe jest złożeniem (siedmiu) barw tęczy.

Argumenty Newtona były proste i oczywiste, a wynikały z doświadczeń, jakie systematycznie prowadził już od czasów studenckich. Korpuskularną teorię światła opierał na obserwacji, że światło porusza się po liniach prostych i nie ulega żadnym zakrzywieniom mijając stojące na jego drodze nieprzezroczyste przeszkody. Fale, jakie obserwujemy na wodzie, czy dźwięk, o którym wiadomo było, że ma naturę falową uginają się. Trzeba w tym miejscu zaznaczyć, że słynne doświadczenie Younga z dyfrakcją wykonane zostało dopiero na samym początku XIX wieku. Przed Newtonem obowiązywała koncepcja Kartezjusza (tego od układu współrzędnych i od „myślę, więc jestem”), że światło jest zaburzeniem rozchodzącym się w bliżej niezidentyfikowanym ośrodku.

Obrazoburczy pomysł Newtona spotkał się ze sprzeciwem znacznej części środowiska, a głównym jego oponentem był właśnie Robert Hooke. Był to też wielki i uznany fizyk, odkrywca i innowator, kierownik działu eksperymentów w Towarzystwie Królewskim. Znany dziś przede wszystkim z prawa Hooke’a, tego, które mówi o rozciąganiu sprężynek w zadaniach szkolnych, ale także o wszelkich reakcjach ciał sztywnych i sprężystych na działanie przykładanych doń sił. Wiedza taka jest absolutnie niezbędna, gdy chcemy zbudować most albo drapacz chmur. To Hooke przez skonstruowany przez siebie mikroskop jako pierwszy zobaczył komórki, odkrył gwiazdy podwójne i Wielką Czerwoną Plamę na Jowiszu i zasługuje niewątpliwie na osobną

Isaac Newton (1642/43-1727) – ciąg dalszy

Na ramionach olbrzymów

opowieść, może też i dlatego, że człowiekiem był, jak i wielu innych wielkich fizyków, nietuzinkowym. Jego pierwszy biograf twierdził, że Hooke był „podły, nikczemny, mrukliwy, nieufny i zazdrosny”. Opinia ta powtarzana przez stulecia utrwaliła obraz Hooke’a, jako „niezadowolonego, samolubnego, społecznego kurdupla” (przepraszam za to słowo, ale takie tłumaczenie znajdzie uzasadnienie pod koniec tego tekstu). Ogólnie nic miłego, a czy to prawda, to już zupełnie inna kwestia.

Wzajemna głębsza niechęć Hooke’a i Newtona ujawniła się po raz pierwszy, gdy Hooke zgłosił pierwszeństwo do odkrycia kolorowych wzorów interferencyjnych obserwowanych przez niego pod mikroskopem, a znanych dziś powszechnie w wersji *pierścieni Newtona*. Ale to był jedynie wstęp do właściwej walki o uznanie i honory wśród współczesnych i pamięć u potomnych.

A jeśli chodzi o grawitację, to początkowo nic nie zapowiadało zbierającej się burzy. W 1684 roku młody astronom Edmund Halley (ten od komety) zasugerował w korespondencji wymienianej z Hookiem, że siła przyciągania między planetami a Słońcem maleje odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości między nimi. Twierdził, że gdyby to była prawda, wówczas orbita każdej planety powinna przybrać kształt elipsy, co świetnie zgadzałoby się z obserwacjami Keplera i jego pierwszym prawem. Problem był tylko w tym, że nie wiadomo było, jak to precyzyjnie i matematycznie udowodnić.

Hooke podobno twierdził, że dowód taki to on już ma, ale nie powie, póki co. Miał to zrobić za dwa miesiące, ale czas ten minął i minęło jeszcze pół roku, aż wreszcie Halley nie wytrzymał i pojechał porozmawiać z Newtonem. Ku jego zaskoczeniu, bo Newton do miłych ludzi się jakoś też nie zaliczał, spotkanie przebiegło w przyjaznej atmosferze, aż w końcu padło pytanie Halleya: „jakiego rodzaju krzywą opisywałyby planety, zakładając, że siła przyciągania do Słońca jest odwrotnością kwadratu ich odległości od niego?” Newton podobno bez wahania odpowiedział, że byłaby to elipsa, a gdy zdziwiony Halley zapytał go, skąd to wie, Newton odparł: „już to obliczyłem”.

Halley oczywiście poprosił o pokazanie tych wyliczeń, jednak Izaak jakoś znaleźć, tak na szybko, ich nie mógł, ale obiecał, że przyśle je niebawem Halleyowi do Londynu. Czas znowu zaczął mijać, aż tu niespodziewanie w listopadzie na ręce Halleya dotarła przesyłka od Newtona, a w niej był krótki traktat *De Motu Corporum in Gyrum* („O ruch ciał orbitujących”, czy jakoś tak), który przedstawił on 10 grudnia na posiedzeniu Towarzystwa Królewskiego. A później, po miesiącach niezwykle intensywnej pracy, w kwietniu 1686 roku Newton opublikował pierwszą część *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ze swoją (?) teorią grawitacji.

Nic dziwnego, że Hooke musiał poczuć się dotkniętym do żywego. Oczywiście oskarżył Newtona o plagiat. Swą

wersję historii odkrycia prawa grawitacji spisał w nieopublikowanym za jego życia krótkim, niedatowanym precyzyjnie memorandum zatytułowanym „*A True state of the Case and Controversy between Sr Isaac Newton & Dr Robert Hooke as to the Priority of that Noble Hypothesis of Motion of ye Planets about ye Sun as their Centre*”.

Hooke twierdził, że to on podsunął Newtonowi pomysł, który doprowadził go do prawa powszechnego ciężenia i domagał się uznania go za autora samej idei powszechnej grawitacji. Newton rzecz jasna zaprzeczył i przyznał jedynie, że korespondencja z Hookiem ożywiła jego zainteresowanie astronomią i tyle.

Zakończmy tę historię przywołaniem słynnego zdania, jakie Newton napisał w liście do Hooke’a w 1676 roku:

„Jeśli widziałem dalej, to tylko dlatego, że stałem na ramionach olbrzymów”.

Niektórzy dopatrują się w nim aluzji do niewielkiego wzrostu Roberta Hooke’a, choć patrząc na datę przypisywanie Newtonowi tak daleko posuniętej złośliwości jest chyba przesadą.

Niektórzy też złośliwie twierdzą, że Newton, gdy tylko po śmierci Hooke’a został prezesem Towarzystwa Królewskiego i nadzorował przeprowadzkę do nowej siedziby w Crane Court, dopuścił do tego, że portret Hooke’a wiszący na ścianie w Gresham College nieszczęśliwie gdzieś się zawieruszył – za zawsze. Oczywiście nie wiadomo, czy było tak naprawdę.



Doświadczenie domowe:

Pryzmat – inaczej

A. Potrzebne materiały

1. Arkusz przezroczystej sztywnej plastikowej folii.
2. Naczynie szklane o podstawie prostokątnej (małe akwarium, salaterka).
3. Wąska szczelina wycięta w sztywnym kartonie.
4. Arkusik białego papieru.
5. Lusterko.
6. Słońce i woda.

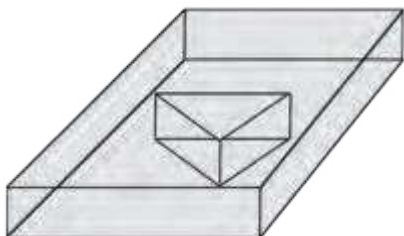
B. Narzędzia – urządzenie do klejenia na gorąco, nożyczki

C. Kolejność czynności

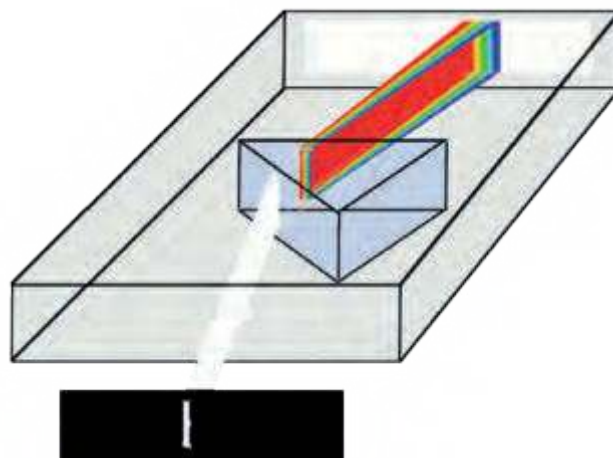
1. Wyciąć z przezroczystej grubej folii prostokąt o wymiarach (4+4+4) cm na ~2 cm (wg rysunku).



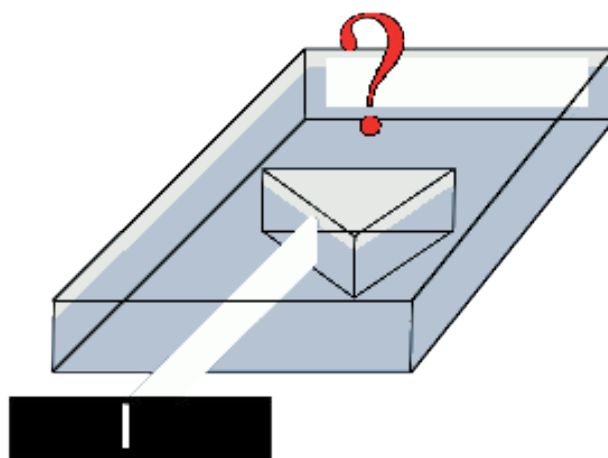
2. Zaznaczyć delikatnie linie składania.
3. Skleić z prostokąta powierzchnię boczną graniastosłupa o podstawie trójkąta równobocznego.
4. Nałożyć gorącego kleju na dno pojemnika szklanego i wkleić doń powierzchnię boczną. Sprawdzić, czy jest sklejonny wodoszczelnie (uwaga gorące!).



5. Poczekać aż ostygnie.
6. Nalać do graniastosłupa wody – i mamy klasyczny pryzmat.
7. Przy użyciu nożyczek wyciąć w sztywnym kartonie szczelinę o szerokości około 1 mm i długości kilku centymetrów.
8. Ustawić ją pionowo.
9. Ustawić lusterko na drodze promienia słonecznego tak, aby skierować go w miarę poziomo na szczelinę.
10. Z białego papieru wyciąć prostokąt i zamocować go jako ekran na jednej ze ścian naczynia.
11. Ustawić naczynie z pryzmatem na drodze wiązki światła za szczeliną.
12. Na ekranie powinno być widać tęczę. Najmniej odchylony od pierwotnego kierunku powinien być kolor czerwony, a najbardziej niebieski.



13. W drugiej części doświadczenia należy wylać wodę z pryzmatu, a nalać jej do naczynia tak, aby wewnątrz graniastosłupa pozostało powietrze, a dookoła woda
14. Ustawić teraz odpowiednio szczelinę



i odpowiedzieć, w którą stronę odchyli się teraz wiązka światła i jak będzie teraz z kolorami tęczy?

Tadeusz Wibig
Uniwersytet Łódzki
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej

W następnym wydaniu m.in.

Czy wodór jest paliwem przyszłości?

Wodór jest jednym z najbardziej powszechnych, po tlenie i krzemie, pierwiastków z występujących na naszej planecie. Jest najlżejszym ze znanych nam pierwiastków, jest bezwonny, bezbarwny oraz nietoksyczny. Dzięki tej charakterystyce oraz przede wszystkim ze względu na swoją wydajność energetyczną, wydaje się być idealnym paliwem przyszłości. Ale czy faktycznie tak jest? Czy wodór jest paliwem przyszłości?

Laser z barwnikiem zbadają DNA

Zespół naukowców z Laboratorium Procesów Ultraszybkich Wydziału Fizyki UW wspierany przez badacza z Chalmers University of Technology (Szwecja) pokazał, w jaki sposób można wykryć zmiany struktury DNA, wykorzystując wyłącznie metody optyczne oparte na emisji światła. Osiągnięto to poprzez detekcję zmian w czasie natężenia światła emitowanego przez związany z badanym materiałem barwnik po wzbudzeniu go krótkim impulsem światła oraz wykorzystanie zjawiska wzmocnienia emisji spontanicznej w ośrodku wzbudzonym silnym impulsem laserowym. Praca opisująca te doświadczenia trafiła na okładkę jednego z czołowych pism z zakresu chemii fizycznej, *The Journal of Physical Chemistry Letters*.

W Laboratorium Procesów Ultraszybkich (LPU) prowadzone są prace nad rozwojem metod wykorzystujących światło widzialne do badania materiałów biologicznych na poziomie molekularnym. Rozwijane metody opierają się na dwóch zjawiskach: po pierwsze, szybkość, z jaką wzbudzone wskutek absorpcji światła cząsteczki barwników organicznych oddają uzyskaną energię może zależeć nie tylko od cech samych cząsteczek, ale i od ich otoczenia. Taką właściwość mają wykorzystane w badaniach opublikowanych w *The Journal of Physical Chemistry Letters* cząsteczki Tioflawiny T, które ponadto chętnie wiążą się z cząsteczkami DNA. W opublikowanej pracy zademonstrowano, że badając szybkość relaksacji cząsteczek Tioflawiny T po wzbudzeniu ich krótkimi impulsami światła laserowego można uzyskać informacje o strukturze DNA, z którym są one związane.

Drugim efektem wykorzystywanym w pracach prowadzonych w LPU jest wzmocnienie światła w wyniku zjawiska emisji wymuszonej. Jest to proces, na którym opiera się działanie lasera i polega na tym, że foton oddziałując z optycznie wzbudzoną cząsteczką może wymusić emisję drugiego, identycznego fotonu. Dzięki temu w silnie wzbudzonym ośrodku (w którym jest więcej cząsteczek w stanie wzbudzonym niż podstawowym) może



Foto – fragment okładki czasopisma ilustrujący doświadczenie.

zachodzić lawinowe wzmocnienie światła. Kiedy światło wzmocniane pochodzi ze spontanicznej emisji fotonów przez cząsteczki znajdujące się w tym samym ośrodku, dochodzi do generacji tzw. wzmocnionej emisji spontanicznej (ang. *amplified spontaneous emission*, ASE). Jeśli ośrodek jest niejednorodny, czyli rozprasza światło (tak jak materiały biologiczne), to własności ASE (natężenie, widmo) zależą od ścieżek przebywanych przez fotony w ośrodku, a te są z kolei związane ze strukturą materiału. Gdy szybkość relaksacji cząsteczek wzmocniających światło również jest związana ze strukturą materiału (jak ma to miejsce w przypadku Tioflawiny T), to wskutek połączenia wszystkich efektów własności ASE mogą wykazywać bardzo silną zależność od tej struktury.

Prowadzone w LPU prace nad zastosowaniami wzmocnionej emisji spontanicznej w materiałach biologicznych dotyczą nie tylko badań struktury DNA, ale również mechanizmów agregacji białek, które prowadzą do powstawania toksycznych agregatów, tzw. amyloidów, odpowiedzialnych za szereg chorób, w tym chorób neurodegeneracyjnych, takich jak choroby Alzheimer'a i Parkinsona.

<https://www.fuw.edu.pl/informacja-prasowa/news7018.html>

Kosmiczne pszczoły

Królowe pszczół zostały nietypowymi pasażerkami symulatora szkoleniowego dla astronautów i pilotów woj-



Królowa wraz z rodziną – foto Dreamstime.

skowych. Doktorantka Dagmara Stasiowska z Akademii Górniczo-Hutniczej sprawdza w ten sposób czy pszczoły będą mogły towarzyszyć ludziom na Marsie i czy będą mogły zapyłać uprawy w marsjańskich szklarniach.

Badaniom poddano osiem rodzin pszczelich. Cztery królowe wraz z niewielką „świątą” odbyły lot symulowany na wirówce imitującej profil przeciążeniowy startującej rakiety. Cztery pozostałe rodziny stanowiły grupę kontrolną.

Zebrane dane, dotyczące zdolności reprodukcyjnych królowych tj. ilości składanych jaj i ich dystrybucji w czasie, posłużą następnie do stworzenia modelu komputerowego „kosmicznych pszczół”. Model będzie bazował na istniejącym i szeroko wykorzystywanym modelu BEEHAVE, uwzględniającym wiele czynników, zarówno środowiskowych jak i charakterystycznych dla dynamiki rozwoju rodzin pszczelich. Stworzony model będzie mógł zostać wykorzystany w przyszłości np. w trakcie projektowania odpowiednich transporterów, chroniących zapyłacze przed przeciążeniami w trakcie lotu rakiety.



O prędkości

Foto – Dreamstime

Przeglądając podręczniki szkolne do fizyki, z pewnym zdziwieniem, zauważyłem fascynację pojęciem prędkości. O tym pojęciu znajdziemy w nich bardzo dużo, chyba zdecydowanie zbyt dużo, w stosunku do względnie niewielkiego fizycznego znaczenia tego pojęcia. Oczywiście to ważne pojęcie, jednak zdecydowanie drugorzędne w stosunku do pojęcia pędu, traktowanego w szkole po macoszemu.

Jerzy Kuczyński

Przed wszystkim prędkość jest, przynajmniej częściowo, niefizyczna. I w tym miejscu należy zrobić dygresję na temat pojęcia „fizyczności”. Nie wchodząc zbyt głęboko w problem, zwykle się uważa, że fizyczne jest to co znajduje się w równaniach dynamiki¹. Wielkości nie znajdujące się jawnie w tych równaniach mają zwykle ograniczoną fizyczność. Do jakiego stopnia jest to ograniczona fizyczność zależy od wielu czynników, wśród których na pewno wymienimy status empiryczny i strukturę teorii.

W zależności od (często nawet nie uświadamianych!) poglądów filozoficznych wymienimy wiele innych czynników takich jak rola w światopoglądzie, znaczenie praktyczne czy wręcz sentyment do danej wielkości. Jakkolwiek by jednak nie było reguła uzasadnienia stopnia fizyczności danej wielkości wygląda zawsze tak samo. Znajdujemy związek danej wielkości z równaniami dynamiki a następnie sprawdzamy jak dana wielkość zmienia się w wyniku transformacji nie zmieniających równań. Zobaczmy, jak to działa w przypadku mechaniki newtonowskiej. Równania² Newtona mają postać

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} - F = 0 \quad (1)$$

z czego wynika, że pierwsza pochodna położenia, czyli prędkość w równaniu nie występuje. Z tego powodu określona jest z dokładnością do stałej dowolnej. Dowolność wyboru tej stałej to oczywiście transformacja Galileusza

$$v' = v + v_0$$

gdzie v_0 to owa stała dowolna, mająca sens wyboru układu współrzędnych. Wybór układu współrzędnych jest aktem woli, a więc prędkość w mechanice klasycznej zależy przynajmniej częściowo od aktu woli. Fizyczna jest co najwyżej klasa równoważności generowana przez odpowiednią transformację. I w tym momencie widać, dlaczego prędkość można uważać za częściowo niefizyczną.

Istotą fizyki jest obiektywizm, czyli niezależność od woli, a prędkość można zmieniać wybierając układ współrzędnych, czyli przez odpowiedni akt woli.

Jeszcze inaczej można to wyrazić poprzez twierdzenie, że fizyka nie akceptuje magii, która w ogólnym przypadku akceptuje realny wpływ woli na rzeczywistość³. Oczywiście można zmodyfikować równanie Newtona do postaci

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha \frac{dx}{dt} - F = 0 \quad (2)$$

i takim przypadku prędkość $\frac{dx}{dt}$ staje się w pełni fizyczną wielkością. Nietrudno zbadać jaki jest tego skutek. Przede

¹ To wynik założenia o tym, że równania dynamiki są niezmiennicze względem odpowiedniej grupy symetrii. W pewien sposób to nieco ogólniejsza prawda - za fizyczne można uznać to co niezmiennicze.

² Równania, bo na każdą zmienną (stopień swobody) jest zwykle osobne równanie.

³ Magia wg. Wielkiego Słownika Wyrazów Obcych PWN: ogół wierzeń i praktyk opartych na przekonaniu o istnieniu sił nadprzyrodzonych, które można opanować za pomocą zaklęć i obrzędów. Inaczej mówiąc wpływ na rzeczywistość przy pomocy czynności, które nie mają fizycznego związku ze skutkiem, a o podjęciu których możemy zdecydować aktem woli. Stąd nie akceptując magii akceptujemy jako fizyczne jedynie obiekty niezależne od tych aktów.

wszystkim przestaje obowiązywać transformacja Galileusza. Jeżeli $x(t)$ jest rozwiązaniem równania (2) to

$$x'(t) = x(t) + v_0 t$$

rozwiązaniem już nie jest

$$\frac{dx'}{dt} = \frac{dx}{dt} + v_0$$

oraz

$$\frac{d^2 x'}{dt^2} = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

Podstawiając te wielkości do (2) otrzymujemy

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha \frac{dx}{dt} + v_0 - F = v_0 \neq 0 \quad (3)$$

Okazuje się, że to nie wszystko. Równanie (2) łamie najbardziej ukochaną w szkolnej fizyce zasadę, jaką jest zasada zachowania energii. Łatwo zauważyć, że rozwiązanie równania (2) ma dla stałej siły postać

$$x(t) = C_1 \exp\left(-\frac{\alpha}{m} \cdot t\right) + \frac{F}{\alpha} \cdot t + C_2 \quad (4)$$

Gdzie C_1 i C_2 są stałymi dowolnymi (a więc (4) jest rozwiązaniem ogólnym).

Warto zwrócić uwagę na własności tego rozwiązania. Dla dodatnich stałych m i α znikają standardowe własności równań fizyki. Przede wszystkim jest wyróżniony moment – po bardzo krótkim okresie (dodatnich m i α) znika człon z eksponentą co oznacza, że w równaniu przestaje mieć znaczenie człon z drugą pochodną a rozwiązanie uzyskuje postać

$$x(t) = \frac{F}{\alpha} \cdot t + C_2 \quad (5)$$

oznacza to, że prędkość jest równa

$$\dot{x} = \frac{F}{\alpha}$$

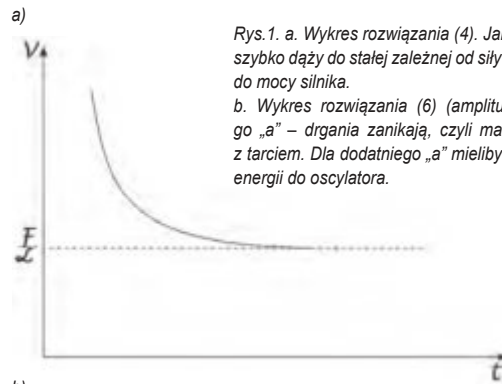
czyli sile podzielonej przez współczynnik tarcia, bo oczywiście człon $\alpha \cdot \dot{x}$ w równaniu (2) to człon „tarciowy”. Warto zauważyć, że w takim przypadku mamy do czynienia z „fizyką Arystotelesa”⁴ bo poza krótkim okresem rozpędzeń i hamowań prędkość jest proporcjonalna do siły. Moc to siła razy droga, więc w efekcie mamy

$$M = \frac{F^2}{\alpha} = \alpha \cdot \dot{x}^2$$

Albo inaczej – prędkość jest proporcjonalna do pierwiastka z mocy (silnika). Warto zauważyć, że ... znakomicie opisuje to codzienność motoryzacyjną, w której prędkość pojazdu zależy od mocy silnika. Warto dodać, z niezłym przybliżeniem, do pierwiastka z tej mocy.

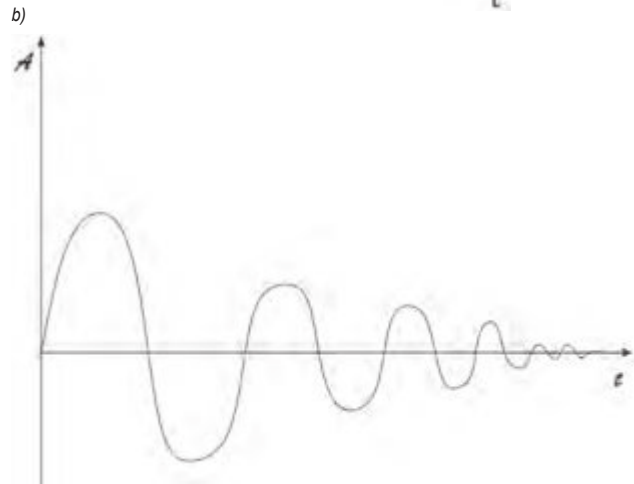
⁴ Autor pamięta, że w Postęпах Fizyki przeczytał stwierdzenie, że większość zawodowych fizyków myśli kategoriami fizyki Arystotelesa, której nikt ich nie uczył a nie kategoriami fizyki newtonowskiej, której sami nauczają. Niestety nie pamięta nawet w przybliżeniu w jakich latach to było i mimo kilku prób nie potrafił znaleźć odpowiedniego artykułu. Częściowo dla uproszczenia rachunków (bo równanie jest wtedy jednorodne) a częściowo dlatego, że opisuje wówczas bardzo istotne i typowe obiekty jakimi są oscylatory. Z tego ostatniego powodu przyjęto dodatni znak k .

⁵ Twierdzenie mówi, że dla każdej n -parametrowej grupy dyfeomorfizmów będącej symetrią układu fizycznego (konkretnie lagranżowskiego, ale to w pewnym sensie szczegół) istnieje n całek pierwszych. W przypadku gdy symetrią tą jest translacja w czasie odpowiednią całką jest energia. Innymi słowy prawa zachowania energii spodziewamy się, gdy ewolucja układu ma symetrię translacyjną w czasie. Wówczas hamiltonian (funkcja Hamiltona) nie zależy od czasu, a więc energia jest stała. Oczywiście twierdzenie w drugą stronę nie zachodzi – może być układ ewoluujący nietrywialnie i zachowujący energię. Może, ale w ogólnym przypadku nie musi i brak tej symetrii jest mocną sugestią braku zachowania energii. W szczególności OTW takiej symetrii nie ma stąd i problemy z zachowaniem energii (np. przesunięcie ku czerwieni) w trakcie ewolucji Wszechświata. Ale to już zupełnie inna bajka.



Rys. 1. a. Wykres rozwiązania (4). Jak widać prędkość szybko dąży do stałej zależnej od siły lub równoważnie do mocy silnika.

b. Wykres rozwiązania (6) (amplitudy) dla ujemnego „a” – drgania zanikają, czyli mamy do czynienia z tarciem. Dla dodatniego „a” mielibyśmy pompowane energii do oscylatora.



Rozwiążmy jeszcze to równanie dla siły proporcjonalnej do zmiennej „x”. Równanie ma wówczas postać

$$x(t) = A_{1,2} \exp((a \pm bi)t) \quad (6)$$

gdzie $A_{1,2}$ są stałymi całkowania odpowiadającymi rozwiązaniom „z plusem” i „z minusem”, a stałe a i b mają oczywistą postać

$$a = \frac{\alpha}{2m} \quad \text{ i } \quad b = \frac{\sqrt{\alpha^2 - 4m \cdot k}}{2m}$$

Część urojona rozwiązania (6) to oczywiście sinus i cosinus a część rzeczywista jest eksponentą „nadymającą” lub „wygaszającą” oscylacje a rozwiązanie ma postać

$$x(t) = A \cdot e^{at} \cdot \sin(bt)$$

I w tym przypadku oczywiste jest, że człon $\alpha \frac{dx}{dt}$ w zależności od znaku α dostarcza lub usuwa energię z układu łamiąc zasadę zachowania energii. Przyczyna tej własności rozwiązań (4) i (6) jest oczywista. W obu przypadkach powyższe rozwiązania nie mają symetrii translacyjnej w czasie. Tym samym ewolucja układu nie jest trywialna i zgodnie z twierdzeniem Noether⁵ spodziewamy się

złamania prawa zachowania energii. W tej sytuacji często spotykamy próbę obrony tego prawa przez „dołączenie do układu otoczenia”. Otoczenie absorbuje energię⁶, a tak postępujący twierdzą, że prawo nadal obowiązuje a jedynie tarcie powoduje rozpraszanie energii.

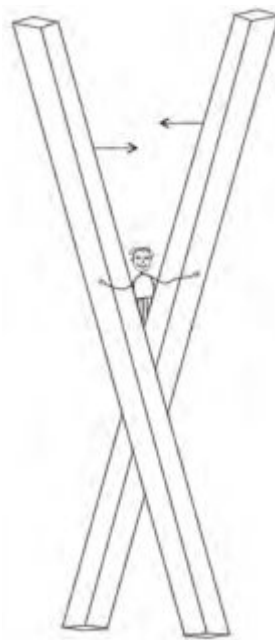
Są dwa powody by uznać, że takie postępowanie nie jest poprawne. Pierwszy to ten, że mamy już w tym momencie nie mechanikę a termodynamikę. Dodajmy, ta ostatnia też łamie symetrię Galileusza (Lorenza oczywiście też). Podobnie jak w przypadku tu omawianego ruchu w przypadku termodynamiki wprowadzimy układ obserwować z dowolnego miejsca, jednak jego własności możemy opisywać w konkretnym układzie.

Mówiąc obrazowo gwiazdy możemy obserwować przez teleskop, jednak opis ich świecenia musimy przeprowadzać w ich układzie spoczynkowym. Drugi powód jest taki, że postępując w ten sposób z zasady można uzyskać dowolne prawo zachowania. Po prostu dołączając do układu jakiś kanał „ucieczki wielkości fizycznej” trzeba uzasadnić prawdziwość tej ucieczki. Np. przez odpowiedni pomiar. Bez takiego uzasadnienia otwiera to drogę do niemal dowolnego fantazjowania i jest zwykłym, w nauce nie tolerowanym oszustwem.

Jak widać koszt „ufizycznienia” prędkości jest spory i nie bez powodu nie budzi entuzjazmu.

Warto dodać, że w kwestii „fizyczności prędkości” to nie wszystko. Bez większego trudu można konstruować wielkości fizycznopodobne nie będące wielkościami fizycznymi lub takie, których fizyczność jest wątpliwa. W tym celu wystarczy z wielkości fizycznych przy pomocy operacji matematycznych stwarzać nowe wielkości. Oczywiście postępując w ten sposób czasem zbudujemy wielkość fizyczną. Czasem nawet bardzo użyteczną wielkość fizyczną umożliwiającą głębsze zrozumienie rzeczywistości⁷. Ale najczęściej takie twory sensu nie mają. I to nie jest zbyt szkodliwa sytuacja. Po prostu w oczywisty sposób mamy wówczas do czynienia z bezsensowną konstrukcją.

Gorzej, gdy konstrukcja ma jakiś ograniczony sens. I to można pokazać na mało skomplikowanym (a więc łatwym do zrozumienia) przykładzie prędkości. Oczywiście prędkość to wynik dzielenia wielkości mających sens odległości przez wielkości mające sens czasu. I jest jasne, że w ogólnym przypadku taki iloraz jest kompletnie bez sensu. No bo jaki sens może mieć iloraz obwodu gruszy z mojego ogródka przez czas obiegu Saturna wokół Słońca. Na to by taki iloraz miał sens wspomniana odległość i czas muszą być ze sobą istotnie powiązane. Widać z tego, dlaczego pęd jest ogólnie rzecz biorąc bardziej fizyczny od prędkości. Np. w mechanice klasycznej to prędkość ciała pomnożona przez jego masę. Wyklucza to automatycznie



Rys. 2. Wspomniane w tekście dwie mijające się belki. Punkt ich skrzyżowania nie jest obiektem fizycznym, mimo że może dokonać dekapitacji. Prędkość jego przesuwu wzdłuż belek nie jest niczym ograniczona. Fizyczną prędkością jest zaznaczona strzałkami prędkość belek (kopia pamięciowa rysunku widzianego w czasie wykładu, gdy autor był studentem I roku).

dzielenie nie związanych ze sobą odległości i prędkości. A ciało masywne jest zdecydowanie fizyczne.

Dodatkowo warto zauważyć, że równania ruchu można zapisać przy użyciu pędu⁸ co zgadza się z uwagą, że fizyczne jest to co znajduje się w równaniach ruchu. Po między tymi dwoma skrajnościami istnieje też spora ilość przypadków, gdy związek odległości i czasu ma własności mało oczywiste i na pierwszy rzut oka uzyskana prędkość wydaje się mieć sens fizyczny.

Takim przypadkiem (o którym opowiadał na wykładzie, nam, wówczas studentom pierwszego, roku prof. A. Hryniewicz p. Rys. 2.) są dwie, prawie równoległe belki mijające się w bardzo małej odległości. Punkt „spotkania” tych belek jest wprawdzie dobrze określony i nawet może coś fizycznego wykonać⁹ jednak jest jedynie ludzkim konstruktem a nie obiektem fizycznym. Można to zauważyć np. obliczając jego prędkość. Jeżeli belki są kilometrowej długości i tak równoległe, że w momencie, gdy jedno ich końce stykają się to drugie są odległe o jeden milimetr a wzajemna prędkość wynosi 1 km/s to prędkość „punktu spotkania” wynosi milion kilometrów na sekundę, a więc przeszło 3 c.

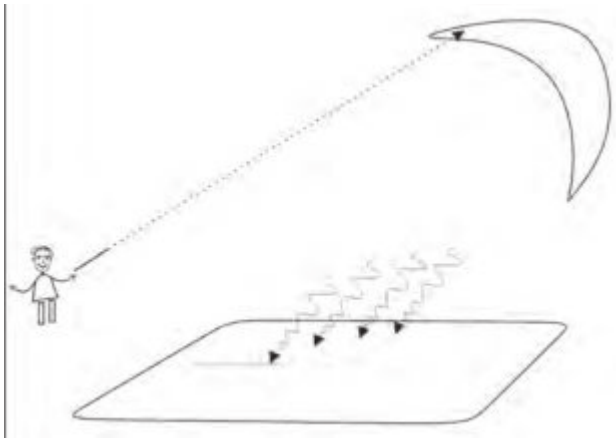
Inny przykład to plamka świetlna na Księżycu (p. Rys.3.) – poruszając ręką trzymającą laser z umiarkowaną prędkością 1 m/s nadajemy laserowi prędkość kątową rzędu 100^0 na sekundę. Kierując światło lasera na Księżyc spowodujemy, że plamka świetlna lasera przebiegnie Księżyc w ciągu jednej dwusetnej sekundy,

⁶ Lub „silnik” dostarcza energię do układu.

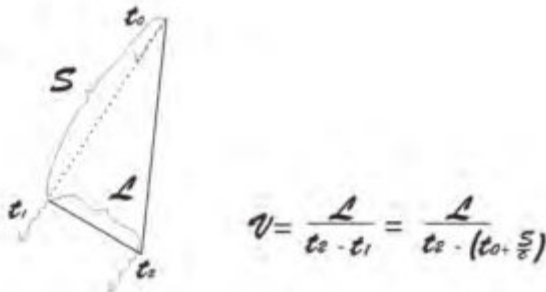
⁷ Czasem nawet po prostu zrozumienie. Tę ostatnią sytuację nazywamy odkryciem naukowym.

⁸ W postaci $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$, warto zauważyć, że alternatywną postacią jest $\frac{dE}{dx} = \vec{F}$ (gradient E jest równy sile) gdzie E , \vec{p} , \vec{F} , \vec{x} , to odpowiednio energia i wektory pędu, siły i położenia. Warto zauważyć (A.K. Wróblewski, Historia fizyki), że przez pewien czas zastanawiano się, który z tych wzorów jest poprawny, zanim okazało się, że są równoważne.

⁹ Na rysunku demonstrowanym przez Profesora między belkami znajdowała się głowa człowieka, co wskazuje na to, że de facto niefizyczny „punkt styku” belek może wykonać całkiem poważny fizyczny skutek jakim jest obcięcie głowy.



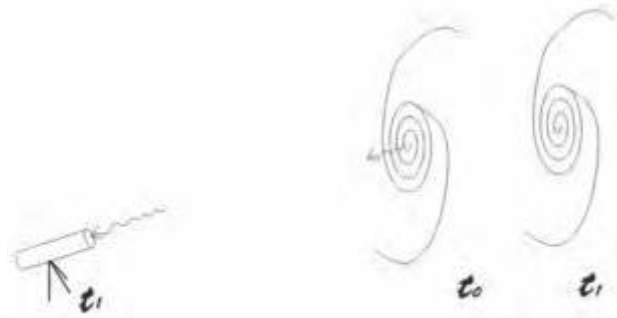
Rys. 3. „Zajęczka” na Księżycu. Struga światła (np. z lasera) przeciągnięta przez Księżyc bez trudu przekracza prędkość światła sugerując, że plamka świetlna biegnąca przez Księżyc ma wątpliwą fizyczność. Rzeczywiście na dole rysunku przedstawiona jest powierzchnia Księżycy do której dobiegają fotony. Oczywiście „zajęczka” tworzą w każdym miejscu inne fotony (których prędkość wynosi „c”). Fizyczna jest prędkość fotonów a nie biegnącego zajęczka.



Rys. 4. „Nadświetlny” ruch rzutu dżetu na sferze niebieskiej. Mierzona prędkość to wynik dzielenia drogi w kierunku prostopadłym do linii widzenia (na sferze niebieskiej) przez różnicę czasów $t_2 - t_1$, dotarcia do teleskopu fotonów z końców widocznego na sferze dżetu. Oczywiście ta różnica czasów jest równa różnicy czasów zaznaczonych na rysunku. Różnica czasów jest oczywiście mniejsza od L/c i przy dużej (podświetlonej) prędkości dżetu, prędkość rzutu dżetu na sferze niebieskiej bywa większa od prędkości światła. Sytuacja jest więc dość podobna do przedstawionej na Rys. 3. ruchu „zajęczka”

a więc z prędkość liniową kilku „c”. I oczywiście te wyraźnie przekraczające prędkość światła wartości, wskazują na to, że nie mamy do czynienia z fizycznymi prędkościami.

W przypadku belek fizyczna jest prędkość masywnych belek a w przypadku „zajęczka na Księżycu” prędkość fotonów. Plamki świetlne i punkty styku belek to jedynie „konstrukty” nie będące obiektami fizycznymi. Jak widać niefizyczne konstrukty mogą coś zrobić (uciąć głowę!) i są często jak najbardziej mierzalne (plamy świetlne).



Rys. 5. Prędkość „ucieczki” galaktyk. Foton opuszcza galaktykę w chwili t_0 i dociera do Ziemi (teleskopu) w chwili t_1 . W trakcie lotu fotonu Wszechświat się rozszerza i w momencie zarejestrowania fotonu w teleskopie zarówno odległość jak i długość fali fotonu (przesunięcie ku czerwieni) wzrosły i galaktyka jest w miejscu oznaczonym czasem t_1 . Oczywiście odległość między Ziemią a galaktyką jest zawsze większa od $c(t_1 - t_0)$ bo foton biegnie z prędkością światła! Dla przesunięcia ku czerwieni rzędu dziesięciu ta odległość sięga czterdziestu kilku miliardów lat świetlnych, a więc przekracza kilkakrotnie czas istnienia Wszechświata mnożony przez prędkość światła. Tym samym „prędkość ucieczki galaktyk” nie ma charakteru fizycznej prędkości choć ma całkiem poważny sens fizyczny. W szczególności, gdy osiąga wartość „c” to mamy do czynienia z horyzontem zdarzeń, ze wszystkimi tego konsekwencjami takimi jak np. promieniowanie Hawkinga.

Tym niemniej nie są to „obiekty fizyczne” a konstrukty. Dodajmy niekoniecznie ludzkie. Przyroda często konstruuje takie „niefizyczne” obiekty czasami wywołując konsternację u naukowców. Tu szczególnie obfitym źródłem przykładów służy astronomia. Np. dżet to rzeczywista struga materii poruszająca się w naszym kierunku (p. Rys. 4.). Ponieważ droga z „podstawy” strugi jest dłuższa niż z jej bliższego nam końca, światło do nas dochodzi w mniejszym odstępie czasu niż zostało wyemitowane. W konsekwencji może na sferze niebieskiej czasem obserwujemy prędkość większą od „c”. W tym przypadku „konstrukcji” podlega czas i dzielimy rzeczywistą drogę (rzutu na sferę!) przez znacznie pomniejszony czas.

Innym przykładem jest „ucieczka galaktyk”. Tu następuje ekspansja przestrzeni i mimo, że światło cały czas biegnie z właściwą sobie prędkością to w okresie jego biegu przestrzeń narasta i w wyniku tego odległość po przebyciu przez fotony swej drogi jest większa a tym samym wynik dzielenia tej odległości przez czas jest większy od prędkości światła.

W sytuacji, gdy wiemy, jak konstruować niefizyczne prędkości możemy tego typu tworów naprodukować niemal dowolną ilość¹⁰ niefizycznych prędkości. Oczywiście innych niż prędkość niefizycznych, mierzalnych a sugestywnych wielkości też nie brakuje. Jednak w przypadku prędkości takich przykładów jest wyjątkowo dużo, m.in. ze względu na to, że prędkość z natury rzeczy jest nie w pełni fizyczna. Dlatego warto o tym pamiętać i w sytuacji, gdy natkniemy się na jakąś osobliwą własność jakiejś prędkości warto zastanowić się czy przypadkiem nie mamy do czynienia z konstruktem mający niewielki sens fizyczny.

Rysunki Magdalena Kuczyńska-Szymik

¹⁰ Jednak nie jest to takie całkiem łatwe. Wymyślenie przekonującego przykładu mogącego oszukać fachowych fizyków wymaga sporo wysiłku i wyobraźni. Jednak nie przekracza możliwości inteligentnego człowieka stąd i pojawiające się czasem w poważnych czasopiśmiech błędne prace. Dodajmy, najczęściej napisane w dobrej wierze. Tak to jest, że nasza zdolność do przekonywania jest najsilniejsza w stosunku do nas samych

Zastosowanie teorii równoważnego źródła SEM do obliczania złożonych obwodów elektrycznych

Czesław Surowiec

Teoria ta ma zastosowania do rozwiązywania zadań, w których występują złożone obwody elektryczne, składające się z równolegle połączonych gałęzi zawierających źródła SEM i opory połączone ze sobą szeregowo. Pozwala ona w prosty sposób przekształcić taki układ gałęzi w jedno równoważne (ekwiwalentne) źródło SEM o równoważnej oporności wewnętrznej. Stosując ten sposób można przekształcić układ połączenia mieszanego elementów źródłowych SEM obwodu i bezźródłowych elementów (oporów) w układ połączenia szeregowego.

Wyodrębnijmy ze schematu dowolnego obwodu jedną grupę zawierającą n równolegle połączonych gałęzi zawierających źródła SEM i opory (rys. 1). Pozostałą część obwodu (beźródłową) przedstawia prostokąt.

Prąd I zapiszemy wzorem

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$= \frac{\varepsilon_1}{R_1} + \frac{\varepsilon_2}{R_2} + \dots + \frac{\varepsilon_n}{R_n} - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \cdot U \quad (1)$$

Zastępujemy n równoległych gałęzi jedną równoważną gałęzią zawierającą równoważną SEM ε , oraz równoważną oporność wewnętrzną R_w (rys. 2), dokonując to w ten sposób, aby prąd I napięcie U w układzie równoważnym było takie samo jak w dawnym układzie. W układzie przedstawionym na rys.2 prąd I zapiszemy

$$I = \frac{\varepsilon - U}{R_w} \quad (2)$$

Ponieważ warunki równoważności powinny być spełnione przy dowolnym prądzie i dowolnym napięciu U , porównując prawe strony zależności (1) i (2) otrzymujemy po rozbiściu uzyskanego równania na dwie zależności

$$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \cdot U = \frac{1}{R_w} \cdot U \quad (3)$$

$$\frac{\varepsilon_1}{R_1} - \frac{\varepsilon_2}{R_2} + \dots + \frac{\varepsilon_n}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i}{R_i} = \frac{\varepsilon}{R_w} \quad (4)$$

z (3) otrzymujemy

$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_w} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (5)$$

z (4) i (5) otrzymujemy

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i}{R_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}} \quad (6)$$

Stosując teorię równoważnego źródła SEM musimy pamiętać o tym, że:

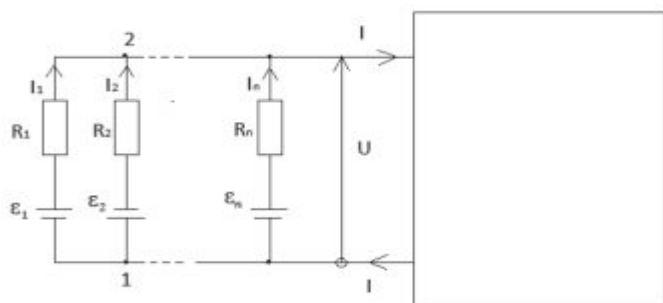
1. Przy obliczeniach dodatni znak SEM przyjmujemy, jeśli SEM w gałęzi jest zwrócona do węzła 2 (rys. 1) jak ε_1 , a ujemny jest zwrócona do węzła 1 jak ε_2 . Jeśli którakolwiek z równoległych gałęzi nie zawiera źródła

SEM np. ε_k to, w liczniku zależności (6) znika $\frac{\varepsilon_k}{R_k}$ ale w mianowniku pozostaje $\frac{1}{R_k}$ tej gałęzi.

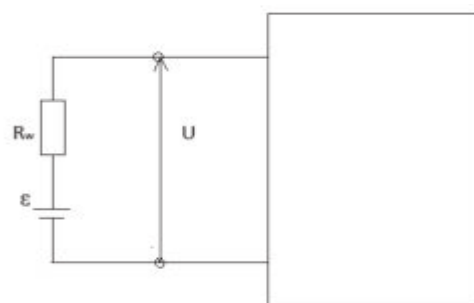
2. Przez opór gałęzi będziemy rozumieli:

- wewnętrzny opór źródła R_w , jeśli opór zewnętrzny gałęzi $R_z = 0$,
- opór zewnętrzny R_z , jeśli $R_w = 0$,
- sumę oporu zewnętrznego i wewnętrznego, jeśli obydwa występują jednocześnie i są połączone szeregowo $R = R_z + R_w$.

3. Z zależności (5) wynika, że równoważny opór wewnętrzny R_w nie zależy od źródeł SEM, podczas, gdy równoważna SEM, jak wynika z zależności (6) zależy nie tylko od źródeł SEM gałęzi, ale również od ich oporów.



Rys. 1



Rys. 2

4. Energia pobierana przez oporności gałęzi przed przekształceniem układu nie jest równa energii zużywanej w oporach równoważnych gałęzi układu przekształconego. We wszystkich gałęziach układu na rys. 1 przy $I = 0$ prądy w przypadku ogólnym nie są równe 0. Sumaryczna moc źródeł SEM będzie zużywana na pokrycie strat w opornościach gałęzi. W układzie przedstawionym na rys. 2 przy $I = 0$ w oporności równoważnej straty nie występują. Mimo niezmienniczości prądów i napięć w części układu nie objętej przekształceniem energia wytwarzana przez źródła SEM przed przekształceniem układu nie jest równa energii wytwarzanej przez źródła SEM po jego przekształceniu. Przy obliczaniu obwodów elektrycznych nie jest to przeszkodą w szerokim posługiwaniu się SEM równoważnej, ponieważ po wyznaczeniu prądu I w układzie równoważnym można powrócić do układu wyjściowego i znaleźć rzeczywiste prądy, energie i moce we wszystkich gałęziach obwodu (przykład 2).

5. W przypadku złożonych obwodów elektrycznych zawierających równolegle połączone gałęzie zawierające źródła SEM i opory ilość równań opisujących układ i ich rozwiązanie może być bardzo czasochłonne i sprawiać duże trudności, dlatego opisana teoria może znacznie ułatwić i skrócić czas ich rozwiązywania.

W rozwiązywanych przykładach zadań, aby skrócić czas ich rozwiązywania zadań i uprościć je (co może być istotne w pewnych przypadkach) ograniczyłem do niezbędnego minimum działania na oznaczeniach literowych i wykonywałem obliczenia cząstkowe.

Przykład 1.

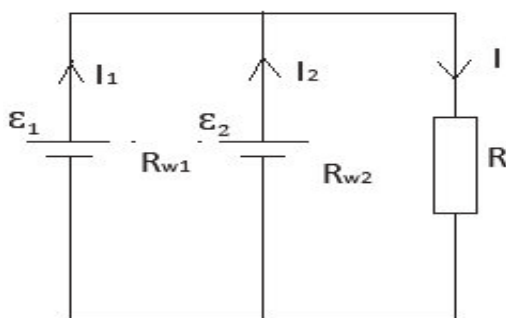
Dla obwodu, którego schemat przedstawia rys. 3:

- Wyprowadź zależności na SEM równoważnego źródła \mathcal{E} i jego opór wewnętrzny R_w .
- Dla $\varepsilon_1 = 1 \text{ V}$, $\varepsilon_2 = 2 \text{ V}$, $R_{w1} = R_{w2} = 1 \Omega$, $R = 0,5 \Omega$ oblicz: \mathcal{E} , R_w , natężenia prądów I , I_1 , I_2 .
- Jakie warunki muszą być spełnione, aby natężenie prądu I płynącego przez opór R było równe 0?

Rozwiązanie.

- Sposób 1 z wykorzystaniem równań Kirchhoffa. Rozwiązując zadanie wychodzimy z tego, że napięcie U na oporze R przy zamianie źródeł SEM powinno pozostać stałe. Z I prawa Kirchhoffa wynika zależność

$$I = I_1 + I_2$$



Rys. 3

Przy tym

$$U = \varepsilon_1 - I_1 R_{w1} = \varepsilon_2 - I_2 R_{w2} = I \cdot R \quad (1)$$

lub

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 - \varepsilon_2 &= I_1 R_{w1} - I_2 R_{w2} = I_1 R_{w1} - (I - I_1) R_{w2} \\ &= I_1 (R_{w1} + R_{w2}) - I R_{w2} \end{aligned}$$

$$\text{Stąd } I_1 = I \frac{R_{w2}}{R_{w1} + R_{w2}} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_{w1} + R_{w2}} \quad (2)$$

Wówczas

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 - I_1 R_{w1} &= \varepsilon_1 - \left(I \frac{R_{w2}}{R_{w1} + R_{w2}} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_{w1} + R_{w2}} \right) R_{w1} \\ &= \frac{\varepsilon_1 (R_{w1} + R_{w2}) - (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) R_{w1}}{R_{w1} + R_{w2}} - I \frac{R_{w1} R_{w2}}{R_{w1} + R_{w2}} \\ &= \frac{\varepsilon_1 R_{w2} + \varepsilon_2 R_{w1}}{R_{w1} + R_{w2}} - I \frac{R_{w1} R_{w2}}{R_{w1} + R_{w2}} = \varepsilon - I \cdot R_w. \end{aligned}$$

W ten sposób otrzymujemy

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_1 R_{w2} + \varepsilon_2 R_{w1}}{R_{w1} + R_{w2}} \quad (3)$$

$$R_w = \frac{R_{w1} R_{w2}}{R_{w1} + R_{w2}} \quad (4)$$

Sposób 2 z wykorzystaniem teorii równoważnego źródła SEM.

Z zależności (6) dla tej teorii otrzymujemy

$$\varepsilon = \frac{\frac{\varepsilon_1}{R_{w1}} + \frac{\varepsilon_2}{R_{w2}}}{\frac{1}{R_{w1}} + \frac{1}{R_{w2}}} = \frac{\varepsilon_1 R_{w2} + \varepsilon_2 R_{w1}}{R_{w1} + R_{w2}}$$

Z zależności (5) otrzymujemy

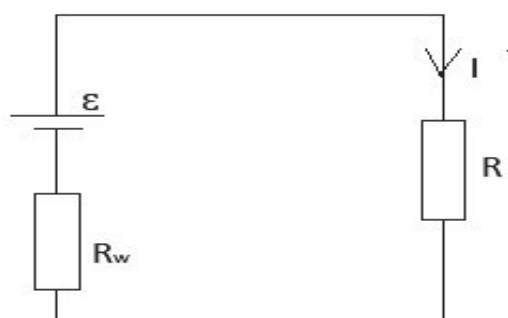
$$\frac{1}{R_w} = \frac{1}{R_{w1}} + \frac{1}{R_{w2}}$$

stąd otrzymujemy

$$R_w = \frac{R_{w1} \cdot R_{w2}}{R_{w1} + R_{w2}}$$

- Podstawiając wartości wielkości danych do wzoru (3) i (4) otrzymujemy

$$\varepsilon = 1,5 \text{ V}, \quad R_w = 0,5 \Omega$$



Rys. 4

Wartość I obliczamy na podstawie rys. 4 z zależności

$$I = \frac{\varepsilon}{R + R_w} = \frac{1,5V}{0,5\Omega + 0,5\Omega} = 1,5 \text{ A}$$

Podstawiając wartości danych do zależności 2 otrzymujemy $I_1 = 0,25 \text{ A}$.

Z zależności ① otrzymujemy $I_2 = I - I_1 = 1,5 \text{ A} - 0,25 \text{ A} = 1,25 \text{ A}$

c) Z zależności $I = \frac{\varepsilon}{R + R_w}$ wynika, że $I = 0$, jeśli $\varepsilon = 0$.

Z zależności ③ wynika, że aby $\varepsilon = 0$ musi zachodzić $\varepsilon_1 R_w + \varepsilon_2 R_w = 0$. Wymaga to spełnienia następujących warunków:

1. Jedno ze źródeł SEM musi mieć zwrot przeciwny, niż na schemacie obwodu.
2. Wartości źródeł SEM i oporów wewnętrznych muszą spełniać warunek: $\varepsilon_1 R_w = \varepsilon_2 R_w$.

Przykład 2.

Dla obwodu przedstawionego na rys. 5:

- a) Oblicz natężenie prądu w każdej gałęzi.
- b) Oblicz sumę mocy oddanej przez wszystkie źródła SEM i moc pobieraną przez opory układu. Dane układu wynoszą: $\varepsilon_1 = 40 \text{ V}$, $\varepsilon_2 = 24 \text{ V}$, $\varepsilon_3 = \varepsilon_4 = \varepsilon_5 = 12 \text{ V}$, $R_1 = 3 \Omega$, $R_2 = R = 6 \Omega$, $R_3 = R_4 = 2 \Omega$.

Rozwiązanie.

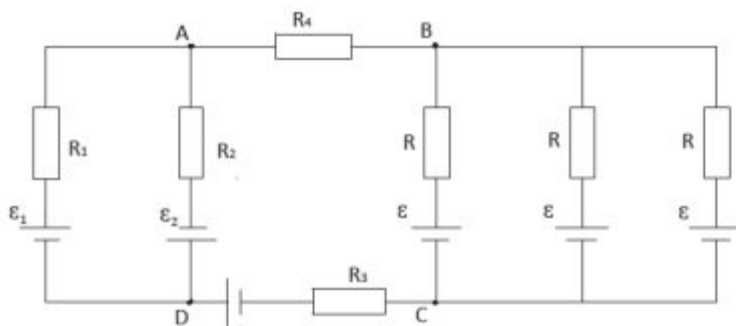
- a) W celu obliczenia natężenia prądów I_3 i I_4 (o jednakowej wartości) zastępujemy grupę dwóch gałęzi połączonych równolegle po lewej stronie obwodu i trzech gałęzi po prawej stronie przez równoważne źródła SEM ε_{DA} i ε_{CB}

$$\varepsilon_{DA} = \frac{\frac{\varepsilon_1}{R_1} - \frac{\varepsilon_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{\varepsilon_1 R_2 - \varepsilon_2 R_1}{R_1 + R_2} = \frac{48V \cdot 6\Omega - 24V \cdot 3\Omega}{3\Omega + 6\Omega} = 24 \text{ V}$$

$$R_{DA} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3\Omega \cdot 6\Omega}{3\Omega + 6\Omega} = 2 \Omega$$

Podobnie obliczamy równoważną SEM źródła ε_{CB} i równoważny opór R_{CB}

$$\varepsilon_{CB} = \frac{3\varepsilon}{R} = \varepsilon = 12 \text{ V}$$



Rys. 5

$$R_{CB} = \frac{R}{3} = 2 \Omega$$

Po przekształceniu obwodu przedstawionego na rys. 5 otrzymujemy obwód przedstawiony na rys. 6 dla którego

$$I_3 = I_4 = \frac{\varepsilon_3 + \varepsilon_{DA} - \varepsilon_{CB}}{R_3 + R_{DA} + R_{CB} + R_4} = 3 \text{ A}$$

a napięcia wyniosą

$$U_{AD} = \varepsilon_{DA} - R_{DA} \cdot I_3 = 18 \text{ V}$$

$$U_{BC} = \varepsilon_{CB} + R_{CB} \cdot I_3 = 18 \text{ V}$$

Prądy w gałęziach tego układu wynoszą

$$I_1 = \frac{\varepsilon_1 - U_{AD}}{R_1} = 10 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{\varepsilon_2 + U_{AD}}{R_2} = 7 \text{ A}$$

Prądy w gałęziach o jednakowych SEM są równe I zwrócone przeciwnie do zwrotu SEM

$$I = \frac{U_{BC} - \varepsilon}{R} = 1 \text{ A}$$

- b) Suma mocy oddanych przez wszystkie źródła SEM wynosi

$$P_{od} = \varepsilon_1 I_1 + \varepsilon_2 I_2 + \varepsilon_3 I_3 - 3 \cdot I = 648 \text{ W}$$

Źródła SEM ε w tym układzie są odbiornikami energii dostarczanej przez inne źródła. Moc pobierana przez opory P_p układu powinna się równać mocy, którą oddają inne źródła SEM.

$$P_p = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + (R_3 + R_4) \cdot I_3^2 + 3R I^2 = 648 \text{ W}$$

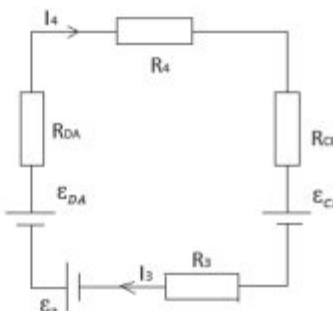
Rozwiązując to zadanie w oparciu o prawa Kirchhoffa musielibyśmy ułożyć i rozwiązać układ pięciu równań, co sprawiłoby nam znaczne trudności.

ZADANIA DO ROZWIĄZANIA

Zadanie 1.

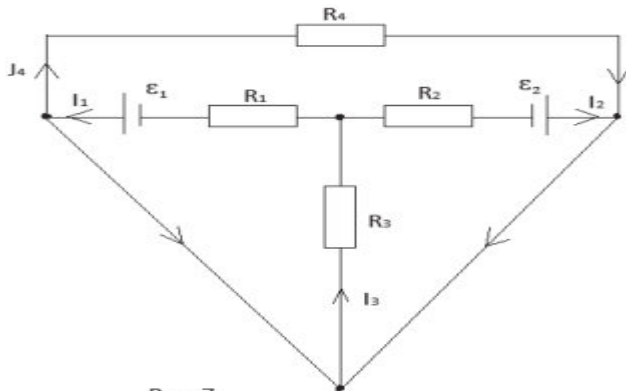
Dla obwodu na rysunku 7:

- a) Oblicz wartość równoważnego źródła SEM i jego oporu wewnętrznego.
- b) Oblicz prądy płynące przez opory.



Rys. 6

- c) W jakich warunkach przez opór R_3 prąd nie popłynie. Wartości danych wynoszą: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10 \Omega$, $\varepsilon_1 = 1,5 \text{ V}$, $\varepsilon_2 = 1,8 \text{ V}$.



Rys. 7

Odpowiedzi:

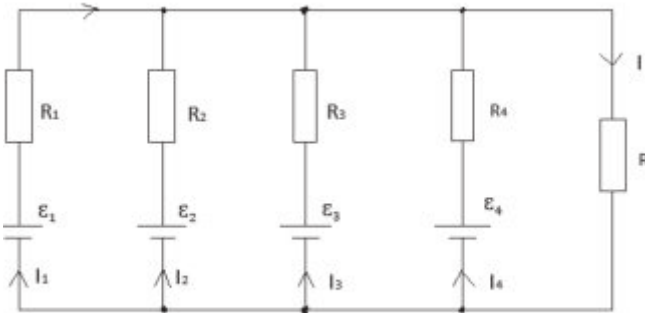
- a) $\varepsilon = 1,65 \text{ V}$, $R_w = 5 \Omega$ b) $I_1 = 0,04 \text{ A}$, $I_2 = 0,07 \text{ A}$, $I_3 = 0,11 \text{ A}$, $I_4 = 0$.

Zadanie 2

Dla obwodu przedstawionego na rysunku 8, dla danych: $\varepsilon_1 = 1 \text{ V}$, $\varepsilon_2 = 2 \text{ V}$, $\varepsilon_3 = 3 \text{ V}$, $\varepsilon_4 = 4 \text{ V}$, $R_1 = 1 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$, $R_4 = 4 \Omega$, $R = 0,48 \Omega$.

Oblicz:

- a) Wartość równoważnej SEM ε i ich równoważny opór wewnętrzny R_w .
b) Natężenia prądów I , I_1 , I_2 , I_3 , I_4 .



Rys. 8

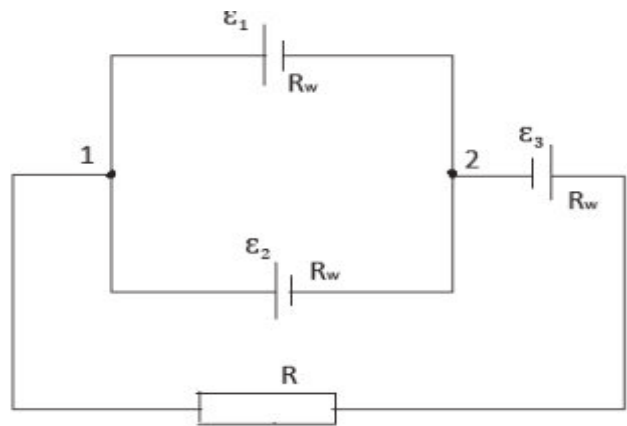
- Odpowiedzi: a) $\varepsilon = 1,92 \text{ V}$, $R_w = 0,48 \Omega$.
b) $I = 2 \text{ A}$, $I_1 = 0,04 \text{ A}$, $I_2 = 0,52 \text{ A}$, $I_3 = 0,68 \text{ A}$, $I_4 = 0,76 \text{ A}$.

Zadanie 3.

Trzy ogniwa o SEM $\varepsilon_1 = 2,5 \text{ V}$, $\varepsilon_2 = 2,2 \text{ V}$, $\varepsilon_3 = 3 \text{ V}$ o oporach wewnętrznych $R_w = 0,2 \Omega$ każde połączone jak na rysunku 9. Opór $R = 4,7 \Omega$.

Oblicz

- a) Wartość równoważną SEM $\varepsilon_{1,2}$ gałęzi pierwszej i drugiej obwodu i jej równoważny opór wewnętrzny $R_{w,1,2}$.
b) Natężenia prądu w każdej gałęzi prądu.
c) Ilość ciepła wydzieloną w obwodzie w czasie 1 s.
d) Pracę każdego ogniwa w czasie 1s.



Rys. 9

Odpowiedzi:

- a) $\varepsilon_{1,2} = 2,35 \text{ V}$, $R_{w,1,2} = 0,2 \Omega$ b) $I = 0,13 \text{ A}$, $I_1 = -0,68 \text{ A}$, $I_2 = 0,81 \text{ A}$, c) $Q = 0,31 \text{ J}$, d) $W_1 = 1,7 \text{ J}$, $W_2 = -1,78 \text{ J}$, $W_3 = 0,39 \text{ J}$.

Zadanie 4.

Stosowanie teorii nie objętej programem nauczania fizyki do rozwiązywania zadań wymaga wyprowadzania podstawowych jej zależności. Wyprowadź w prosty sposób zależności ⑤ i ⑥ omówionej teorii wykorzystując: prawo Ohma dla obwodu, I prawo Kirchhoffa zależności dla równoległego łączenia źródeł prądu, oraz uwzględnij podane w opracowaniu co rozumiemy przez opór gałęzi zawierającej SEM.

Czesław Surowiec
Dębica

Co w fizyce piszczy

Planetoida Tokarczuk i inne

„(555468) Tokarczuk” – tak oficjalnie brzmi nazwa jednej z planetoid, zatwierdzona przez Międzynarodową Unię Astronomiczną. Autorami odkrycia i propozycji nazwy są dwaj polscy łowcy planetoid i komet, Michał Kusiak i Michał Żołądowski. Zaakceptowano również inne polskie propozycje nazw.

Olga Tokarczuk to polska pisarka urodzona w 1962 roku w Sulechowie. W 2018 roku otrzymała Nagrodę Nobla w dziedzinie literatury. Tokarczuk aktywnie działa także na rzecz praw kobiet, mniejszości oraz zwierząt. Nazwana jej nazwiskiem planetoida – (555468) Tokarczuk – znana była dotychczas jako 2013 YH47.

Obiekt został odkryty 12 września 2013 r. Krąży on wokół Słońca w głównym pasie planetoid pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza. Jednego okrążenia dokonuje w ciągu 4,71 lat.

W najnowszym biuletynie MUA dotyczącym nowych nazw dla planetoid (asteroid) znalazło się więcej polskich propozycji. Spośród planetoid odkrytych przez Kusiaka i Żołądowskiego oficjalne nazwy zyskały również m.in. (559521) Sonbird – na cześć zespołu muzycznego z Żywca grającego muzykę z gatunku indie rock, a z planetoid odkrytych przez astronomów z Poznania – Władysław Jagiełło – w wersji swojego litewskiego imienia Jogaila. (PAP – Nauka w Polsce)

Kompendium astronomiczne

– wybrane pojęcia
i zagadnienia – cz. 4

Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski



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 czwartej części tego kompendium zostały przedstawione wybrane zagadnienia z astronomii w porządku alfabetycznym częściowo od litery H oraz częściowo na literę K.

Hubble'a teleskop, HST (ang. Hubble Space Telescope) – teleskop kosmiczny przeznaczony do obserwacji od ultrafioletu do podczerwieni, wprowadzony 25.04 1990 r. na orbitę wokół Ziemi przez prom kosmiczny Discovery. Krąży po orbicie kołowej, której płaszczyzna jest nachylona pod kątem 28.5° do płaszczyzny równika Ziemi z okresem 95 minut na wysokości 610 km nad jej powierzchnią. Wielokrotnie modernizowany i naprawiany, wyposażony jest w zwierciadło główne o średnicy 2.4 m oraz układ optyczny typu Ritchey–Chrétien.

Dzięki bardzo wysokiej zdolności rozdzielczej spowodowanej obserwacjami ponadatmosferycznymi dokonał szeregu spektakularnych obserwacji i odkryć; wykonał m.in. zdjęcia powierzchni Plutona i Charona, zderzenia komety Shoemaker–Levy 9 z Jowiszem, różnorodnych zjawisk zachodzących w atmosferach dużych planet, odkrył bardzo masywną czarną dziurę w centrum galaktyki M87, odkrył wiele przykładów realizacji soczewkowania grawitacyjnego. Częste naprawy i konserwacje techniczne umożliwiły wykorzystanie teleskopu najprawdopodobniej do 2040 roku. Planowane jest wyniesienie

na orbitę podczerwonego teleskopu zwanego Kosmicznym Teleskopem Jamesa Webba jako następcy HST najprawdopodobniej 31 października 2021 roku). Jednak rzeczywistym następcą HST będzie najprawdopodobniej teleskop **ATLAST (Advanced Technology Large-Aperture Space Telescope)**. Jeśli realizacja tego projektu będzie sfinalizowana będzie to najbardziej spektakularna misja kosmiczna lat 2025–2035, gdyż jego możliwości obserwacyjne są tak bardzo zaawansowane, że potencjalnie istnieje realna szansa na odkrycie (jeśli istnieje) życia w naszej Galaktyce poprzez analizę widm planet pozastopnicznych.

Iras (ang. Infrared Astronomical Satellite) – satelita amerykański wystrzelony w 1983 roku przeznaczony do obserwacji promieniowania podczerwonego. Od-



Foto. 1. Kosmiczny teleskop Hubble'a w całej okazałości (Foto. NASA). Dodajmy, że w 2020 roku minęło już 30 lat działalności teleskopu w przestrzeni kosmicznej.

krył olbrzymie ilości źródeł takiego promieniowania: dysk pyłowy wokół gwiazdy Wega (α Lyrae), wiele protogwiazd i gwiazd oraz galaktyk.

Integral (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory) – wprowadzony przez ESA na orbitę w 2002 roku satelita przeznaczony do obserwacji promieniowania gamma.

JPL (ang. Jet Propulsion Laboratory) – amerykańskie centrum badawcze należące do NASA, w którym prowadzi się badania związane z lotami kosmicznych sond bezzałogowych. Siedziba znajduje się w Pasadenie w Kalifornii.

Kalendarz – umowny, przyjęty w danym społeczeństwie sposób rachuby czasu, który dzieli go na powtarzające się cyklicznie okresy. Pierwszym praktycznym zastosowaniem astronomii była właśnie kalendarzowa rachuba czasu. Tryb życia ludzi zawsze związany był z następstwem dni i nocy oraz pór roku. Sprawiało to, iż ludzie od bardzo dawna musieli posiadać pewną wiedzę na temat zmian w wyglądzie nieba w różnych porach nocy i w różnych dniach roku. Kalendarzowe odstępstwa czasu były związane ze zmianami faz Księżyca oraz zmianami punktów horyzontu w których wschodziło i zachodziło Słońce.

Tradycyjnie od zarania dziejów czas mierzono w oparciu o trzy ruchy rotacyjne:

rotację Ziemi wokół własnej osi, rotację Księżyca wokół Ziemi oraz rotację Ziemi wokół Słońca. Konsekwencją pierwszego ruchu rotacyjnego jest dobowe następstwo dnia i nocy. Z ruchem tym związana jest jednostka czasu zwana dobą, a ściślej rzecz biorąc dobą gwiazdową, która jest równa okresowi pomiędzy dwoma kolejnymi górowaniami lub dołowaniami (najwyższymi lub najniższymi położeniami względem płaszczyzny horyzontu) dowolnie odległej gwiazdy. Pomijając subtelne efekty związane z precesją osi rotacji Ziemi można przyjąć, że doba gwiazdowa jest równa okresowi rotacji Ziemi względem własnej osi.

Oprócz doby gwiazdowej wyróżnia się jeszcze dobę słoneczną, czyli odstęp czasu pomiędzy dwoma kolejnymi górowaniami (lub dołowaniami) Słońca. Doba słoneczna jest nieco dłuższa (o 3 min. 56 sek. gwiazdowych) od doby gwiazdowej. Dzieje się tak, gdyż Słońce oglądane z Ziemi zmienia swoje położenie na tle gwiazd przesuwając się po ekliptyce. Ruch Księżyca względem Ziemi implikuje jednostkę czasu zwaną miesiącem synodycznym. Jest to okres powtarzania się faz Księżyca i wynosi średnio 29.5306 średnich dób słonecznych.

Powyższe pojęcia doby słonecznej i gwiazdowej stały się punktem wyjścia dla wprowadzenia jednostek pochodnych: godzin, minut i sekund odpowiednio słonecznych jak i gwiazdowych. Z obrotem Ziemi wokół Słońca związana jest jednostka czasu zwana → rokiem słonecznym zwrotnikowym. Oś rotacji Ziemi jest nachylona do płaszczyzny jej orbity pod kątem 66 stopni 33 minuty i dlatego gdy Ziemia zmienia swoje położenie na orbicie ustalony obszar na jej powierzchni zmienia również swoje nachylenie do padających promieni słonecznych. W ten sposób słoneczna energia promienista docierająca do wybranego obszaru jest funkcją położenia Ziemi na orbicie. Konsekwencją tego są pory roku.

Upraszczając nieco zagadnienie można powiedzieć, że rok słoneczny zwrotnikowy jest to okres powtarzania się pór roku, czyli odstęp czasu między dwoma kolejnymi dniami równonocy wiosennej, czyli dniami rozpoczynającymi kalendarzową wiosnę a ściślej średni przedział czasu pomiędzy dwoma kolejnymi przejściami Słońca przez punkt ekliptyki zwany punktem Barana. Trwa on 365.2422 dób słonecznych. Rok słoneczny wyznaczający pory roku mające

ogromny wpływ na życie codzienne ludzi jest podstawą naszego kalendarza.

Istnieje również pojęcie roku gwiazdowego, który jest równy okresowi obiegu Ziemi wokół Słońca – jest on nieco krótszy niż rok zwrotnikowy. Istotną konsekwencją różnicy doby słonecznej i gwiazdowej jest fakt, że w ciągu jednego roku słonecznego Ziemia wykona dokładnie o jeden obrót więcej względem odległych gwiazd niż względem Słońca (niż byto dni w roku). Zatem rok słoneczny zwrotnikowy trwa 366.2422 dób gwiazdowych. Przy przeliczaniu jednostek czasu słonecznych na gwiazdowe stosujemy więc czynnik $366.2422/365.2422 = 1.0027379$.

Ponieważ Ziemia na skutek przyptykowego działania Księżyca, Słońca oraz pewnych zjawisk geofizycznych nie obraca się ściśle jednostajnie wokół osi więc najczęściej w praktyce stosujemy średnie jednostki czasu słonecznego. Tak więc doba słoneczna średnia, miesiąc synodyczny oraz rok słoneczny zwrotnikowy są podstawowymi jednostkami na których oparto kalendarzową rachubę czasu. Ponieważ są to jednak jednostki względem siebie niewspółmierne potrzebne są pewne reguły pozwalające łączyć doby w dłuższe odstępy czasu w ten sposób, aby były one zgodne z dwoma pozostałymi jednostkami – miesiącem synodycznym i rokiem słonecznym. Reguły te stanowią istotę konstrukcji kalendarzy.

Początków stosowanej obecnie kalendarzowej rachuby czasu należałoby szukać w starożytnym Egipcie, gdzie przeszło 5000 lat temu, czyli 3000 lat przed naszą erą stosowano kalendarz oparty na obserwacji zjawisk astronomicznych związanych ze Słońcem. Wiedzano już wtedy, że rok słoneczny trwa około 365.25 dni, lecz przyjmowano kalendarz, w którym rok liczył 365 dni dzieląc go na 12 równych miesięcy po 30 dni i dodając jeszcze 5 dni. Kalendarz egipski był więc kalendarzem słonecznym skojarzonym z roczną okresowością wylewów Nilu.

W innych krajach Bliskiego Wschodu stosowano kalendarze oparte na zjawiskach astronomicznych związanych z Księżycem lub ze Słońcem i Księżycem. W ten sposób powstawały kalendarze księżycowe, który stosują do dziś maoometanie lub słoneczno-księżycowe powstałe np. w Mezopotamii.

Starożytni Rzymianie prowadzili początkowo dość prymitywną kalendarzową rachubę czasu. Rok liczył tam 10 nie-



równych miesięcy mających łącznie 304 dni. Od Rzymian pochodzą współczesne nazwy miesięcy w wielu europejskich językach. Na przykład grudzień ówczesnie dziesiąty i ostatni miesiąc roku nazywany jest mianem wyrażającym jego numer (december, Dezember, diekabr, decembro, dicembre). Również sama nazwa kalendarz pochodzi od łacińskiej nazwy „Kalendae” oznaczającej pierwszy dzień miesiąca. Aby bardziej zbliżyć kalendarz do roku słonecznego dodano później jeszcze dwa miesiące. Pierwszym miesiącem roku liczącego wtedy 355 dni był marzec a ostatnim luty. Aby ówczesny rok uczynić jeszcze bardziej podobnym do słonecznego dodawano czasami po 23 lutym trzynasty miesiąc liczący 27 lub 28 dni. Nie czyniono tego jednak systematycznie co powodowało pewien chaos kalendarzowy, który postanowił przerwać dopiero Juliusz Cezar w 45 roku p.n.e. Pod wpływem słynnego astronoma aleksandryjskiego Sosigenesa dokonał on zasadniczej i jak na owe czasy bardzo nowoczesnej reformy kalendarza. Długość roku kalendarzowego uzgodniono z rokiem słonecznym w ten sposób, że po trzech latach zwykłych liczących 365 dni dodano rok przestępny trwający 366 dni. Dlatego długość średniego roku kalendarzowego była tylko o 0.0078 dnia dłuższa od zwrotnikowego. Kalendarz ten nazwano juliańskim. Za czasów Juliusza Cezara równonoc wiosenna przypadała 24 marca.

Na wskutek wspomnianej już różnicy pomiędzy rokiem kalendarzowym a słonecznym data równonocy wiosennej przesuwawa się średnio co 129 lat o jeden dzień wcześniej i w roku 325 n.e. przypadała na 21 marca. W tym roku odbył się Sobór Nicejski, na którym to postanowiono obchodzić Wielkanoc w pierwszą niedzielę po najbliższej wiosennej pełni Księżyca, a więc przypadającej po 21 marca. W ten sposób postanowiono więc, że Wielkanoc będzie świętem ruchomym nie mającym stałej daty w kalendarzu.

Powiązanie daty Wielkanocy z pierwszą wiosenną pełnią Księżyca wiąże się z faktem, iż wydarzenia Wielkiego Tygodnia, a więc Męka Chrystusa, Jego śmierć na krzyżu oraz Zmartwychwstanie miały miejsce najprawdopodobniej na przełomie marca i kwietnia 33 r.n.e, gdyż zgodnie z opisem ewangelicznym Chrystus został ukrzyżowany w piątek 14 lub 15 dnia żydowskiego wiosennego miesiąca Nisan.

Wskutek ciągłego przesuwania się daty równonocy pod koniec XVI wieku równonoc przypadała już 11 marca. Znowu narastała pilnie potrzeba reformy kalendarza. Nastąpiła ona w 1582 roku, kiedy to papież Grzegorz XIII w oparciu o prace powołanej przez siebie komisji składającej się z astronomów wprowadził nową kalendarzową rachubę czasu. Przede wszystkim specjalnym rozporządzeniem datę równonocy wiosennej przeniósł on z powrotem na dzień 21 marca poprzez opuszczenie 10 dni między 4 a 15 października 1582 roku (5-14). Aby rok kalendarzowy upodobnić jeszcze bardziej do zwrotnikowego postanowiono także zmniejszyć ilość lat przestępnych w czterechsetleciu ze 100 do 97. I tak rok 1600 był przestępny, ale lata 1700, 1800 1900 zwykłe.

Regułę dotyczącą lat przestępnych można ująć następująco: rok, którego liczba jest podzielna przez 4 jest przestępny, ale rok, którego liczba jest wielokrotnością setki jest zwykły, chyba, że liczba setek jest podzielna przez 4 (dlatego rok 2000 był przestępny). W ten sposób rok kalendarzowy jest dłuższy od zwrotnikowego tylko o 26 sekund, wskutek czego różnica jednej doby pomiędzy nimi powstanie dopiero za około 3000 lat.

Nowy kalendarz nazwany został gregoriańskim i obecnie jest on powszechnie stosowany. Osobistą zasługą papieża Grzegorza XIII było sprawne i szybkie wdrożenie reformy w ówczesnej Europie. Reforma ta sprawiła, że rok kalendarzowy jest praktycznie wystarczająco dobrze uzgodniony z rokiem słonecznym zwrotnikowym. Jak widzimy astronomia – nauka zajmująca się badaniem odległych ciał niebieskich może mieć również bardzo praktyczne przyziemne a jednocześnie pożyteczne zastosowanie wywierające wpływ na życie każdego człowieka, gdyż wszyscy korzystamy z kalendarzy i zegarów.

Kanopus (α Car) – Druga po Syriuszu co do jasności gwiazda nieba noc-

nego o wielkości obserwowanej -0.74^m i absolutnej -5.50^m najjaśniejsza gwiazda w gwiazdozbiornie Kila. Odległa od Słońca o około 309 lat świetlnych. Kanopus jest białym olbrzymem typu widmowego A9 o temperaturze powierzchniowej 7280 K.

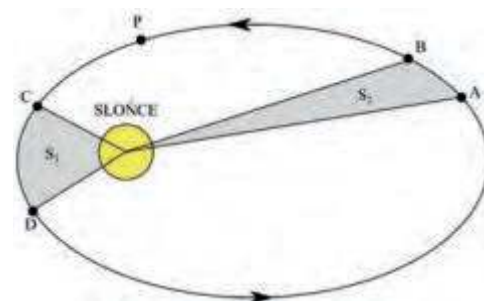
Kapella (Alfa Aurigae, α Aur) – najjaśniejsza gwiazda w gwiazdozbiornie Woznicy odległa od Słońca o około 43 lata świetlne. Kapella jest bardzo interesującym obiektem gwiazdowym ze względu na fakt, że jest bardzo dobrze poznaną przedstawicielką nie zaćmieniowych gwiazd spektroskopowo podwójnych (para jasnych gwiazd Alfa Aurigae Aa i Alfa Aurigae Ab odległych od Słońca o około 42.8 lat świetlnych o typie widmowym G8/G0). Wielkość gwiazdowa obserwowana wynosi 0.08^m (cały układ), wielkość gwiazdowa absolutna jest równa -0.48^m (cały układ) temperatury powierzchni składników wynoszą 4920K/5680K. W rzeczywistości jest to układ poczwórny – gdyż druga para słabych gwiazd Alfa Aurigae H i Alfa Aurigae L jest związana z pierwszą parą grawitacyjnie. Kapellę, która jest bardzo dobrze widoczna okiem nieuzbrojonym w lunetę czy teleskop tworzą dwa bardzo podobne żółte olbrzymy typu widmowego G. Krążą one wokół wspólnego środka masy odległe od siebie o około 0,72 au. Okres ich ruchu orbitalnego wynosi 104 dni.

Kąt godzinny t – jedna ze współrzędnych pierwszego układu równikowego. Jest to kąt dwuścienny pomiędzy płaszczyzną koła wielkiego przechodzącego przez oś świata i dane ciało niebieskie a płaszczyzną południka liczony od południowej części południka na zachód – w kierunku ruchu dziennego sfery niebieskiej (wyrażony w mierze czasowej: godzinach minutach, sekundach).

Keplera prawa – trzy prawa ruchu planet w Układzie Słonecznym sformułowane przez Johanna Keplera (1571 – 1630) matematyka i astronoma niemieckiego na podstawie wieloletnich badań nad ruchami planet a w szczególności na podstawie analizy obserwacji Marsa przeprowadzonych przez duńskiego astronoma Tycho de Brahe.

I prawo: Wszystkie planety obiegają Słońce po orbitach eliptycznych, mających jedno wspólne ognisko, w którym położone jest Słońce.

II prawo: Prędkość polowa planety jest stała tzn. promień wodzący planety



Rys. 1. Graficzne przedstawienie I i II prawa Keplera. Słońce znajduje się w jednym z ognisk orbity eliptycznej, po której krąży wokół niego planeta (P). Zakreślone pola mają równe powierzchnie ($S_1 = S_2$), jeśli czas przelotu planety P z punktu A do B jest równy czasowi przelotu z punktu C do D.

poprowadzony ze Słońca do planety zakreśla w równych odstępach czasu równe pola.

III prawo: Kwadraty okresów obiegu planet w ich ruchu wokół Słońca są proporcjonalne do sześcienu pól ich orbit. Trzecie prawo Keplera możemy wyrazić wzorem:

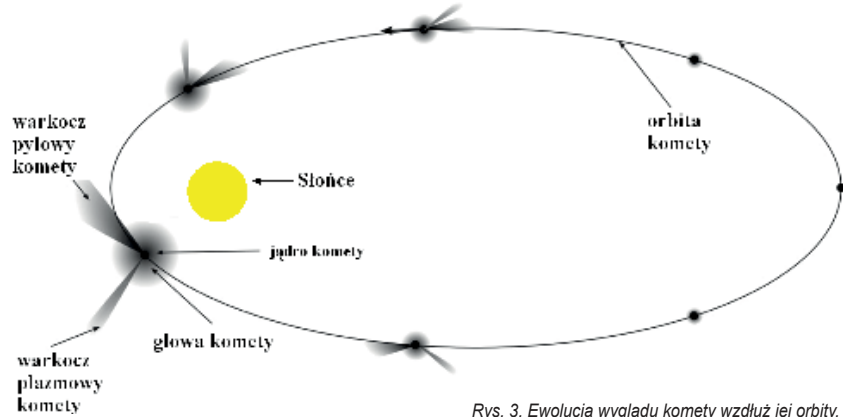
$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \text{const}, \quad (1)$$

gdzie: T_1 i T_2 oznaczają okres obiegu dwóch planet, natomiast a_1 i a_2 są wielkimi półosiąmi orbity danych planet.

Kolaps grawitacyjny – niestabilność grawitacyjna polegająca na zapadaniu się pod wpływem własnej grawitacji obrotów materii lub gwiazd. Kolaps grawitacyjny obrotów gazowo-pyłowych o masach większych od pewnej krytycznej masy tzw. masy Jeansa jest przyczyną powstawania gwiazd. Kolaps grawitacyjny rdzeni gwiazdowych na bardzo późnym etapie ewolucji gwiazd może prowadzić do powstania czarnych dziur.

Kometa – ciało niebieskie w Układzie Słonecznym krążące po orbitach będących krzywymi stożkowymi, w ognisku, których znajduje się Słońce. Wygląd komety zależy istotnie od jej odległości od Słońca. Dostatecznie blisko Słońca (mniej niż 2 au) w pełni rozbudowana struktura komety składa się z głowy, wewnątrz której ukryte jest jej jądro oraz dwóch warkoczy; pyłowego i jonowego. Komety należą do najbardziej zmiennych, trudno przewidywalnych a jednocześnie najpiękniejszych ciał wchodzących w skład Układu Słonecznego. Jądro komety jest jej najważniejszą składową. Jest to trwała struktura będąca nośnikiem masy kometarnej, poruszająca się względem Słońca po orbicie

będącej w przybliżeniu elipsą, parabolą lub hiperbolą. Mają one kształt nieregularnych brył (orzeszków ziemnych, cygar lub zniekształconych elipsoid) o wymiarach od kilkuset metrów do kilkudziesięciu kilometrów. Ich głównym składnikiem jest lód wodny z domieszką takich zestalonych substancji jak tlenek czy dwutlenek węgla, amoniak oraz nieznaczne domieszki innych komponentów chemicznych. Jądra komet zawierają również okruchy skalne oraz pył. Komety penetrujące wewnętrzne rejony Układu Słonecznego pochodzą najprawdopodobniej z dwóch źródeł; albo z tzw. obłoku Oorta – sferycznej warstwy o promieniu rzędu 10 000 au – 100 000 au otaczającej Słońce lub ze znacznie bliższego obszaru tzw. dysku Kuipera rozpościerającego się od odległości około 40 au od Słońca. Pod wpływem perturbacji pochodzących od najbliższych gwiazd komety zawarte początkowo w obłoku Oorta zmieniają swoje orbity na krzywe stożkowe penetrujące głęboko wewnątrz Układu Słonecznego. Natomiast komety zawarte w dysku Kuipera zmieniają swoje orbity na bardziej zanurzające się we wnętrzu Układu Słonecznego pod wpływem perturbacji pochodzących od wielkich planet (Jowisz, Saturn, Uran, Neptun). Zimne początkowo jądro komety zbliżając się do Słońca pod wpływem jego promieniowania stopniowo nagrzewa się i zaczyna sublimować. Molekuły sublimujących lodów unoszą z powierzchni jądra komety pyły kometarne. Po przejściu przez peryhelium komety oddalając się od Słońca stopniowo ochładza się i jej aktywność sublimacyjna maleje, zanika jej rozbudowana struktura a jądro staje się ponownie zimną lodowo-pyłową bryłą. Po każdym zbliżeniu się do Słońca komety tracą pewien ułamek swojej masy (około 0.5% – 1%). W końcu po odpowiednio dużej – rzędu kilkuset do kilku tysięcy – ilości obiegów



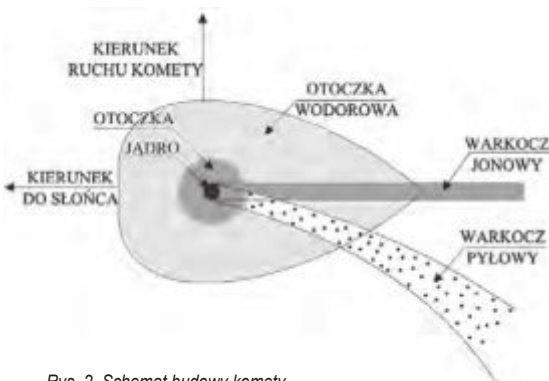
Rys. 3. Ewolucja wyglądu komety wzdłuż jej orbity.

wokół Słońca jądro komety staje się pozbawione wystarczającej ilości swojego lepszca, czyli lodu, który spaja ze sobą pyły i większe okruchy materii skalnej lub bryły. W konsekwencji jądro kometarne rozpada się na małe fragmenty i drobiny skalne, które pod wpływem perturbacji planetarnych tworzą rój meteoroidów.

Wśród astrofizyków zajmujących się badaniem komet – kometologów – panuje powszechnie akceptowany pogląd, że jądra kometarne są pozostałością z początkowego okresu kształtowania się Układu Słonecznego i nie uległy one od momentu swego powstania znaczącym przeobrażeniom fizycznym i chemicznym pod wpływem grawitacji, ciepła wewnętrznego czy też zderzeń z meteoroidami z uwagi na swoje małe rozmiary. Wydaje się, że w szczególności komety długookresowe, które docierają po raz pierwszy z obłoku Oorta w pobliże Słońca zawierają najbardziej pierwotną materię, z której został utworzony Układ Słoneczny. Jądra tych komet stanowią w pewnym sensie zapis jego powstania są bardzo interesującym obiektem badań astrofizycznych dostarczając nam informacji o warunkach i procesach związanych z powstaniem Układu Słonecznego. Komety pełnią również zupełnie inne ważne role poznawcze w badaniu zarówno

ogólnych praw przyrody jak i w szczególności Układu Słonecznego. Należy tu wymienić co najmniej dwa aspekty. Po pierwsze, analiza porównawcza orbit kometarnych wyznaczonych obserwacyjnie i wyznaczonych metodami mechaniki nieba na podstawie równań ruchu perturbowanego komety pozwala tworzyć dokładniejsze modele teoretyczne dotyczące fizyki i ruchu komet. Po drugie oddziaływanie wiatru słonecznego z materią warkoczy kometarnych sprawia, że stają się one naturalnymi sondami plazmy międzyplanetarnej. Analiza zachowania się plazmowych warkoczy kometarnych dostarczyła pierwszych informacji o istnieniu wiatru słonecznego. Różnorodne i liczne aspekty poznawcze związane z kometami, a jednocześnie niepowtarzalnie piękno, zmienność i nieprzewidywalność tych obiektów kosmicznych sprawiają, że zgłębianie ich tajemnic jest wyjątkowo pasjonującą przygodą intelektualną dla setek astronomów na całym świecie.

dr Marcin Wesółowski^{1,2},
 dr hab. Piotr Gronkowski^{1,2}, prof. senior UR
¹Kolegium Nauk Przyrodniczych,
 Instytut Nauk Fizycznych, Uniwersytet Rzeszowski,
²Centrum Innowacji
 i Transferu Wiedzy Techniczno-Przyrodniczej
 Uniwersytetu Rzeszowskiego.



Rys. 2. Schemat budowy komety.

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/>

Częściowe zaćmienie Słońca – 10.06.2021

– astronomiczne wydarzenie czerwca

10 czerwca 2021 roku po sześcioletniej przerwie z terenów całej Polski mogliśmy ponownie obserwować zaćmienie Słońca. Przypomnijmy naszym czytelnikom, że zaćmienie to w ogólności przesłonięcie części lub całej tarczy jednego ciała niebieskiego przez drugie. W omawianym przypadku oczywiście chodzi o Słońce i Księżyc.

Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski

Szczegółowe omówienie zaćmienia Słońca, czyli geometrii układu Słońce – Ziemia – Księżyc można znaleźć między innymi w dwóch naszych artykułach (Gronkowski, Wesołowski, 2015a, 2015b). W tym artykule ograniczamy się tylko do krótkiego raportu z obserwacji częściowego zaćmienia Słońca z Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Rzeszowskiego.

Omawiane zjawisko w przypadku Rzeszowa rozpoczęło się o godzinie 12:04, fazę maksymalną można było obserwować około godziny 12:55, a faza końcowa miała miejsce o godzinie 13:46. W fazie maksymalnej z terenów Rzeszowa można było zobaczyć zaledwie około 6% przesłonięcia tarczy słonecznej. Zauważmy, że im dalej na północny-zachód Polski tym większa część tarczy słonecznej była przesłonięta przez Księżyc. W przypadku całego kraju procent zakrycia tarczy słonecznej wahał się w granicy od 16.4% (okolice Łeby) do 3.9% (w Bieszczadach).

W kontekście obserwacji Słońca najważniejsze jest nasze bezpieczeństwo, dlatego ponownie apelujemy o rozwagę. Pamiętajmy, że podczas przygotowywania się do obserwacji Słońca należy korzystać przede wszystkim z profesjonalnych teleskopów słonecznych zaopatrzonych w specjalne filtry. Kilka sekund nieuwagi może doprowadzić do utraty wzroku nawet na całe życie!

Podczas obserwacji zastosowane zostały trzy następujące podejścia:

- projekcja rzutowa – zaliczana jest do najbezpieczniejszych metod obserwacji Słońca. Polega ona na rzutowaniu obrazu tarczy Słońca przez teleskop na ekran, za który może posłużyć zwykła kartka papieru. Otrzymywany obraz tarczy Słońca w tym przypadku jest odwrócony. Dodajmy, że jest to jedna z najstarszych metod obserwacji Słońca.
- filtr wykonany na bazie folii słonecznej Badera, który zastosowano do aparatu cyfrowego,
- teleskop słoneczny Coronado, który ma fabrycznie wbudowany filtr przepuszczający wąskie pasmo czerwonego światła pochodzące od atomów wodoru (H-alfa) oraz refraktor Coudego 150/2250 wraz z filtrem w paśmie sodowym.

Dzięki temu, że mogliśmy wykorzystać teleskop słoneczny dodatkowo oprócz częściowego zaćmienia Słońca

mogliśmy obserwować jego powierzchnię oraz dwie protuberancje.

W dalszej części tego artykułu przedstawiamy kilka przykładowych fotografii.

Warto również zaznaczyć, że w przygotowaniu się do obserwacji zaćmień Słońca z pomocą przychodzą nam programy komputerowe np. Mathematica. Dzięki odpowiednim funkcjom dosłownie w ułamku sekundy możemy



Foto. 1. Na pierwszym planie widoczny jest teleskop szkolny wraz z ekranem, na który rzutowany jest obraz tarczy Słońca.



Foto. 2. Teleskop słoneczny Coronado wraz panoramą miasta Rzeszowa.



Foto. 3. Refraktor Coudego 150/2250 w kopule astronomicznej.

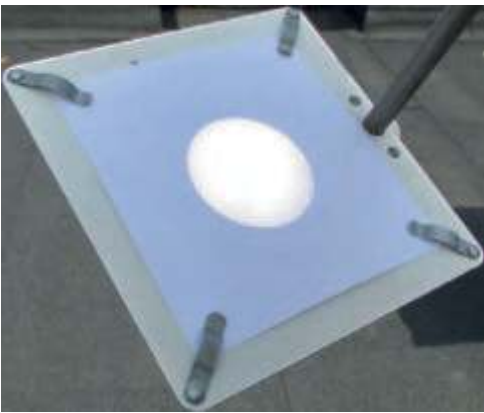


Foto. 4. Dwie fotografie tarczy Słońca wykonane za pomocą projekcji rzutowej.



Foto. 5. Częściowe zaćmienie Słońca – fotografia wykonana za pomocą projekcji rzutowej.



Foto. 6. Obraz tarczy Słońca podczas częściowego zaćmienia – fotografia wykonana przy użyciu aparatu fotograficznego zaopatrzonego w filtr na bazie foli Badera. Zauważmy, że fotografia po lewej stronie związana jest z początkiem zaćmienia.

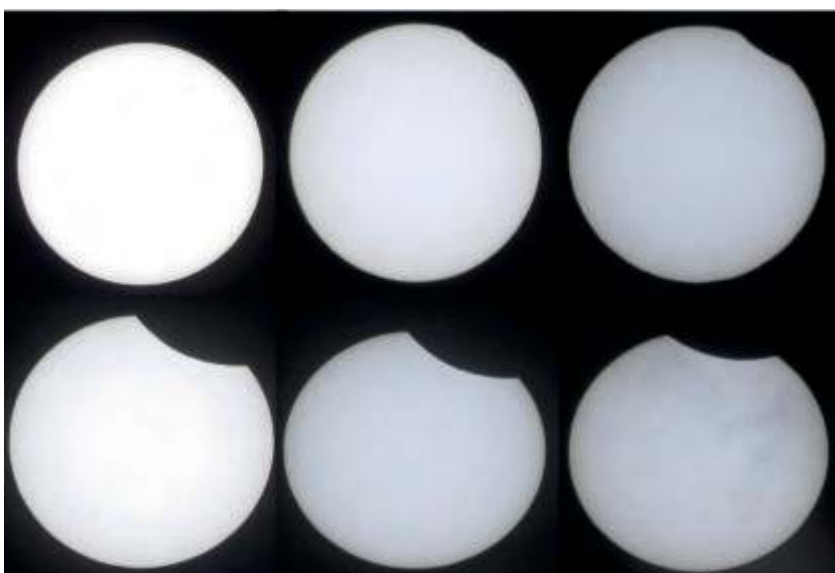
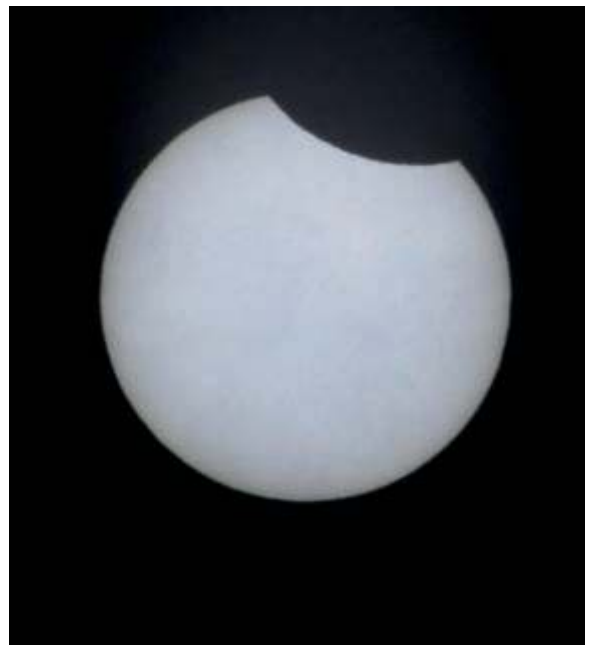


Foto. 7. Mozaika zdjęć wykonanych podczas zaćmienia przy użyciu aparatu fotograficznego.

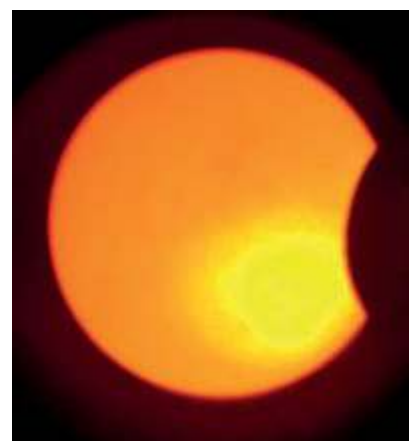


Foto. 8. Fotografia tarczy Słońca podczas tegorocznego zaćmienia wykonana przy użyciu Refraktora Coudego 150/2250 oraz telefonu komórkowego (smartfon).



Rys. 1. Pasy zaćmień całkowitych w latach 2000- 2020.



Rys. 2. Pasy zaćmień całkowitych w latach 2021- 2040.

wygenerować odpowiednie mapy obrazujące pasy poszczególnych typów zaćmienia Słońca. Dla przykładu wygenerowane zostały dwie mapy obrazujące pasy np. zaćmienia całkowite w latach 2000 – 2040 dla całej Ziemi. Tym samym z dużym wyprzedzeniem możemy zaplanować swoją podróż, aby zobaczyć na własne oczy kosmiczny spektakl w wykonaniu Słońca i Księżyca.

Dodajmy jeszcze, że w wyniku ruchów pływowych na Ziemi Księżyc w miarę regularnie co roku oddala się od naszej planety. Odległość ta w skali Układu Słonecznego jest naprawdę bardzo mała, bo zaledwie tylko o 4 cm rocznie. Ale mniej więcej za 600 mln lat średnica kątowna tarczy Księżyca stanie się na tyle mała, że na Ziemi będą jedynie występować zaćmienia częściowe i obrączkowe.

Na koniec naszych rozważań pozostaje przede wszystkim życzyć obserwatorom zaćmień bezchmurnej pogody, gdyż w XXI wieku czeka nas aż 224 zaćmienia na całym świecie. Natomiast z terenów Polski będzie ich 40 – oczywiście będą to zaćmienia częściowe. Najbliższe całkowite zaćmienie Słońca widoczne z terenów Polski będzie można zaobserwować w dniu 7 października 2135 roku.

LITERATURA:

- [1] Harrington, P. S., 1999, Zaćmienie! Co, gdzie, kiedy, dlaczego i jak? Prószyński i S-ka, Warszawa.
- [2] Rybka, E., 1976, Astronomia ogólna, PWN, Warszawa.
- [3] Gronkowski P., Wesołowski M., 2015a, Zaćmienia Słońca - fakty i mity, cz. I: Teoria, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 5, str. 32 – 37.
- [4] Gronkowski P., Wesołowski M., 2015b, Zaćmienia Słońca - fakty i mity, cz. II: Zadania, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 6, str. 29 – 31.
- [5] Borkowski, K. M., 1991, Astronomiczne obliczenia nie tylko dla geografów, UMK Toruń.

dr Marcin Wesołowski

Kolegium Nauk Przyrodniczych, Instytut Nauk Fizycznych, Uniwersytet Rzeszowski,

dr hab. Piotr Gronkowski, prof. senior

Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy Techniczno-Przyrodniczej Uniwersytetu Rzeszowskiego.

I. PRENUMERATĘ NA 2021 ROK MOŻNA ZAMÓWIĆ BEZPOŚREDNIO U WYDAWCY

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

Cena prenumeraty w 2021 roku

Tytuł	Liczba wydań (I i II półrocze)	Cena egzemplarzowa	Cena prenumeraty rocznej	Cena prenumeraty w II półroczu
Dwumiesięczniki				
Chemia w Szkole	6 (3+3)	30,00	180,00	90,00
Geografia w Szkole	6 (3+3)	30,0	180,00	90,00
Fizyka w Szkole z Astronomią	6 (3+3)	30,00	180,00	90,00
Wiadomości Historyczne z WOS	6 (3+3)	30,00	180,00	90,00

II. PRENUMERATA DOSTARCZANA PRZEZ FIRMY KOLPORTERSKIE:

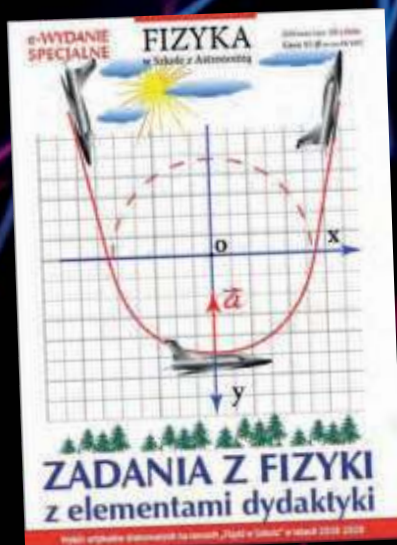
1. **RUCH** – zamówienia na prenumeratę w wersji papierowej i na e-wydania można składać bezpośrednio na stronie www.prenumerata.ruch.com.pl. Ewentualne pytania prosimy kierować na adres e-mail: prenumerata@ruch.com.pl lub kontaktując się z Centrum Obsługi Klienta „RUCh” pod numerami: 22 693 70 00 lub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

III. NUMERY ARCHIWALNE DRUKOWANE dostępne są w ograniczonym zakresie. Przed złożeniem zamówienia prosimy o kontakt pod adresem: szewczyk24@gmail.com.

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

WYDANIA SPECJALNE „Fizyki w Szkole”

Wersje elektroniczne – pliki PDF



Szczegóły i formularz zamówienia na www.aspress.com.pl/wydania-specjalne/

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/

eprasa.pl c0d85731cb