

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

378 (LXIV) indeks 35810X Nr 1 styczeń/luty 2022 CENA 35,00 zł (w tym 8% VAT)

O energii i mitach

– dlaczego ludzkości
nie zabraknie energii

Szczególna teoria względności

– dlaczego
była potrzebna?

Arystoteles

Buridan

Kartezjusz

– filozofowie
o fizyce

Właściwości atmosfery

a efekt cieplarniany

Zadania

- * Nietypowe
układy odniesienia
- * Paradoks mechaniczny
- * Zadania
z „Bajek robotów”

Fizyczne podstawy fizykoterapii
Światłolecznictwo
lasero- i elektroterapia

PRENUMERATA 2022

PRZEDŁUŻ LUB ZAMÓW!



Zamów
wydanie
darmowe!

PRENUMERATA:

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

Szczegóły i formularz zamówienia na www.aspress.com.pl/prenumarata/

Drodzy Czytelnicy!

Serdecznie witamy w okresie zimowym. W ostatnich czasach złowróżbnego brzmienia zyskało pojęcie energii. Dokładniej mówi się o kryzysie energetycznym, o spodziewanych brakach energii. Straszy się obywateli widmem niedogranych domów i kryzysu energetycznego. Fizycy trochę inaczej patrzą na energię. Jest ona związana ze zdolnością do wykonywania pracy, czyli do zmieniania położenia substancji, a drugiej strony związana jest nierozłącznie z ciepłem. Właściwie każda energia wcześniej czy później zostanie zamieniona na ciepło, czyli energię chaotycznego ruchu cząstek a ta z kolei zostanie rozproszona.

Pojęcie energii jest podstawowym pojęciem w fizyce, ale co trudno sobie wyobrazić, nie ma więcej niż 300 lat. Pojęcie siły czy nawet bezwładności jest o wiele starsze. W tym numerze znajdziemy Państwo artykuł Jerzego Kuczyńskiego poświęcony energii. Autor analizuje w nim problem źródeł energii i prowadzi rozważania czy rzeczywiście grozi nam kryzys energetyczny i jaka energia jest naprawdę czysta.

Inny problemem związanym z wykorzystaniem energii są techniki fizykoterapii, w tym leczenie światłem i prądem. Tym zagadnieniom z kolei jest poświęcony artykuł Tomasza Kubiaka „Od światłolecznictwa do elektroterapii.” W artykule tym omówione zostały, z konieczności skrótowo trzy techniki: światłolecznictwo, laseroterapia i trochę zaskakująco - leczenie prądem.

Kolejny artykuł, który chciałbym polecić to artykuł Grzegorza Karwasza „Arystoteles, Buridan i Kartezjusz”. Jest to artykuł poświęcony trzem wielkim fizykom, którzy żyli w trzech różnych epokach. Arystoteles to dość kontrowersyjny filozof okresu starożytności. Buridan jest z tej trójki najmniej znany, choć jego osiągnięcia są z pewnością bardzo istotne. Kartezjusza z kolei kojarzy każdy średnio wyedukowany uczeń, ale z pewnością warto zainteresować się bliżej tą postacią.

Kończąc życzę miłej lektury

Zbigniew Wiśniewski

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

- 4** Od światłolecznictwa do elektroterapii, czyli podstawy wybranych metod fizykoterapii ■ Tomasz Kubiak
- 12** Szczególnie potrzebna teoria względności ■ Cyprian Sobczak
- 18** Arystoteles, Buridan i Kartezjusz – esej z historii fizyki ■ Grzegorz Karwasz
Przypisuje się Arystotelesowi, najpotężniejszemu przypuszczalnie umysłowi w historii ludzkości, brak znajomości fizyki. Jakoby jego błędne poglądy zatrzymały na wieki rozwój tej dziedziny.
- 25** O energii i mitach ■ Jerzy Kuczyński
Na Ziemi może braknąć wszystkiego – wody, powietrza, powierzchni do mieszkania czy uprawy, ale na pewno nie braknie energii.
- 28** Zarys historii drogi do transformatora Tesli w 100-lecie badań w Polsce ■ Kazimierz Mikulski



Z naszych lekcji

- 34** Żywoty fizyków. Galileusz (1564-1642) ■ Tadeusz Wibig
- 37** Nietypowe układy odniesienia mogą znacznie ułatwić rozwiązywanie zadania ■ Marian Maciocha
- 38** Paradoks mechaniczny ■ Julian Płoszajski
- 40** Stanisław Lem gościem na lekcjach fizyki ■ Bożena Brożyna, Ewa Trybalska
- 42** Kreatywność na lekcjach fizyki ■ Anna Jureczak

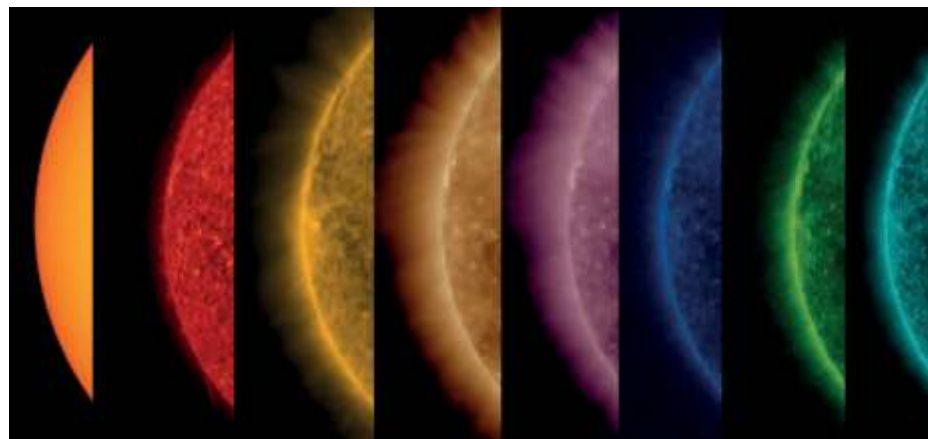


Fizyka atmosfery

- 43** Fizyka atmosfery ■ Andrzej Wasiak

Astronomia dla każdego

- 47** Kompendium astronomiczne – wybrane pojęcia i zagadnienia – cz. 7
■ Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski



FIZYKA
w Szkole z Astronomią

NUMER 1 STYCZEŃ/LUTY 2022
378 (LXIII) indeks 35810X ISSN 0426-3383

CENA 35,00 zł
(w tym 8% VAT)

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

Od światłolecznictwa do elektroterapii, czyli podstawy wybranych metod fizykoterapii

Foto – Dreamstime

Czynniki fizyczne występujące w środowisku człowieka od wieków próbowano wykorzystywać w celach leczniczych. To właśnie metody przyrodolecznictwa dały początek wielu działom dzisiejszej fizjoterapii, jak fototerapia, laseroterapia czy elektroterapia.

Tomasz Kubiak

Wprawdzie bodźce pochodzące z naturalnego otoczenia (np. światło słoneczne) współcześnie w dużej mierze zastąpione zostały przez różne formy energii dostarczanej przez specjalistyczne urządzenia terapeutyczne, cel pozostaje analogiczny, tzn. wywołanie określonych reakcji fizjologicznych mających korzystnie wpłynąć na stan zdrowia pacjenta. Złożona reakcja na bodziec fizyczny fachowo nazywana jest odczynem. Może on mieć charakter miejscowy (obejmować jedynie obszar wystawiony na działanie zastosowanego czynnika), ogólny (dotyczyć całego ciała) albo oddalony (wystąpić w znacznej odległości od miejsca ekspozycji).

Nietrudno domyślić się, że reakcja organizmu zależy będzie nie tylko od właściwości samego bodźca (rodzaju, przenoszonej energii, czasu oddziaływania, powierzchni, na jaką działa itp.), ale również od fizjologicznych właściwości tkanek (np. ich pobudliwości, grubości czy ukrwienia) oraz indywidualnych cech osobniczych (np. wieku, płci czy stanu zdrowia). Dla przykładu małe dzieci silniej reagują na bodźce termiczne niż dorośli a kobiety inaczej niż mężczyźni. Przedstawicielki płci pięknej zazwyczaj

posiadają bowiem mniejszą masę ciała, ale większą średnią procentową zawartość tkanki tłuszczowej.

Dodatkowo należy pamiętać, że reakcja na pojedynczy bodziec będzie inna w porównaniu z jego seryjnym działaniem. W pierwszym przypadku mamy bowiem do czynienia z czynnikiem chwilowo zakłócającym homeostazę (stan równowagi organizmu), a w drugim z powtarzalnymi reakcjami przyczyniającymi się do powstania odległych zmian adaptacyjnych. Aby zatem uzyskać pożądaną efekt terapeutyczny, zabiegi trzeba odpowiednio zaplanować i wykonywać systematycznie.

Fizjoterapia w swoim szerokim znaczeniu obejmuje zarówno fizykoterapię jak i kinezyterapię (leczenie przy pomocy ruchu) oraz masaż leczniczy. Niniejszy artykuł poświęcony będzie jedynie wybranym działom fizykoterapii, z którą możemy spotkać się nie tylko w przypadku rehabilitacji po przebytych urazach, ale coraz częściej również w trakcie leczenia wielu chorób.

Niestety, pomimo że fizykoterapia opiera się na stosunkowo skomplikowanej wiedzy fizycznej, na polskich uczelniach w programach studiów dla kierunku fizjoterapia nauczaniu biofizyki poświęca się zaledwie kilkanaście godzin. Dlatego niezwykle ważne jest, aby osoby planujące kształcić się a potem wykonywać zawód fizjoterapeuty

we własnym zakresie poszerzały wiedzę z zakresu fizyki i śledziły najnowsze osiągnięcia naukowe. Nikt nie chciałby bowiem, aby np. zabieg elektroterapii z jego udziałem wykonywał terapeuta nie posiadający elementarnej wiedzy z zakresu elektryczności a jedynie wykonujący mechanicznie czynności obsługi sprzętu według wcześniej wyuczonego z instrukcji obsługi algorytmu. Podstawy naukowe różnorodnych technik stosowanych w fizykoterapii są na tyle ciekawe, że warto w skrócie przedstawić je szerokiemu gronu odbiorców, młodzieży, nauczycielom a także wszystkim zainteresowanym czytelnikom „Fizyki w Szkole”.

Światłolecznictwo

Zgłębianie tajników fizykoterapii zaczniemy od światłolecznictwa. Jego najdawniejszą formą, znaną już w starożytności, była helioterapia, czyli wykorzystywanie pozytywnego wpływu światła słonecznego na nasze zdrowie i samopoczucie. Za twórcę nowoczesnej fototerapii uznawany jest duński lekarz Niels Ryberg Finsen, laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizjologii lub medycyny w 1903 roku. Użył on promieniowanie podczerwone do leczenia blizn po ospie a światło ultrafioletowe do walki z gruźlicą skóry.

Współcześnie w światłolecznictwie stosuje się właśnie promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu nadfioletu (200-380 nm), światła widzialnego (380-780 nm) oraz podczerwieni (780-15000 nm). Warto wspomnieć, że odczyny wywoływane przez nie w ciele pacjenta zależą od ilości pochłoniętej energii, co wiąże się z prawem Grotthussa-Drapera.¹ Istotna jest zatem absorpcja światła w tkankach, a nie jego odbicie czy rozproszenie.

Za wskazanie do terapii światłem widzialnym, emitowanym przez źródła sztuczne (lampy), uznaje się m.in. konieczność zrównoważenia jego niedoborów w czasie jesienno-zimowym, co polepsza samopoczucie i zmniejsza ryzyko depresji. Optymalny czas zabiegu wynosi za-

zwyczaj od 30 minut do 2 godzin w zależności od stosowanego natężenia oświetlenia, zawierającego się dla różnych urządzeń w przedziale 2,5 – 10 tys. luksów. Niekiedy z widma światła widzialnego, za pomocą nakładanych na lampę filtrów, celowo wybiera się tylko określone zakresy długości fali. Mówimy wówczas o chromoterapii. Chociaż nie jest ona jeszcze podbudowana rzetelną wiedzą fizyczną, to jej zwolennicy odwołują się do aspektów psychologicznych.

Powszechnie wiadomo bowiem, że np. barwa czerwona działa na nas pobudzająco, mobilizuje do działania, w przeciwieństwie do koloru niebieskiego, który nas wycisza i uspokaja. Warto dodać, że światło widzialne ma zdolność do wnikania do tkanki podskórnej, podobnie jak krótkofalowe promieniowanie podczerwone (780-1200 nm). Trzeba jednak pamiętać, że zdolność podczerwieni do przenikania w głąb ciała maleje wraz ze wzrostem długości fali.

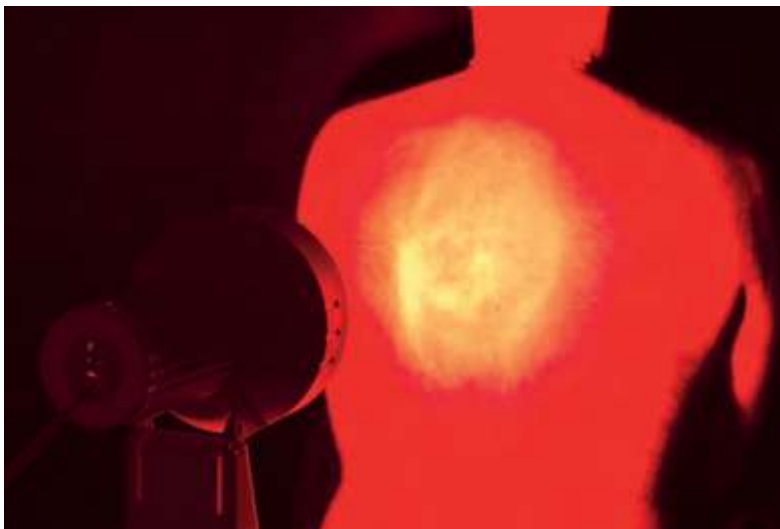
Promieniowanie podczerwone jest często stosowane w fizykoterapii, gdyż posiada zdolność do zwiększania temperatury ciała i wywołuje reakcje, które wynikają z dążenia organizmu do utrzymania homeostazy cieplnej. Oczywiście stopień przegrzania tkanek zależy od ich pojemności cieplnej, związanej bezpośrednio z zawartością wody.

Dostrzegalnym wizualnie efektem zabiegu jest odczyn miejscowy w postaci rumienia cieplnego, czyli zanikającego powoli po zakończeniu ekspozycji nierównomiernego zaczerwienienia skóry. Ma to związek z rozszerzeniem naczyń włosowatych skóry i tkanki podskórnej a zatem reakcją naczyniową, będącą właśnie podstawowym efektem biologicznym działania promieniowania podczerwonego. Poprawa ukrwienia niesie za sobą pozytywny efekt w postaci lepszego metabolizmu. Należy wspomnieć również o innych skutkach: pobudzeniu termoreceptorów, podniesieniu progu odczuwania bólu czy też reakcji autonomicznego układu nerwowego, skutkującej zmniejs-

¹ Prawo głoszące, że przemianę fotochemiczną wywołać może tylko światło zaabsorbowane przez układ, swą nazwą upamiętnia niemieckiego fizyko-chemika Theodora Grotthussa i amerykańskiego przyrodnika Johna Williama Drapera.



Fot.1. Wersja statywowa lampy emitującej promieniowanie podczerwone.



Fototerapia. Foto – Dreamstime



Fot. 2. Diodowy laser biostymulacyjny używany w fizykoterapii.



Laseroterapia. Foto – Dreamstime

szeniem nadmiernego napięcia mięśni. Dlatego wskazania do stosowania promieniowania podczerwonego obejmują m.in. łagodzenie nerwobólów czy leczenie przewlekłych stanów zapalnych.

Podczas zabiegów trzeba oczywiście chronić oczy (minimalizując tym samym ryzyko tzw. zaćmy hutniczej) i uważać, aby nie doszło do oparzenia pacjenta. Do terapii wykorzystywane są przede wszystkim lampy statywowe (fot.1), emitujące zarówno podczerwień ($\approx 90\%$) jak i światło widzialne ($\approx 10\%$). Ich budowa zwykle nie jest skomplikowana a podstawowe elementy stanowią zarówno (o mocy 50-1500 W), tubus skupiający wiązkę oraz zestaw filtrów.

Warto wspomnieć, że istnieją również tzw. generatory nieświeczne, emitujące wyłącznie promieniowanie podczerwone. W tym przypadku wtórnym źródłem promieniowania może być obudowa z materiału żaroodpornego, wewnątrz której umieszczona jest nawinięta na ceramiczną szpulę spirala z drutu oporowego rozżarzana w wyniku przepływu prądu do temp. 500-900°C. Co ciekawe, w przeszłości produkowano w Polsce aparaty do światłolecznictwa, które pełniły rolę zarówno promienników podczerwieni jak i emiterów nadfioletu.

Promieniowanie ultrafioletowe czasami również wykorzystywane jest w fizykoterapii. Niektórych może to dziwić, gdyż ekspozycję na UV kojarzą przede wszystkim z negatywnym wpływem na organizm: generowaniem wolnych rodników, nowotworami skóry czy jej fotostarzeniem. Nie należy jednak zapominać o aspektach uznawanych za pozytywne, np. działaniu bakteriobójczym, zwiększaniu pigmentacji skóry (powstawaniu opalenizny) czy uczestniczeniu w procesie syntezy witaminy D₃, pozwalającej zapobiegać krzywicy.

Pod wpływem promieniowania ultrafioletowego zaabsorbowanego w tkankach zachodzą bowiem reakcje fotochemiczne. Przenikanie nadfioletu przez powłoki skórne uwarunkowane jest długością fali. UV A (320-380 nm) wnika na głębokość do 2 mm, czyli aż do skóry właściwej. Z kolei promieniowanie o najmniejszej wykorzystywanej w fototerapii długości ($\lambda \approx 200$ nm) pochłaniane jest w cało-

ści przez warstwę rogową naskórka. Widzialnym odczynem po ekspozycji jest tzw. rumień fotochemiczny, czyli zaczerwienienie wynikające z rozszerzenia naczyń włosowatych.

Nietrudno domyślić się, iż wrażliwość skóry na promieniowanie UV zależy od jej barwy (zawartości melaninu). Dlatego długość trwania zabiegów dobiera się dla każdego pacjenta indywidualnie, po uprzednim ustaleniu czasu napromieniania, po jakim wystąpi u niego odczyn progowy (nieznaczne zaróżowienie skóry zanikające po około 12 h) przy ustalonej odległości od stosowanego źródła. Może nim być lampa kwarcowo-rtęciowa. Jej głównym elementem jest wypełniona gazem szlachetnym (rozrzedzonym argonem) rurka ze szkła kwarcowego, zawierająca dodatkowo krople rtęci.² Pomiędzy umieszczonymi na obydwu końcach rurki i podłączonymi do napięcia prądu elektrodami powstaje łuk elektryczny, będący źródłem promieniowania UV. Jego długość fali zależy m.in. od ciśnienia gazu wypełniającego palnik.

Aparaty do fototerapii różnią się oczywiście budową w zależności od przeznaczenia. Wskazaniami do wykonania naświetlań są m.in. profilaktyka krzywicy, leczenie trądziku pospolitego, przewlekłej egzemy czy trudno gojących się ran oraz owrzodzeń. Należy jednak pamiętać, że stosowanie nadfioletu zawsze wymaga szczególnej ostrożności, m.in. bezwzględnej ochrony oczu ze względu na szkodliwy wpływ na rogówkę, spojówkę a nawet soczewkę.³

Laseroterapia

Lasery znajdują szerokie zastosowanie w medycynie, nietrudno zatem domyślić się, że korzystają z nich także fizjoterapeuci. Dokładne omówienie zasady działania laserów medycznych to oczywiście temat na osobny artykuł. Warto przypomnieć jednak genezę samej nazwy, która stanowi akronim od angielskiego: **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (wzmocnienie światła przez wymuszoną emisję promieniowania). Czytelnikom znane są na pewno cechy promieniowania laserowego takie, jak: monochromatyczność, koherentność (spójność przestrzenna i czasowa), kierunkowość generacji i równoległość wiązki oraz duża powierzchniowa gęstość mocy.

² Rtęć paruje, gdy temperatura wewnątrz rurki (czyli tzw. palnika) wzrasta na skutek wyładowań zachodzących w argonie.

³ O budowie oka ludzkiego można przeczytać w artykule: T. Kubiak, Od biofizyki układu wzrokowego do złudzeń optycznych, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 6 (2019), s. 4-10.

W fizykoterapii do biostymulacji używa się laserów o niewielkiej, nieprzekraczającej 400 mW mocy. Emitowana wiązka nie wywiera zatem istotnego działania cieplnego (wzrost temp. tkanek nie przekracza $0,5^{\circ}\text{C}$) a jedynie bodźcowe. Podczas zabiegu około 40% światła padającego na powierzchnię skóry ulega odbiciu. Reszta wnika w ciało, przy czym całkowita głębokość penetracji zależy od długości fali. Wiązka doznaje strat na skutek rozproszenia i absorpcji tak, że energia dostarczana do kolejnych warstw tkanek maleje wykładniczo.⁴

Naświetlanie laserem odbywa się w sposób bezkontaktowy, gdy aplikator nie styka się bezpośrednio z tkanką bądź kontaktowy, gdy dotyka skóry. Drugi z wymienionych sposobów pozwala znacznie ograniczyć straty energii. Ponadto urządzenie może być dokładane tylko do określonych punktów na powierzchni skóry (tzw. napromienianie stabilne) bądź po niej przemieszczane (technika labilna). Samo urządzenie do terapii oprócz wspomnianego aplikatora (zawierającego diodę oraz układ optyczny) posiada również sterownik (część kontrolną i zasilającą).

Należy bowiem wspomnieć, że we współczesnej fizjoterapii wykorzystuje się przede wszystkim lasery półprzewodnikowe, bazujące na diodach z arsenku galu (GaAs), mogących emitować promieniowanie w zakresie 630-980 nm. Przykładowy diodowy laser biostymulacyjny, pracujący w trybie impulsowym i wysyłający falę o długości 905 nm, obrazuje fot.2. W przeszłości do biostymulacji wykorzystywano również lasery He-Ne, wytwarzające światło czerwone ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$).

Promieniowanie laserowe może wywoływać reakcje fotochemiczne, powodować zwiększenie syntezy kolagenu a nawet wpływać na przepuszczalność błon komórkowych. W literaturze wskazuje się na jego działanie przeciwzapalne, przeciwbólowe a nawet przeciwnowotworowe. Stąd wśród wskazań do laseroterapii wymienić można wspomaganie leczenia zwyrodnienia stawów, zapaleń okołostawowych, przeciążeń mięśni i ścięgien a także przyspieszanie gojenia się ran oraz regeneracji tkanek (w przypadku owrzodzeń, odleżyn, oparzeń, trądziku czy blizn). Skuteczność terapii zależy oczywiście od wielu parametrów, m.in.: czasu ekspozycji, mocy wyjściowej lasera, wielkości napromienianego obszaru, a w przypadku laserów impulsowych także od częstotliwości, czasu trwania i mocy maksymalnej impulsów.

Elektroterapia

Temat dotyczący wykorzystania prądu elektrycznego do celów leczniczych i rehabilitacyjnych jest tak szeroki, że można by mu poświęcić osobny artykuł. Niemniej jednak, pisząc o fizjoterapii, wypada chociażby skrótowo wspomnieć o metodach stosowanych w elektrolecznictwie.

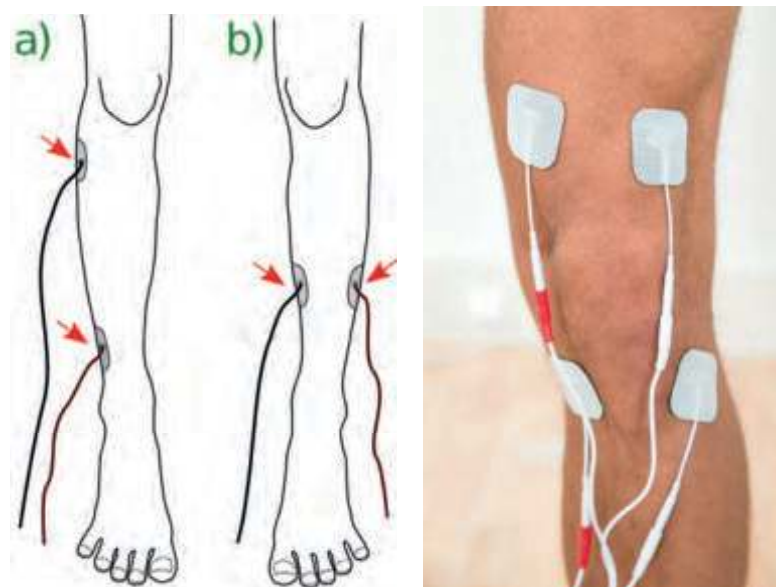
Zacznijmy od przybliżenia zabiegów przeprowadzanych z użyciem prądu stałego, którego kierunek przepływu oraz natężenie nie zmieniają się w czasie. W literaturze medycznej prąd taki nazywany jest galwanicznym. Wbrew skojarzeniom należy pamiętać, że współcześnie generują go specjalne aparaty terapeutyczne, a nie ogniwa. Określenie zabiegów z użyciem prądu stałego mianem galwanizacji ma natomiast upamiętniać włoskiego

fizyka i fizjologa Luigi Galvaniego. W procedurze wykorzystywane są zazwyczaj dwie elektrody płaskie połączone z przeciwnymi biegunami źródła i przykładane w odpowiednie miejsca na skórze. Ich wielkość decyduje o gęstości przepływającego prądu a rozmieszczenie determinuje kierunek jego przepływu w stosunku do długiej osi ciała (rys.1).

Warto wspomnieć, że poprzeczne ułożenie elektrod sprawia, że płynący prąd napotyka większe opory związane z warstwowym ułożeniem tkanek. Przepływ podłużny ułatwiają natomiast m.in. naczynia wypełnione krwią bądź limfą. Generalnie tkanki oraz płyny ustrojowe mogą znacznie różnić się pod względem przewodnictwa elektrycznego. Przyczyną jest przede wszystkim ich niejednakowe uwodnienie oraz odmienna zawartość elektrolitów.⁵

Przykładowo warstwa rogowa naskórka (złożona z martwych komórek) oraz tkanka kostna posiadają duży opór właściwy. Z kolei krew, limfa czy płyn mózgowo rdzeniowy są dobrymi przewodnikami. Ciało człowieka w dużym uproszczeniu można zatem traktować jako zespół przewodników jonowych oraz izolatorów. Z przepływem prądu stałego przez ciało związane są m.in. zjawiska:

- elektrochemiczne (związane z elektrolizą, zachodzącą podczas przepływu prądu przez wodne roztwory elektrolitów tkankowych);
- elektrokinetyczne (elektroforeza – ruch naładowanych cząsteczek fazy rozproszonej w nieruchomej fazie rozpraszającej oraz elektroosmoza – ruch fazy rozpraszającej pod wpływem pola elektrycznego);
- elektrotermiczne (generowanie ciepła pod wpływem przepływającego prądu).



Rys. 1. Podczas elektroterapii elektrody na kończynie mogą być rozmieszczone a) podłużnie (wzdłuż osi długiej) albo b) poprzecznie (naprzeciw siebie).

Elektroterapia. Foto – Dreamstime

⁴ Za absorpcję światła laserowego, w zależności od stosowanej długości fali, odpowiadają m.in. cząsteczki wody, hemoglobina, melanina, porfiryne i inne fotoakceptory.

⁵ O roli wody w organizmie ludzkim przeczytać można w artykule: T. Kuźbiak, Biofizyka a niezwykle właściwości wody, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 4 (2021), s. 4-11.

Generalnie prąd będzie dążył do przepływu drogami o najmniejszym oporze, czyli np. w przypadku skóry przy wykorzystaniu przewodów wyprowadzających pot.

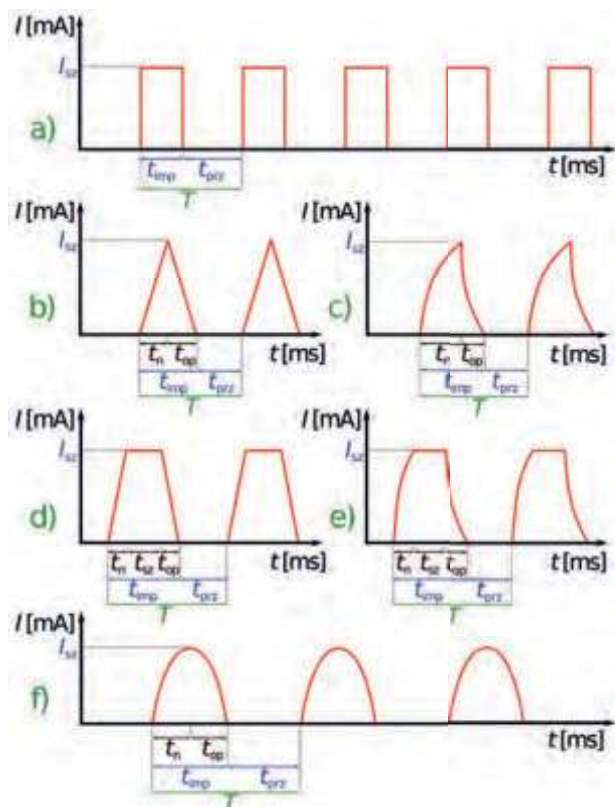
Wracając do zabiegów z wykorzystaniem prądu stałego możemy wyróżnić galwanizację katodową (wykorzystywaną do pobudzania) i anodową (mającą wywoływać efekt przeciwbólowy).

Można zatem powiedzieć, że efekt terapeutyczny jest uzależniony od wyboru bieguna elektrody czynnej. Należy zaznaczyć, że elektroda nazywana czynną posiada mniejszą powierzchnię w porównaniu z elektrodą określaną jako bierna. Jeśli prąd elektryczny ma działać na kończynę górną, jedną z elektrod przykładamy się zazwyczaj w okolicy barku, natomiast drugą na wewnętrzną powierzchnię dłoni. W przypadku kończyny dolnej elektrody umieszcza się odpowiednio w okolicy pośladka i na stopie.

Sporadycznie do terapii porażenia nerwu twarzowego oraz stymulacji nerwu trójdzielnego stosuje się tzw. elektrodę Bergoniego⁶ w formie półmaski w parze z elektrodą bierną zakładaną na kark. Kryteriami doboru natężenia prądu stosowanego podczas galwanizacji są przede wszystkim powierzchnia elektrody czynnej, przewidywany czas trwania zabiegu oraz poziom tolerancji pacjenta (musi odczuwać lekkie mrowienie). Generalnie gęstości prądu pod elektrodami (gdzie pojawia się największy odczyn) zawierają się w zakresie $0,01 \text{ mA/cm}^2 - 0,5 \text{ mA/cm}^2$. Czas pojedynczej sesji to z reguły 15-30 min.

Działanie biologiczne prądu stałego obejmuje wywoływanie zmian w przepuszczalności błon biologicznych, drażnienie receptorów czuciowych (powodujące hamowanie przepływu innych sygnałów bólowych) czy rozszerzenie naczyń krwionośnych (skutkujące zwiększeniem ukrwienia tkanek i ich lepszym odżywieniem). Galwanizację stosuje się zatem przede wszystkim w przypadku zespołów bólowych towarzyszących zwyrodnieniom kręgosłupa i stawów oraz zapaleniom nerwów. Dla zainteresowanych warto dodać, że do zabiegów elektroczniczych z udziałem prądu stałego należą również kąpiele elektryczno-wodne (wykorzystujące dodatkowo działanie wody) oraz jonoforeza (pozwalająca wprowadzać leki o charakterze jonowym do tkanek).

Przepływ prądu stałego przez ciało nie wywołuje skurczów mięśni. Dlatego w celu przeprowadzenia elektrostymulacji nerwowo-mięśniowej wykorzystuje się prądy impulsowe. Są one zaliczane do prądów o niskiej częstotliwości, gdyż f zawiera się w przedziale $0,5 - 1000 \text{ Hz}$. W zależności od wskazań podawane są impulsy o różnym kształcie (rys.2). Przebiegi prostokątne mają zastosowanie przy stymulacji mięśni osób długotrwale unieruchomionych, trójkątne (i eksponencjalne) pomagają przy niedowładach wiotkich mięśni, natomiast trapezowe wykorzystuje się w treningu mięśni szkieletowych. Impulsy można też formować poprzez jednopółkowe prostowanie prądu sinusoidalnie zmiennego. Przykładowy aparat do elektroterapii przedstawia fot.3.



Rys. 2. Kształty impulsów prądów niskiej częstotliwości: a) prostokątne; b) trójkątne; c) eksponencjalne; d) i e) trapezowe; f) powstałe przez jednopółkowe prostowanie prądu sinusoidalnie zmiennego. Zaznaczono najważniejsze parametry impulsów.

Do biofizycznego opisu przepływu prądów zmiennych przez organizm często wykorzystuje się różnego rodzaju modele a właściwości elektryczne tkanek przedstawia na schematach, zawierających układy oporników i kondensatorów. Mamy zatem całkowitą impedancję ciała, na którą składają się opory rzeczywiste oraz pozorne związane z pojemnością (kapacytancje). Te ostatnie zależne są m.in. od częstotliwości stosowanego prądu oraz właściwości ośrodka. Rys. 3 przedstawia w sposób bardzo uproszczony drogę przepływu prądu pomiędzy dwoma elektrodami przez skórę i tkanki głębokie. Warto zauważyć, że impedancja kontaktu Z_c , charakteryzująca miejsce styku elektrody ze skórą, może być zmniejszona, jeśli wprowadzi się tam elektrolit bądź żel przewodzący. W przypadku tkanek głębokich przy przepływie prądów o niskich częstotliwościach dominuje opór rzeczywisty R_s . Z kolei dla skóry, której model elektryczny jest skomplikowany, pojemność C_s odgrywa dużą rolę. Jest ona pojemnością równoważną równolegle i szeregowo połączonych kondensatorów, odzwierciedlających błony komórkowe naskórka.

Należy pamiętać, że działanie biologiczne prądów impulsowych zależy od szeregu parametrów (patrz ponownie rys.2), m.in. czasu, w jakim natężenie prądu narasta t_n , utrzymuje swą wartość szczytową t_{sz} oraz opada do zera t_{op} , co łącznie składa się na czas trwania pojedyn-

⁶ Jean Alban Bergonié był profesorem w klinice elektryczności medycznej i fizyki biologicznej na Uniwersytecie w Bordeaux, czego dowiedzieć możemy się z nekrologu opublikowanego w czasopiśmie Nature (1925), 115, s. 93: <https://www.nature.com/articles/115093b0> (dostęp 9.01.2022).

czego impulsu⁷ ($t_{imp} = t_n + t_{sz} + t_{op}$), wartości szczytowej natężenia impulsu I_{sz} , czasu przerwy pomiędzy impulsami t_{prz} , okresu $T = t_{imp} + t_{prz}$ i ewentualnej modulacji amplitudowej. Ta ostatnia może wiązać się ze stopniową zmianą amplitudy natężenia prądu w kolejnych impulsach tak, że ich seria posiada wyraźną obwiednię, np. sinusoidalną. Skurcz mięśnia wywołany w wyniku takiego pobudzania bardziej przypomina bowiem naturalny.

Warto wspomnieć jeszcze o dwóch odmiennych technikach (jedno i dwubiegunowej) przeprowadzania elektrostymulacji. Pierwsza z nich stosowana jest, gdy przewodnictwo nerwowo-mięśniowe jest prawidłowe lub nieznacznie zaburzone. Elektroda czynna (katoda) umieszczana jest wówczas w tzw. punkcie motorycznym nerwu albo mięśnia i posiada znacznie mniejszą powierzchnię od zlokalizowanej w pewnym oddaleniu płytkowej elektrody biernej.⁸ Impulsami prostokątnymi można wówczas pobudzać mięśnie (np. w unieruchomionej w wyniku złamania kończynie), aby nie uległy zanikowi.

Druga metoda, przydatna w przypadku mięśni odnerwionych, bazuje na dwóch małych elektrodach (o jednakowych wymiarach) zlokalizowanych w pobliżu przyczepów mięśni. Co ciekawe, mięśnie odnerwione mogą być wybiórczo pobudzane, gdyż w przeciwieństwie do zdrowych nie ulegają akomodacji i reagują skurczem na prąd o wolno narastającym natężeniu. Z takim mamy do czynienia w przypadku wspomnianych wcześniej impulsów trójkątnych, które nadają się do terapii zarówno porażonych wiotko mięśni poprzecznie prążkowanych jak i nieprawidłowo funkcjonujących mięśni gładkich (pęcherza moczowego czy jelit).

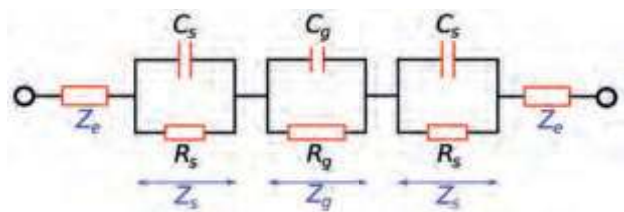
W kontekście zastosowań terapeutycznych prądów impulsowych warto również wspomnieć o tzw. prądach diadynamicznych. Francuski dentysta Pierre Bernard wprowadził je po raz pierwszy do praktyki klinicznej w latach 50-tych XX w. i stwierdził, że wykazują złożone działanie przeciwbólowe. Współcześnie znana jest również ich zdolność do rozszerzania naczyń krwionośnych (wywołania przekrwienia), co wpływa oczywiście na poprawę metabolizmu tkankowego. Dlatego prądy te wykorzystywane są m.in. do leczenia obrzęków i zaburzeń ukrwienia obwodowego.

Warto doprecyzować, że pod nawą prądy diadynamiczne kryje się sześć odmiennych typów przebiegów, różniących się przede wszystkim częstotliwością, występowaniem przerw oraz sposobem modulacji. Przypisane im dwuliterowe symbole są skrótami od nazw francuskich. Efekt terapeutyczny może przynieść np. nałożenie jednopółkrowo wyprostowanego prądu sinusoidalnie zmiennego o częstotliwości 50 Hz na prąd stały o natężeniu 1-3 mA.

Przedział, w jakim zawiera się natężenie (stałe wraz nałożonym na nie zmiennym) wykorzystywane podczas zabiegów, odpowiada tzw. zakresowi czynnościowemu prądów diadynamicznych. Leży on pomiędzy progiem



Fot. 3. Urządzenie do elektroterapii z wykorzystaniem prądów impulsowych.



Rys. 3. Schemat drogi przepływu prądu przez ciało człowieka pomiędzy elektrodami umieszczonymi na skórze. Symbole oznaczają: Z_e – impedancja kontaktu (styku elektrody ze skórą), Z_s – impedancja skóry, R_s – rezystancja skóry, C_s – pojemność skóry, Z_g – impedancja tkanek głębokich, R_g – rezystancja zastępcza tkanek głębokich, C_g – pojemność równoważna tkanek głębokich.

pobudliwości (wartością natężenia, dla której bodziec staje się odczuwalny) a progiem bólu (natężeniem wywołującym wrażenie bólowe). Podwyższenie progu odczuwania bólu jest właśnie podstawowym, oczekiwanym skutkiem terapii. Do innych zaliczyć można wspomnianą już wcześniej reakcję naczyniową (wywołaną najprawdopodobniej stymulacją odpowiednich zakończeń nerwowych układu autonomicznego) oraz wywoływanie zmian w pobudliwości tkanki mięśniowej (w zależności od typu prądu diadynamicznego możemy mieć do czynienia z obniżeniem bądź wzmożeniem napięcia mięśni).

Popularnym zabiegiem we współczesnej fizykoterapii jest też przeskórna elektrostymulacja nerwów oznaczana zazwyczaj akronimem TENS (od ang. *Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation*). Stosuje się ją przede wszystkim w celu walki z bólem. Działanie metody wyjaśnia się w oparciu o bramkową teorię bólu opracowaną przez Ronalda Melzacka i Patricka Walla już w 1965 r. Mówiąc w dużym skrócie i uproszczeniu, uważa się, że impulsy nerwowe, wygenerowane na skutek stymulacji prądem i przewodzone przez włókna czuciowe, docierają do mózgu szybciej niż sygnały związane z bólem przewlekłym, gdyż te ostatnie są blokowane w rogu tylnym rdzenia kręgowego ze względu na mniejszy priorytet.

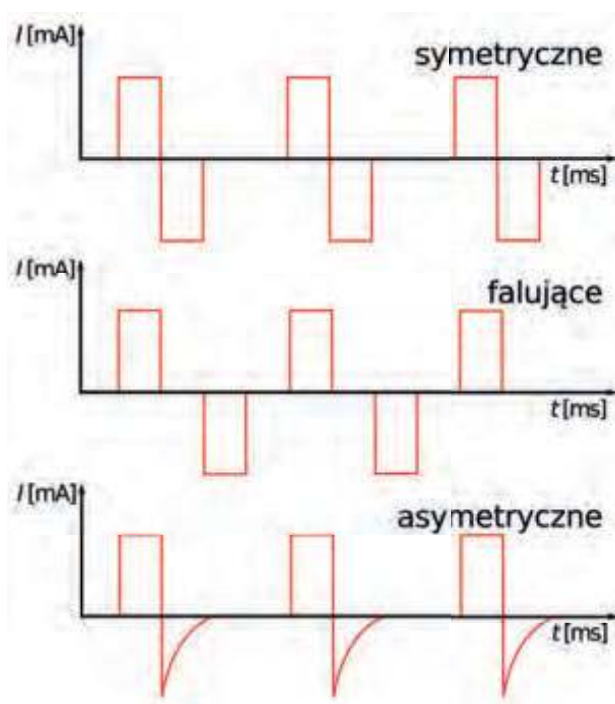
⁷ Stosunek czasu trwania impulsu do okresu (t_{imp}/T) nazywany jest współczynnikiem wypełnienia.

⁸ Punkt motoryczny nerwu to obszar na skórze, w jakim nerw ruchowy znajduje się najbliżej jej powierzchni, natomiast punkt motoryczny mięśnia koresponduje z miejscem, gdzie nerw wnika do mięśnia.

W terapii używa się dwóch lub czterech elektrod powierzchniowych, które umieszczane są w określonych punktach, związanych najczęściej z przebiegiem nerwów lub miejscem odczuwania bólu. W zależności od rodzaju metody TENS podaje się impulsy dwukierunkowe o różnym kształcie, natężeniu szczytowym i czasie trwania. Mówimy o impulsach: symetrycznych (jeśli bezpośrednio po dodatnim następuje ujemny), falujących (gdy dodatnie i ujemne występują naprzemiennie) oraz asymetrycznych (jeśli dodatni prostokątny poprzedza ujemny eksponentyjalny). Ilustruje to rys 4.

Ważna jest też częstotliwość prądu, która różni się w przypadku trzech najpopularniejszych metod TENS: elektroakupunktury (1-4 Hz), konwencjonalnej (50-150 Hz) oraz uderzeniowej (100-200 Hz). W ostatniej z wymienionych w ciągu sekundy oddziałuje się zazwyczaj dwoma seriami impulsów. Warto wspomnieć, że oprócz aparatów stosowanych w profesjonalnych gabinetach fizjoterapeutycznych istnieją też niewielkie, zasilane bateriami, urządzenia do użytku domowego. Dzięki temu przeszkolony pacjent może samodzielnie przeprowadzać zabieg nawet kilkakrotnie w ciągu dnia.

Po omówieniu wybranych typów prądów impulsowych warto przyjrzeć się zastosowaniom prądów średniej częstotliwości (1 kHz – 10 kHz). Są one przydatne w uśmierzaniu bólu. Mogą też przyczyniać się do poprawy ukrwienia tkanek (a tym samym ich metabolizmu) poprzez wywoływanie rozszerzenia naczyń krwionośnych. W porównaniu z prądami o niskiej częstotliwości, prądy o średniej częstotliwości słabiej oddziałują na znajdujące się w skórze receptory czuciowe. Minimalizuje to nieprzyjemne odczucia pacjenta. Ponadto z powodu mniejszego wpływu elektrochemicznego, w ich przypadku ryzyko pojawienia się uszkodzeń skóry jest ograniczone. Ze względu na fakt, iż w przy przepływie prądu zmiennego przez tkanki ważną rolę odgrywa opór pojemnościowy, prądy o średniej częstotliwości będą głębiej wnikać w ciało. Wydawać by się zatem mogło, że posiadają same zalety. Aby jednak przy ich pomocy wywołać reakcje mięśniową po-

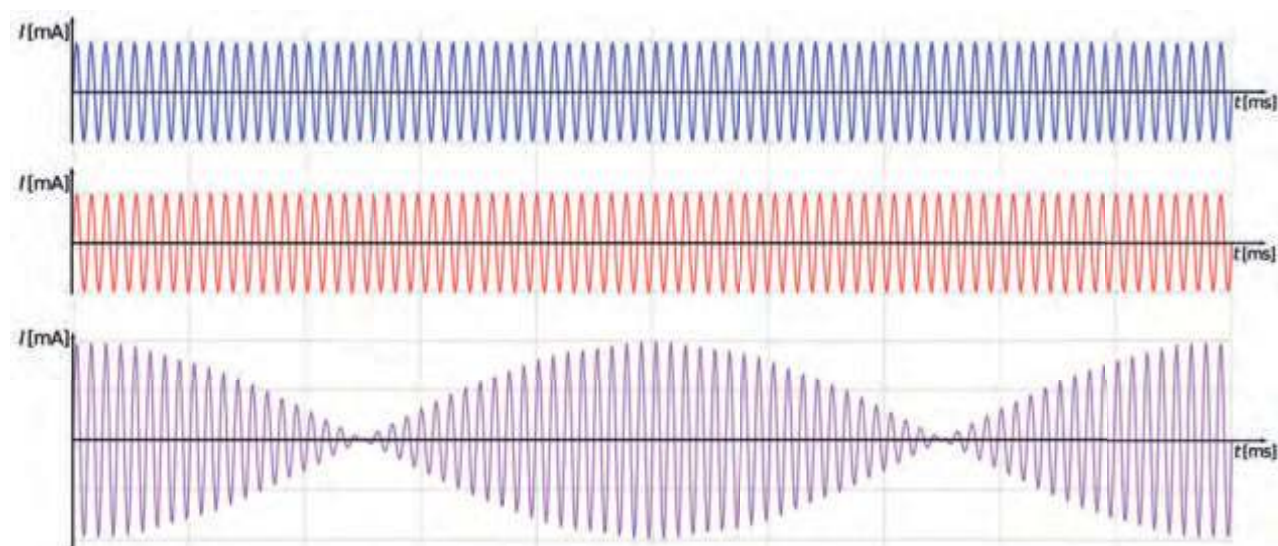


Rys. 4. Typy prądów impulsowych wykorzystywanych w metodzie TENS.

trzebne byłoby wyższe natężenie prądu, co zwiększałoby ryzyko wywołania długotrwałego skurczu i towarzyszącego bólu.

Problem ten rozwiązuje się, stosując odpowiednią modulację. Średnia częstotliwość pełni wówczas rolę częstotliwości nośnej. Natomiast za pobudzenie tkanek odpowiedzialny jest okresowo (np. sinusoidalnie) zmieniający się przebieg, stanowiący obwiednię. Charakteryzuje go tzw. częstotliwość podstawowa (terapeutyczna), która nie przekracza zwykle 100 Hz. Same prądy mogą być unipolarne i bipolarne. W tym drugim przypadku bieguny elektrod zmieniają się w zależności od przyłożonego napięcia.

Co ciekawe, wspomniany efekt modulacji może być wywołany bezpośrednio w tkankach, na skutek interferencji dwóch prądów średniej częstotliwości płynących



Rys. 5. Prądy Nemeca powstają w wyniku interferencji dwóch sinusoidalnych prądów o średnich częstotliwościach.



Fot. 4. Aparaty pozwalające wytwarzać m.in. prądy interferencyjne (góra) i diadynamiczne (dół).

w oddzielnych obwodach (rys.5). Tzw. prądy Nemeca powstają właśnie w ciele człowieka w wyniku interferencji dwóch przebiegów sinusoidalnych o średnich częstotliwościach (4000 i 3900 Hz albo 4100 i 4000 Hz). W terapii wykorzystuje się zatem cztery elektrody, tworzące dwa niezależne obwody elektryczne. Łatwo się zatem domyślić, że warunkiem zajścia interferencji w głębi tkanek jest poprawne rozmieszczenie wspomnianych elektrod na obszarze zabiegowym. Należy jeszcze wspomnieć, że

współczesne aparaty (fot.4) pozwalają prowadzić leczenie tzw. metodą dwupolową, gdzie modulacja przeprowadzana jest bezpośrednio w urządzeniu a pacjentowi zakłada się tylko dwie elektrody.

Fizykoterapia obejmuje szereg metod terapeutycznych. W niniejszym artykule przybliżone zostały podstawy światłolecznictwa, laseroterapii oraz elektroterapii. Podstawy fizyczne pozostałych technik wykorzystywanych do leczenia bądź rehabilitacji pacjentów (np. użycie pól magnetycznych, ultradźwięków czy termoterapii) zostaną omówione w odrębnym tekście.

dr Tomasz Kubiak

Wydział Fizyki UAM w Poznaniu

LITERATURA:

- [1] W. Kasprzak, A. Mańkowska, Fizykoterapia, medycyna uzdrowiskowa i SPA, PZWL, Warszawa 2008.
- [2] A. Straburzyńska-Lupa, G. Straburzyński, Fizjoterapia, PZWL, Warszawa, 2004.
- [3] T. Mika, W. Kasprzak, Fizykoterapia, PZWL, Warszawa, 2003.
- [4] W. Kuliński, Fizykoterapia [w:] Rehabilitacja medyczna, t.1, pod red. A. Kwołka, Edra Urban & Partner, Wrocław 2015, 351-407.
- [5] Z. Mních i inni, Podstawy fizyczne i biofizyczne elektroterapii, pod red. A. Kwołka, Edra Urban & Partner, Wrocław 2015, 125-158.
- [6] W. Stryła, A.M Pogorzała, Zabiegi z zakresu fizjoterapii [w:] Rehabilitacja i pielęgnowanie osób niepełnosprawnych, pod red. M. Strugały i D. Talariskiej, PZWL, Warszawa 2014, s. 99-124.
- [7] Podstawy fizjoterapii, część II Podstawy metodyczne i technika wykonywania niektórych zabiegów, pod red. J. Nowotnego, Wyd. Kasper, Kraków 2004, s. 91 – 167.
- [8] L. R. Sheffler, J. Chae, Neuromuscular electrical stimulation in neurorehabilitation, Muscle & Nerve, 2007, 35: 562-590.
- [9] L. Lynch, K. H Simpson, Transcutaneous electrical nerve stimulation and acute pain, British Journal of Anaesthesia 2002, 2(2), 49-52.

Co w fizyce piszczy

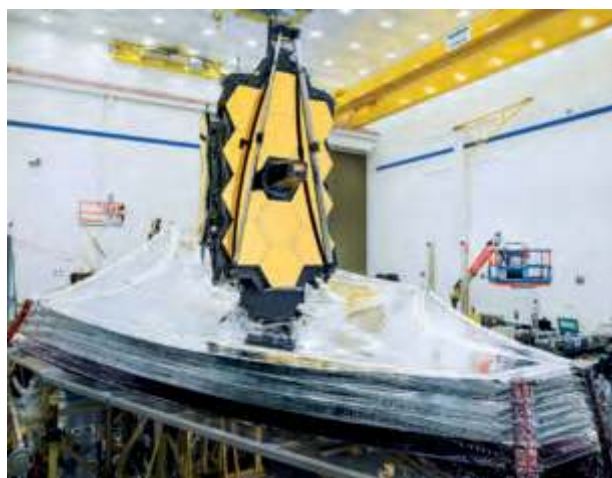
Wystartował Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba

25 grudnia 2021 roku wystartował Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba, którego celem mają być obserwacje pierwszych gwiazd powstałych po Wielkim Wybuchu, badanie formowania się i ewolucji galaktyk, badanie powstawania gwiazd i systemów planetarnych. Jak tłumaczy PAP Scott Friedman, główny naukowiec Space Telescope Science Institute odpowiedzialny za rozruch teleskopu, pozwoli on na znacznie dalsze i dokładniejsze zbadanie Wszechświata niż funkcjonujący od ponad 30 lat teleskop Hubble'a. To zasługa m.in. mierzącego 6,5 metrów głównego lustra złożonego z pokrytych złotem berylowych sześciokątnych paneli oraz zdolności do obserwacji w podczerwieni.

System optyczny teleskopu składa się z 4 zwierciadeł, elementów konstrukcyjnych i podsystemów wspomagających. Pierwsze zwierciadło jest wklęsłe, a drugie wypukłe. Trzecie eliminuje astygmatyzm i spłaszcza płaszczyznę ogniskową. Czwarte, płaskie zwierciadło (*fine-steering mirror*) zapewnia precyzję celowania i stabilizację obrazu.

Główne zwierciadło jest zbudowane z 18 sześciokątnych elementów ułożonych w formie plastra miodu. Pojedynczy element mierzy 1,32 m od krawędzi do krawędzi. Razem formują sześciokąt o rozpiętości 6,5 m i powierzchni zbierającej światło równej 25 m² (co odpowiada powierzchni kolistego zwierciadła o ok. sześciometrowej średnicy).

Dzięki obserwacji w podczerwieni, teleskop Webba będzie w stanie spojrzeć znacznie dalej w głąb początków wszechświata i jednych z pierwszych gwiazd i galaktyk, w momencie, kiedy wciąż się tworzyły, około 200 mln lat po Wielkim Wybuchu. Pozwoli to w lepszy sposób zro-



Montaż głównego lustra teleskopu – źródło NASA

zumieć ewolucję wszechświata, a także m.in. proces tworzenia się gwiazd. Inny cel to możliwość dokładniejszego zbadania atmosfer egzoplanet, czyli planet poza Układem Słonecznym - przede wszystkim pod kątem potencjału do istnienia tam życia. Dane z teleskopu pozwolą też m.in. lepiej zrozumieć jedne z najbardziej zagadkowych koncepcji w nauce, m.in. charakter tzw. ciemnej materii - hipotetycznej, „niewidzialnej” materii, która stanowi większość masy wszechświata, a także ciemnej energii, która według naukowców odpowiada za przyspieszające tempo rozszerzania się wszechświata.

(PAP, Wikipedia)

Szczególnie potrzebna teoria względności

Foto – Dreamstime

Najważniejsze efekty szczególnej teorii względności oraz motywacje stojące za jej powstaniem, to odpowiedź między innymi na następujące pytania: Czy kolejność wydarzeń może, zależeć od tego kto je obserwuje? Co Einstein ma wspólnego z bombą atomową? Oraz – dlaczego szczególna teoria względności była potrzebna ludzkości?

Cyprian Sobczak

Po co powstała szczególna teoria względności?

Miałem już przyjemność, opisaną w jednym z poprzednich artykułów („Mechanika kwantowa – od pojęcia kwantu do całek po trajektoriach”), jak wspaniały i kompletny był świat według ludzi pod koniec XIX wieku. Ludzkość miała metody na ocenę, gdzie spadnie wystrzelona kula armatnia, potrafiła zbudować pociąg i most, który się pod nim nie zarwie, gdy ten będzie przejeżdżał. Wydawało się, że szczęśliwie nauka jest już ukończona i fizycy powinni sobie znaleźć lepsze zajęcie, chociaż i tak nie było ich zbyt wielu (w 1900 roku liczba fizyków na świecie wynosiła 1100). Spośród tej garstki wyłoniło się kilku wybitnych uczonych, którzy postanowili nie ustawać w zadawaniu pytań. O ile odkrycie mechaniki kwantowej, było ciosem miazdzącym dla ludzi przekonanych o kompletności wiedzy, to odkrycie, szczególnej teorii względności, można uznać za irytujący policzek [2].

Motywacje do odkrycia szczególnej teorii względności, dał wielki sukces Jamesa Clerka Maxwella, który kilkadziesiąt lat wcześniej, zebrał wiedzę o zachowaniu się pola elektrycznego i magnetycznego, a następnie przetłumaczył ją na język matematyki. Pozwoliło to dostrzec szereg intrygujących zależności i zunifikować obydwa oddziaływania, w oddziaływanie elektromagnetyczne.

Błyskotliwe spostrzeżenia Maxwella i wystarczająca ilość czasu na przepracowanie ich przez wielu mądrych fizyków, doprowadziły do wniosków, które nie do końca wpisywały się w ówczesne poglądy. Wynika z nich bowiem, że fale elektromagnetyczne (czyli fale radiowe, światło słoneczne, promienie rentgena) same się propagują z prędkością c .

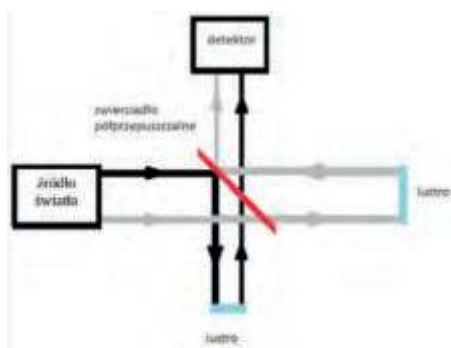
Eter

Stanowiło to kolizję z powszechnie akceptowanym poglądem, o istnieniu eteru (akceptowanym również przez Maxwella), czyli ośrodka, w którym znajduje się wszystko. Wielka walka o eter, która miała miejsce od 1881 roku, stanowi wspaniały przykład oporu, jaki wiąże się ze zmianą utartych przekonań, nawet jeśli nic konkretnego ich nie podtrzymuje. Naturalnym było przyjmować, że pomiędzy ziemią a innymi ciałami niebieskimi, znajdują się jakaś substancja, bo dużo łatwiej wyobrazić sobie cokolwiek, niż absolutnie nic, zwłaszcza kiedy w tym niczym, rozprzestrzeniają się jakieś fale. Dlatego gdy Albert Michale-son (urodzony na Kujawach) i Edward Morley rozpoczęli swoją krucjatę, aby wyznaczyć prędkość ziemi względem eteru (co stanowiło początek, końca tej hipotezy), wielu wybitnych ludzi stawało na głowie, aby bronić koncepcji eteru [2,3].

Eksperyment Michalesona (1881), a w 1887 r. również i Morleya, polegał na mierzeniu przy pomocy interferometru, wpływu orientacji aparatury na prędkość światła.

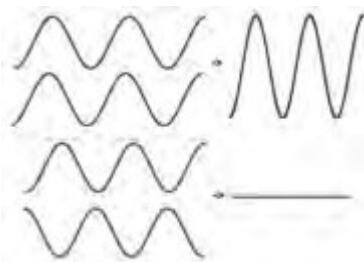
Interferometr to niezwykle precyzyjne urządzenie, stosowane w wielu dziedzinach fizyki. Działa on następująco: ze źródła jest emitowane światło, które pada na zaciemniony kawałek szklanej płytki (czerwona linia na rysunku), umieszczony pod kątem, dzięki czemu tylko część światła przechodzi przez nią (szara linia) a część się odbija (czarna linia).

Następnie obydwa promienie, odbijają się od lusterek umieszczonych na końcach ich dróg i ponownie padają na półprzepuszczalną szklaną płytkę, tak jak jest to zilustrowane na poniższym rysunku.



Rys. 1. Szkic działania interferometru.

W końcu pewna ilość światła, którego różne promienie docierały do detektora, dwiema możliwymi drogami nakłada się na siebie i tworzy na nim pewien wzór prążków (nazywany prążkami interferencyjnymi). Zazwyczaj są to naprzemienne paski światła i zaciemnienia, lub pierścienie. Wynika to z falowej natury światła, która w tym eksperymencie, przejawia analogiczną cechę do zachowania się fal na wodzie. Gdy „górką” falującej wody napotka drugą „górkę”, to powstaje fala o dwa razy większej wysokości (amplitudzie), natomiast gdy „górką” napotka „dołek” to zniosą się wzajemnie. Zachowanie to ilustruje poniższy rysunek.



Rys. 2. Ilustracja interferencji

Ta Metoda pomiarowa, pozwala niezwykle precyzyjnie (z dokładnością do długości fali światła) mierzyć zmianę drogi pokonywaną przez fotony. Jeżeli prędkość światła miałaby inną wartość w jakimś kierunku, to natychmiast, wzór prążków by się poruszył.

Wnioski z eksperymentu były jasne, prędkość światła nie zależy od kierunku ani prędkości z jaką się poruszamy. Ten fakt jest kluczowy, dla szczególnej teorii względności i jeszcze do niego wrócimy. Zwolennicy eteru darli sobie włosy z głowy i na wszelkie sposoby próbowali podważyć eksperyment, który był powtarzany wielokrotnie, w pewnych wariantach przeprowadzany w dużym naczyniu wy-

pełnionym rtęcią, aby aparatura mogła się swobodnie unosić, jednak nieubłagane wyniki i wnioski były te same. W desperacji próbowano postulować, że każdy obiekt ma swój własny eter.

Do ciekawszych prób obrony eteru, należą te George Francisa Fitzgeralda i Hendrika Antoona Lorentza, obaj ci panowie, chcąc zakwestionować pomiary udowodnili, że układ poruszający się, będzie ulegał skróceniu w kierunku ruchu (będzie o tym mowa w dalszej części), co również stanowi istotną konsekwencję szczególnej teorii względności.

Warto zaznaczyć, jak fascynującą postacią, był Lorentz. Miał on manierę czytania publikacji z fizyki w niecodzienny sposób. Zapoznawał się początkowo z tezą pracy, a następnie sam rozwiązywał zagadnienie. Gdy otrzymywał wynik, porównywał go z wynikiem autora i uznawał prace za dobrą, gdy wyniki się pokrywały. Znała jest również anegdota, o tym jak to doktorant Lorentza, zgubił swoją rozprawę doktorską tuż po sprawdzeniu jej przez swego promotora. Zatraskany student poinformował o tym Lorentza, na co ten odparł, żeby się nie martwić, bo całą potrafi odtworzyć z głowy... co również zrobił (miała ona rozmiar małej książki) [1-3].

Widać więc, że nawet najwybitniejsze postacie potrafią się mylić i twardo bronić przekonań, które zwyczajnie są błędne. Jakby tego było mało, Lorentz stworzył nową teorię eteru, w której zawarł wyjaśnienia wielu obserwowalnych zjawisk i pewną interesującą transformację, która wpływała na postrzeganie czasu, jednak uznał to za sztuczkę matematyczną. Dopiero Einstein nadał owej transformacji sens fizyczny, a nazywana jest dziś transformacją Lorentza [2].

Zasada względność

Jak zaznaczałem, wiele aspektów w walce o eter nosiło znamiona potknięć o szczególną teorię względności, jednak główną inspirację do jej stworzenia, Einstein znalazł w elektrodynamice.

Każdy świadomie lub nie, ale korzysta z prawa Faradaya i prawa Ampera. To pierwsze stoi za działaniem dynamy w rowerze lub wszelkich elektrowni, to znaczy ruchem magnesu wokół przewodnika. Innymi słowy zmiana strumienia pola magnetycznego wokół przewodnika, powoduje przepływ ładunku.

Prawo Ampera natomiast, znane jest każdemu kto używał kiedykolwiek silnika elektrycznego w dowolnej postaci, od wiatraczka chłodzącego w ciepłe dni, po samochód elektryczny. Mówi ono, że przepływ ładunku, powoduje powstanie pola magnetycznego. Można więc w uproszczeniu powiedzieć, że jeżeli mamy odpowiednio skonstruowany system złożony z magnesów otaczających zamknięty przewód i elementu wykonującego ruch np. korby, to albo kręcimy korbą i produkujemy prąd, albo puszczaemy prąd i korbą kręci się sama.

Brzmi to, jak przepis na szybki rozwój cywilizacji, który nastąpił w technice i już sam Faraday w odpowiedzi na pytanie: „a po co to?” zadane przez ministra skarbu, któremu przedstawił swoje odkrycie, odpowiedział: „Trudno to ocenić, ale jestem pewien, iż pan z tego będzie pobierał podatki” [1-4].

Skoro to działa i każdy to zna, to w czym problem?

Jeżeli za układ współrzędnych wybierzemy magnes, to znaczy posadzimy tam obserwatora i zaczniemy przeciągać przed nim przewodnik, to powie on, że nagle pojawiło się pole magnetyczne. Jeżeli na końcu zamkniętego przewodu, posadzimy innego obserwatora, który będzie mierzył natężenie prądu, to powie on, że pojawiło się pole elektryczne. Pytanie brzmi, kto ma rację, skoro efekt mechaniczny (czyli działanie siły) jest jeden i daje ten sam efekt?

Odpowiedź brzmi: Obydwaj obserwatorzy mają rację i chociaż w obu układach natura tej siły, jest definiowana inaczej, to efekt końcowy jest taki sam, i nie jest on przypadkowy. Na podstawie tego rozumowania Einstein wyprowadził postulat zwany zasadą względności, który można wyrazić jako fakt, że we wszystkich układach inercjalnych prawa fizyki są zachowane. Wniosek ten będzie nas prowadził do spostrzeżenia, że prawa elektrodynamiki nie będą zależały od układu odniesienia, a co za tym idzie prędkość światła będzie stała. Oznacza to, że wyłącznie przy użyciu głowy, udało nam się odgadnąć prawo natury, które ma potwierdzenie eksperymentalne (istotnie, bez tego potwierdzenia nie miałyby ono wartości formalnej) [1-6]!

Prosto i elegancko

Wyprowadzając szczególną teorię względności (stw), Einstein przyjął dwa postulaty:

- Prawa fizyki w układach inercjalnych (czyli, takich na które nie doznają przyspieszenia) są jednakowe.
- Prędkość światła w próżni jest stała i wynosi c ($c = 299792458$ m/s).

Niezwykle kuszące jest, aby formalnie wyprowadzić szereg wniosków płynących z tych niezwykle niewinnych postulatów, jednak ze względu odprężający charakter artykułu, przejdę do wniosków i sporadycznego dowodzenia metodą przez „machanie rękoma”.

Pierwszy postulat przypomina coś na kształt, podania dziedziny funkcji w matematyce, bez niego mówienie o konsekwencjach fizycznych, czegoś co nie respektuje praw fizyki, nie miałyby sensu.

Drugi postulat o stałości światła, wydaje się trywialny. Już Ole Romer w 1676 roku, obserwując księżyc Jowisza, wysnuł wniosek, że prędkość światła jest skończona, chociaż nie potrafił ocenić jej wartości, a ludzie, którzy starali się ją oszacować w następnych wiekach, z reguły byli bardzo bliscy jej prawdziwej wartości. Dla wniosków płynących ze szczególnej teorii względności nie musimy nawet znać dokładnej wartości c , ważne jest dla nas, że jest ograniczona.

Względność równoczesności

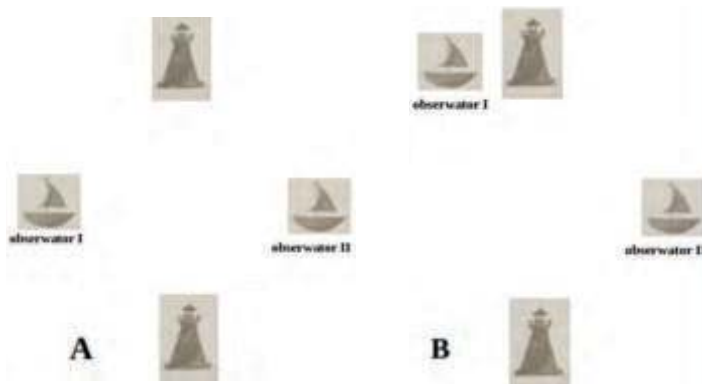
Najbardziej oczywistą, z nieoczywistych konsekwencji stw, jest względność równoczesności. Czy jest możliwe, żeby to, gdzie się znajdujemy wpływało na to, jak postrzegamy kolejność wydarzeń, które miały miejsce?

Wyobraźmy sobie, że mamy do dyspozycji dwóch obserwatorów, których uważamy za godnych zaufania i umieścimy ich na dwóch okrętach, a okręty na oceanie daleko od brzegu. Wyobraźmy sobie dodatkowo, że na na-

szym oceanie, z jakiegoś powodu znajdują się dwie latarnie, które mają zsynchronizowane zegary i dokładnie co godzinę rozbłyskają, świecąc we wszystkich kierunkach. Ze względu na fakt, że prawdziwa prędkość światła jest duża, wypadaloby przyjąć, że nasz ocean, jest bardzo, bardzo duży, tak aby odległość między latarniami była przykładowo, podobna do tej między Ziemią a Słońcem.

Wyobraźmy sobie następnie, że umieszczamy naszych zaufanych obserwatorów, w równych odległościach od obu latarni. Pytamy ich następnie, o podanie kolejności rozbłysku światła. Oczywiście obydwa wskażą zgodnie, że obie rozbłysły jednakowo (rys A).

Następnie umieścimy pierwszego obserwatora, blisko jednej z latarni i ponownie po rozbłysku zapytajmy, która z latarni rozbłysła pierwsza. Obserwator pierwszy powie, że ta bliżej niego, a druga latarnia z pewnym opóźnieniem. Drugi obserwator na tak zadane pytanie odpowie konsternacją, ponieważ według niego ponownie, obydwa latarnie zaświeciły się jednocześnie (rys B). Jakby tego było mało, latarnicy w naszych latarniach, będą wzajemnie podważać swoje kompetencje w kwestii synchronizacji, ponieważ światło z jednej latarni do drugiej będzie docierać po ponad ośmiu minutach (tyle podąża światło ze Słońca na Ziemię).



Rys. 3. Ilustrujący względność jednoczesności dla poszczególnych ułożeń obserwatorów. Na rysunku A, obaj obserwatorzy zobaczą rozbłysk światła obu latarni jednocześnie. Na rysunku B, obserwator I wskaże inną kolejność rozbłysku latarni od obserwatora II, dla którego obydwa rozbłysną jednocześnie.

Ten przykład jasno ilustruje, że stałość prędkości światła narzuca względność jednoczesności, w oczywisty sposób możemy dobrać położenie statku i kolejność rozbłysków tak, aby obserwator ocenił jako wcześniejsze wydarzenie, które wydarzyło się później. Udało nam się to pokazać na palcach, bez odwoływania się do matematyki.

A co nam daje matematyka?

Transformacja Lorentza

Matematyka daje nam jak zawsze, nieporównywalnie więcej niż samo przyglądanie się i opisywanie słowami tego, co się widzi. Przede wszystkim pozawala nam dostrzec, że opis poruszającego się obserwatora musi ulec pewnej transformacji, nazywanej transformacją Lorentza. Wnioski ze stw narzucają na nas, aby respektować czas jako dodatkowy wymiar. Sama transformacja Lorentza jest uogólnieniem transformacji Galileusza na duże prędkości. Transformacja Galileusza jest bardzo, intuicyjna

i znana każdemu. Jeśli idę wewnątrz pociągu jadącego 100 km/h z prędkością 5 km/h w kierunku jego jazdy, to pasjonat kolejnictwa, obserwujący pociąg nieopodal torów powie, że poruszam się z prędkością 105 km/h względem niego. Jeżeli będę szedł w przeciwnym kierunku do jazdy pociągu, oceni, że moja prędkość względem niego, wynosi 95 km/h. W przypadku stw dzieje się podobnie z tym, że transformacja musi uwzględniać stosunek prędkości świata do prędkości obiektu i dodatkowo, zawsze uwzględniać transformacje czasu, dla małych prędkości obie transformacje są równoważne, ale gdy ktoś bardzo szybko chodzi tzn. z prędkością $0.1c$, to powinien dobrze poznać zasady transformacji Lorentza.

Konsekwencją z transformacji Lorentza jest fakt, że prędkość światła w próżni zawsze wynosi c , ale co to znaczy?

Składanie prędkości

Wyobraźmy sobie kosmitę, który jest pasjonatem podróży kosmicznych i obserwuje statek kosmiczny, który z nieakceptowalnych powodów (będzie o tym w dalszej części), porusza się z prędkością wynoszącą $0.9c$ i w pewnym momencie postanawia wysłać foton (czyli zaświecić światłem), w kierunku, w którym się porusza. Daleko przed nim znajduje się asteroida z detektorem, na który padnie wysłany foton. Kosmita może dzięki temu zmierzyć prędkość, z jaką foton pokona drogę między statkiem, a asteroidą. Nasza intuicyjne oszacowanie prędkości, nazywane przez fizyków transformacją Galileusza, będzie następujące: statek ma prędkość $0.9c$, foton podczas emisji prędkość c , oznacza to, że prędkość określona przez kosmitę wyniesie $1.9c$... ale tak nie będzie. Gdyby takie oszacowanie było prawdziwe, to już Michealson i Morley by to zmierzili. Prędkość odczytana przez kosmitę, nadal będzie równa c !

Dylatacja czasu

Powiedzieliśmy sobie, że czas przy transformacji Lorentza, również się transformuje, ale co to właściwie oznacza? Bez zbędnego w tej konwencji formalizmu przejdziemy, do wniosków. Czas obserwatorów w dwóch układach inercjalnych, będzie wymagał odpowiedniej poprawki, jeżeli będą się ze sobą umawiać. Okazuje się, że nasz obserwator na okręcie I, który poruszałby się względem obserwatora II z pewną prędkością v , będzie starzeć się wolniej niż obserwator II. Innymi słowy, im szybciej się względem kogoś poruszamy, tym wolniej płynie dla nas czas względem tego kogoś.

Wolniej płynący czas, oznacza, że wolniej tyka nasz zegar, wolniej się starzejemy, wolniej stygnie nam herbata. Jednak tylko w ocenie kogoś, kto porusza się wolniej, bo dla nas wszystko wydaje się być w porządku. Jest tak, ponieważ dylatacji czasu ulega, każda rzecz w naszym układzie odniesienia, która mogłaby nam zasugerować, że z naszym układem się coś dzieje. To tak jak byśmy musieli usiąść na krześle, zamknąć oczy i bez żadnych pomiarów podać swoją prędkość. Ale co to znaczy nasza prędkość, skoro siedzimy? Ziemia porusza się wokół słońca z prędkością 30000 km/s względem słońca, czy to jest ta prędkość? Czy może chodzi o naszą prędkość względem Marsa? Widać,



Foto – Dreamstime

że bez zdefiniowania układu odniesienia, to pytanie nie ma sensu. Dlatego zostało wprowadzone pojęcie czasu własnego i podobnie jak odcisk palca, każdy obserwator ma swój (w szczególności, jeśli jakaś cząstka bezmasowa porusza się z prędkością światła, to dowolnie krótką chwilę w jej układzie odniesienia, każdy inny obserwator inercjalny, zinterpretuje jako nieskończenie długą). Nerozerwalnie z dylatacją czasu wiąże się paradoks bliźniąt.

Paradoks bliźniąt

Paradoks to inaczej pytanie zadane przez osobę, która nie rozumie do końca warunków danego zagadnienia. A to brzmi następująco:

Jest dwóch bliźniaków i jeden z nich wsiada do rakiety, która z jakiegoś powodu pędzi z prędkością bliską c , aż w pewnym momencie, zaczyna tęsknić za bratem i postanawia zawrócić. Gdy brat podróżnik powraca na ziemię, okazuje się, że brat domator jest już staruszką. Niezrozumienie warunków w tym zagadnieniu brzmi: dlaczego postarzał się brat domator, skoro równie dobrze można przyjąć, że to brat podróżnik wsiadł do rakiety, i to ziemia spod niego wyleciała, a następnie powróciła. Rozwiązanie tego paradoksu sprowadza się do spostrzeżenia, że układy odniesienia, nie były równoważne. Brat domator był cały czas w tym samym układzie odniesienia i nie działo się u niego nic interesującego z punktu widzenia relatywisty. Brat podróżnik, przeszedł natomiast do układu nieinercjalnego i doznawał przyspieszeń, musiał zawrócić, dlatego to on się zestarzał [1,4-6].

Pojawia się pytanie czy cała ta dylatacja jest realna?

Jak najbardziej tak. Jednym z dowodów na to jest czas życia, pewnej cząstki elementarnej nazywanej mionami. Miony mają określony czas życia, od powstania do rozpadu. Okazuje się, że miony żyją dłużej według nas, wraz ze wzrostem prędkości z jaką się poruszały. Jest to obserwowane, zarówno w laboratoriach przy ich „produkowaniu”, jak i dla tych wykrywanych w atmosferze. Drugim dowodem, był eksperyment polegający na umieszczeniu zsynchronizowanych zegarów na pokładzie dwóch samolotów, które również odnotowały dylatacje czasu. Kolejny przykład stanowi gps, który bez poprawki stw, oraz wynikającej z ogólnej teorii względności, podawałby poprawne położenie przez zaledwie kilka minut [6].

Kontrakcja

To wciąż nie koniec, rewelacji płynących z stw. Transformacja Lorentza prowadzi również do wniosku, że samochód jadący z prędkością bliską c , będzie ulegał skróceniu w kierunku ruchu, względem obserwatora, poruszającego się wolniej. To właśnie to skrócenie, które miało stanowić obronę dla koncepcji eteru, okazało się być poprawnym przewidywaniem w nowo rozszerzonej teorii mechaniki. Oznacza to, że jeżeli weźmiemy do ręki metrową linijkę i zaczniemy z nią biec wzdłuż jej długości, to powiemy, że wszystko jest w porządku, tylko świat dookoła zacznie się jakoś dziwnie rozciągać. Obserwator spoczywający powie natomiast, że nasza linijka ulega skróceniu i prawdopodobnie nie będzie chciał, kupić takiej linijki uważając ją za bez użyteczną. W wypadku kontrakcji ciężko udowodnić ją doświadczalnie, ze względu na problem z jednoczesnym zmierzeniem dwóch końców, czegoś, co się porusza względem jakiegoś obserwatora, zwłaszcza z tak ogromną prędkością [1,4-6].

Relatywistyczny efekt Dopplera

Można za to zmierzyć, różnice w długości fali promieniowania elektromagnetycznego. W jaki sposób? Jeżeli ktoś, łamiąc wszelkie zasady bhp, zacznie świecić nam zielonym laserem po oczach, a następnie zacznie bardzo szybko biec w naszym kierunku, to barwa światła lasera, zacznie się zmieniać na niebieską. Analogicznie, jeżeli zacznie od nas uciekać, świecąc przez ramie laserem i ponownie, będzie poruszać się wystarczająco szybko, aby efekty relatywistyczne, zaczęły odgrywać istotną rolę to barwa lasera zacznie zmieniać się w kierunku barwy czerwonej. Nie jest to jednak powód, przez który światła uciekającego nam z przystanku autobusu, świecą na czerwono. Zmiana barwy światła lasera w tym przykładzie wynika z faktu, że za barwą światła stoi długość fali danego promieniowania. Jest to pewna własność, każdego rodzaju fali (analogiczna, do odległości między górkami fali na wodzie).

Efekt ten jest dobrze znany z mechaniki klasycznej, gdzie nazywa się efektem Dopplera i został opisany dla ruchu źródła/odbiornika, który emituje/rejestruje dźwięk. Każdy z nas, na pewno słyszał, jak zmienia się wysokość dźwięku przejeżdżającej karetki na sygnale, gdy się do nas zbliża, a potem oddala. To właśnie jest efekt Dopplera. Wykazanie efektu Dopplera dla światła, stanowi niezwykle użyteczne narzędzie w astronomii, pozwala bowiem określić, jak szybko oddalają się od nas galaktyki i oszacować tempo ekspansji wszechświata.

Masa i energia

Niezwykle imponującym osiągnięciem Einsteina, było otrzymanie prawdopodobnie najslawniejszego równania fizyki:

$$E = mc^2.$$

Gdzie: E – energia, m – masa (cząstki spoczywającej), c – prędkość światła.

Zna je chyba każdy, ale o co w nim tak naprawdę chodzi? Narodziło się ono z umiejętnej żonglerki matematycznej, opartej o wnioski z stw i pewnych dobrze znanych wielkości takich jak prędkość czy pęd. W stw mają one ten sam sens, jaki być może pamiętamy ze szkoły, ale wymagają pewnego rozszerzenia pojęciowego, ze względu na fakt, że są to wektory, które w stw są czterowymiarowe, bo dodatkowym wymiarem staje się czas. Dzięki odpowiednim przekształceniom dochodzimy do spostrzeżenia, że masa jest równoważna energii, a im coś porusza się szybciej, tym energia tego czegoś jest większa.

Niektórzy na tej podstawie wyciągają wnioski, że masę można rozdzielić na spoczynkową i relatywistyczną, ale to jedynie skrót myślowy, który błędnie sugeruje, że energia „skrapla się w masę”, masa to masa, w tym wypadku wzrasta energia. Należy podkreślić, że wszystko co ma masę ma energię, ale nie wszystko co ma energię

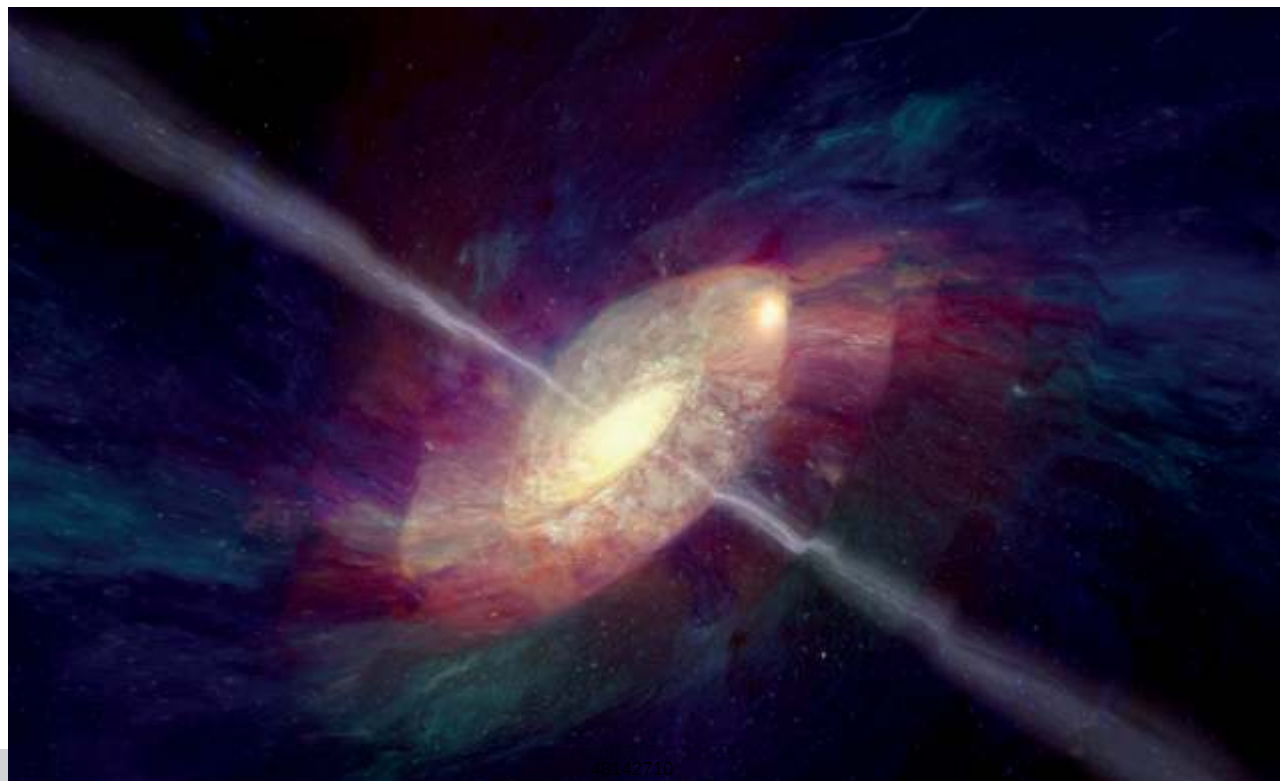


Foto – Dreamstime



Foto – Dreamstime

ma masę. Przykładem może być foton, który ma energię i ze względu na to, że jest kwantem promieniowania elektromagnetycznego w pewien sposób, może mieć energię nieograniczoną. Nie ma on jednak masy.

Konsekwencją wzrostu energii, podczas rozpędzania czegokolwiek, jest to, że musimy dostarczać coraz więcej energii, aby utrzymać stałe przyspieszenie. Dlatego nie można rozpędzić niczego, co ma masę do prędkości c (wymagałoby to nieskończenie dużej energii) i dlatego w CERN, budowane są coraz większe akceleratory, aby można było wygenerować więcej energii przy zderzeniu cząstek (cząstki są tam rozpędzane do prędkości bardzo bliskich c). Czy zatem da się trwale przekształcić energię w masę lub odwrotnie? Odpowiedź brzmi: trochę tak. Nie potrafimy co prawda zamienić światła słonecznego w czajnik elektryczny, ale potrafimy w pewnym zakresie, tworzyć i rozszczepiać atomy.

Okazuje się, że nukleony (protony i neutrony) składające się na jądro atomowe ważą mniej, gdy są związane w jądrze niż gdy są swobodne! Rozważmy ten przypadek na przykładzie jądra helu składającego się z dwóch protonów i dwóch neutronów.

$$\begin{aligned} &2 \cdot \text{masa protonu} + 2 \cdot \text{masa neutronu} \\ &= 2 \cdot 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg} + 2 \cdot 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ &= 6,696 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \end{aligned}$$

natomiast masa jądra helu wynosi

$$6,645 \cdot 10^{-27} \text{ kg, czyli o } 5,1 \cdot 10^{-29} \text{ kg mniej.}$$

Co w takim razie dzieje się z tym deficytem masy? Zostaje on zmieniony na energię, dzięki której żyjemy, bo właśnie ta reakcja jest powodem, przez który świeci słońce. W wypadku lekkich pierwiastków, czyli tych lżejszych od żelaza, energia jest uwalniana w trakcie syntezy (czyli do czepiania następnych nukleonów). Natomiast dla pierwiastków cięższych od żelaza, uzyskujemy energię rozszczepiając je. Jednak, aby dało nam się czerpać korzyść z tego procesu, musimy rozszczepiać jądra niestabilne, z reguły izotopy, co właśnie dzieje się w elektrowniach jądrowych.

Oczywiście obserwacja tej zależności, ma również ciemną stronę, która polega na produkcji broni jądrowej. Czasami jeszcze spotyka się ludzi, którzy obwiniają Ein-

steina za skonstruowanie tej potwornej broni. Jednak jest to co na mniej niesłuszne, ponieważ Einstein był pacyfistą i nie brał udziału w projekcie Manhattan (w przeciwieństwie do wielu noblistów), ani nie współpracował z ośrodkiem Los Alamos. Einstein wyprowadził pewną zależność, obrazującą działanie natury, a obwinianie go za to, że została ona wykorzystana, do produkcji śmiertelnej broni, jest równie zasadne jak obwinianie mieszkańców Mezopotamii o produkcję czołgów, bo są w nich koła.

Dlaczego była potrzebna?

Szczególna teoria względności, jest uzupełnieniem mechaniki klasycznej i stanowiła niezbędny krok w kierunku zrozumienia przyrody. Skok myślowy, jaki przyniosła, jest być może większy od tego, jakiego dokonałaby mrówka, dowiadując się, że świat nie jest dwuwymiarowy tylko trójwymiarowy. Dziś wiemy już, że jest na pewno czterowymiarowy, a być może i więcej.

Poza wymienianymi na bieżąco w artykule dobrodziejstwami płynącymi z stw, należy również zaznaczyć, że stanowi ona wprowadzenie, do najpiękniejszej teorii fizycznej jaką jest ogólna teoria względności (stw stanowi jej przypadek szczególny).

Co to znaczy, że teoria czy równanie jest piękne?

To trochę tak, jak z malarstwem. Inaczej postrzega malarstwo ktoś kto go nie lubi, inaczej ktoś kto uwielbia, a jeszcze inaczej ktoś, kto spędził połowę życia nad zrozumieniem motywacji, inspiracji i metod artysty tworzącego obraz.

W fizyce piękno teorii wynika z możliwości zwięzłego przedstawienia praw natury, mających olbrzymie konsekwencje, które udało się wywnioskować z pozornie niewinnych założeń, bez niepotrzebnie komplikowanych konstrukcji. Innymi słowy, wyrażenie prawa natury „tak prosto, jak tylko to jest możliwe, ale nie prościej”¹.

Podsumowanie

Szczególna teoria względności, była niezbędnym elementem, potrzebnym do rewolucji fizyki, pomimo, że jej znaczenie, zostało przyćmione, niewątpliwym fenomenem mechaniki kwantowej (która również wymagała uzupełnienia relatywistycznego). Obydwie teorie stanowią natomiast, wspaniały przykład tego, że pomimo iż wielu specjalistom wydaje się, że naukowy rozwój cywilizacji dobiega końca, to być może sami potykają się o próg następnej rewolucji, jak miało to miejsce wiele razy w historii nauki.

¹ Cytat przypisywany Einsteinowi

ŹRÓDŁA

- [1] W. Kopczyński, A. Trautman, „Czasoprzestrzeń i Grawitacja”, PWN, Warszawa 1981.
- [2] A. K. Wróblewski, „Historia fizyki”, PWN, Warszawa 2009.
- [3] A. K. Wróblewski, „200 uczonych w anegdotach, księga II”, Świat Książki, Warszawa 2010.
- [4] D. J. Griffiths, „Podstawy elektrodynamiki”, PWN, Warszawa 2009.
- [5] J. Foster, J. D. Nightingale, „Ogólna teoria względności”, PWN, Warszawa 1985.
- [6] J. B. Hartle, „Grawitacja, wprowadzenie do ogólnej teorii względności”, Wydawnictwo UW, Warszawa 2018.



Foto – Dreamstime

Arystoteles, Buridan i Kartezjusz – esej z historii fizyki

Przypisuje się Arystotelesowi, najpotężniejszemu przypuszczalnie umysłowi w historii ludzkości, brak znajomości fizyki. Jakoby jego błędne poglądy zatrzymały na wieki rozwój tej dziedziny. Cytuje się poglądy, że nie rozumiał praw ruchu, mówiąc o powietrzu, które popycha z tyłu strzałę i o spadaniu ciał, „bo naturalnym miejscem ciał ciężkich jest środek Ziemi”. Ale to Newton stwierdził, że jego dzieło było możliwe, „bo stał na barkach gigantów” z poprzednich epok. Kim oni byli?

Grzegorz Karwasz

Filozof

Zacniemy od Filozofa, przez duże „F” jak nazywano Arystotelesa (384-322 p.n.e.) ze Stagiry (prowincjonalnego miasta na północy Grecji). Warto zajrzeć do jego oryginalnych dzieł a nie tylko omówień [1], aby zadziwić się różnorodnością jego prac i zawartych w nich wyników naukowych. Z jego *Metafizyki* [2] (a nie *Fizyki* [3], jak by się można spodziewać) znamy „cztery żywioły”, czyli stany skupienia materii: Filozof przywołuje swoich poprzedników: „Empedokles [jako zasady¹] przyjmuje ogień, ziemię, wodę i powietrze” (*Metafizyka*, 988, 26). Dalej pisze Arystoteles, że ogień², powietrze i woda wzajemnie w siebie przechodzą (*Metafizyka*, 989, 24): „Widzimy, że cztery elementy generują się nawzajem”. Ale ziemia różni się od trzech pozostałych – ognia, powietrza i wody:

rzeczywiście, łatwiej było w Grecji zaobserwować mgłę i płomień ogniska niż sublimację czy topnienie metali.

Fizyka w dużej części jest poświęcona pojęciom przestrzeni i czasu – zagadnień dyskutowanych do dzisiaj. Arystoteles pojmował przestrzeń jako odległość między dwoma ciałami materialnymi. W tym sensie pusta przestrzeń nie miała sensu. Naśmiewano się z tego *horror vacui* przez stulecia. Galileusz (1564-1642) wprowadził względność ruchu a Kartezjusz (1596-1650) swoim układem współrzędnych niejako „wyprał” przestrzeń ze resztek materialności. Do tego stopnia, że Immanuel Kant (1724-1804) przeniósł pojęcie czasu i przestrzeni z fizyki do filozofii, jak *czystą naoczność*. „Świat ciał fizycznych rozpatrywany jest jako zawarty w absolutnej, pustej i nieruchomej, geometrycznej przestrzeni oraz w absolutnym, pustym i równomiernie upływającym matematycznym czasie.” [4]

Ale interpretacja Kanta wytrzymała tylko 200 lat: to niemieckojęzyczny Einstein dokonał rewolucji, najpierw

¹ Tłumaczenia, np. polskie T. Żeleźnika (ale i włoskie G. Reale) używają słowa „zasada”, choć powinno się raczej mówić o substancjach pierwotnych, jak pisze Wł. Tatarkiewicz w swej niezrównanej „Historii Filozofii” – o pierwiastkach (PWN, Warszawa, 1981, str. 41).

² Ten sam Wł. Tatarkiewicz, w latach 30-tych ub. wieku nie uważał ognia, czyli plazmy (zob. artykuł w FwSz [6]) za stan materii i pisał „stan ognisty wydawał się wówczas stanem czwartym obok stałego, płynnego i gazowego”.

w Szczególnej Teorii pokazując, że absolutny czas i absolutna przestrzeń nie istnieją, a później, w „Ogólnej”, że ich forma (tzn. cztero-tensor czasoprzestrzeni) zależy do zawartej w niej materii. A ostatnim etapem w przyznaniu racji Arystotelesowi w kwestii przestrzeni nieistniejącej bez materii były słowa matematyka z wykształcenia, odkrywcy rozszerzania się Wszechświata, księdza George’a Lemaitre’a: „Jeżeli ta hipoteza potwierdzi się, to pojęcia czasu i przestrzeni nie miały żadnego sensu zanim pierwotny atom podzielił się na dwa. W tym sensie początek czasu i przestrzeni miał miejsce na moment przed powstaniem Wszechświata”, zob. [5].

Lektura jakiegokolwiek fragmentu *Fizyki* jest inspirująca. Tak pisał Arystoteles o nieskończoności (203a-b):

Ci natomiast, którzy przyjmują nieograniczoną liczbę elementów, jak np. Anaksagoras lub Demokryt, twierdzą, że nieskończoność jest ciągła przez styczność – a tworzą ją jednorodne cząstki, według jednego, a równokształtne³ atomy, według drugiego. [...] Demokryt jest natomiast innego zdania, twierdzi mianowicie, że żaden element nie powstał z innego elementu⁴. [...] Wynika więc jasno z powyższych rozważań, że teoria nieskończoności, to temat interesujący dla fizyków [...]. Lecz jeśli przestrzeń zewnętrzna jest nieskończona, to również i ilość ciał jest nieskończona, a także i ilość światów.

Niejaki Max Tegmark, kilkanaście lat temu, nieco dla żartu napisał o wszechświatach równoległych. I mimo, że ma na koncie wiele cennych wyników naukowych, z wszechświatami równoległymi jest kojarzony. A i studentów ulubione pytanie brzmi: „Co jest poza światem, który widzimy?” (tj. horyzontem 13,8 mld lat świetlnych). Jako fizyk doświadczalny mogę odpowiedzieć posługując się „brzytwą Ockhama”: jest to doświadczalnie niesprawdalne, więc dla mnie, po prostu, nie istnieje.

Najbardziej niespodziewana w *Fizyce* (194b) jest jednak klasyfikacja przyczyn: wyliczył ich Arystoteles cztery. „Na gruncie powyższych ustaleń przejdziemy do zbadania przyczyn, ich charakteru i ilości. Skoro bowiem przedmiotem naszych rozważań jest poznanie, a poznanie uważamy za równoznaczne ze zrozumieniem „dlaczego” [...]” Genialnie ujął Arystoteles istotę fizyki, w odróżnieniu od innych wielu nauk: fizyka wyjaśnia nie tylko „jak”, ale przede wszystkim „dlaczego”.

W jednym przeto znaczeniu nazywa się przyczyną to, z czego coś powstaje i trwa, np. brąz jest w tym sensie przyczyną posągu, a srebro naczynia [...]. W drugim znaczeniu nazywa się przyczyną danej rzeczy jej formę lub model [...]. W trzecim znaczeniu nazywa się przyczyną źródło przemian i spoczynku, np. człowiek dający rady jest przyczyną, ojciec jest przyczyną dzie-

cka; ogólnie mówiąc: czynnik tworzący jest przyczyną przedmiotu wytworzonego, a czynnik zmieniający – zmiany. W czwartym wreszcie znaczeniu nazywa się przyczyną cel, czyli przyczynę celową, np. zdrowie jest przyczyną spaceru: dlaczego spaceru, pytamy? „Ażeby spacerujący był zdrow”, mówiąc tak sądzimy, że wykazaliśmy przyczynę.

Filozofia nazywa te przyczyny materialną, formalną, sprawczą i celową. O ile dziś, w sprawie trzech pierwszych panuje powszechna zgoda – przyczyna celowa została z nauki usunięta. A Arystotelesa chętnie się nią posługiwał: ciała ciężkie spadają, bo dążą do środka Ziemi, jako że miejsce naturalne ciał ciężkich jest w środku Ziemi. Czy dziś potrafimy wyjaśnić to lepiej? Słowo „gravitacja” pochodzi od „grave”, czyli ciężki. Przyczyną spadania jest więc prawo ciężaru (?).



Rys. 1. Czy to powietrze popycha lecącą strzałę? Patrząc na ten schemat przepływu turbulentnego wydaje się, że Arystoteles miał rację. <https://physics.stackexchange.com/questions/428719/how-do-speed-and-density-change-in-a-turbulent-flow>

W traktacie *O duszy* [7], zaliczonym dziś do psychologii, Arystoteles zaskakuje całą serią trafnych obserwacji dotyczących np. światła i dźwięku. „Światło nie jest ani ogniem, ani w ogólne ciałem, ani emanacją [czyli parowaniem] żadnego ciała – bo w tym wypadku byłoby również rodzajem ciała – lecz jest obecnością ognia lub czegoś tego rodzaju w materii przezroczystej [...]” (*O duszy*, 418b, 15)

Dziś mówimy, że światło jest falą elektromagnetyczną, poruszającą się w próżni, powietrzu, wodzie, czyli w materii przezroczystej. Fala elektromagnetyczna niesie energię, ale nie masę: kwanty światła czerwonego ($\lambda=700$ nm) mają energię (w ulubionych przez nas jednostkach) $E=2$ eV, co z kolei przeliczone za pomocą stałej Boltzmanna k na temperaturę $E=kT$ daje około 20 tys. K. Tak! światło to jakby ogień wysyłany przez gorące ciało i propagujący w ośrodku przezroczystym.

Rozdział VII „Wzrok i jego przedmiot” zaczyna się od stwierdzenia: „Przedmiotem właściwym wzroku jest ‘rzecz widzialna’. Jest nią barwa oraz pewien rodzaj rzeczy, który można wprowadzić opisać słowami, lecz któremu brak własnej nazwy.” (*O duszy*, 418a, 29)

Wiemy dziś, że w siatkówce człowieka (a także motyla) znajdują się dwa rodzaje receptorów – jedno z nich, mniej czułe, reagują na kolory (motyl *Graphium sarpedon*⁵ rozróżnia ich aż 15); drugie⁶ – bardzo czułe (prawie

³ Przypominamy fakt, niezbyt oczywisty, że „rozmiary atomów” i tych najbliższych jak H i He, jak i najcięższych, jak Pb, są zbliżone – około 1 Angstroma ($=10^{-10}$ m). Cięższe atomy mają więcej protonów, a przez to silniejszy potencjał przyciągający elektrony.

⁴ Oczywiście, Demokryt miał rację: w reakcjach chemicznych żaden pierwiastek nie może zamienić się w inny. Aby powstała cała różnorodność pierwiastków, w szczególności tych ciężkich, potrzebny był wybuch supernowej – gwiazdy, która była poprzednim wcieleniem Słońca.

⁵ http://www.sciencemag.org/news/2016/03/butterfly-has-extreme-color-vision?utm_campaign=email-news-latest&et rid=35353469&et_cid=327254

⁶ Niedawno odkryto, że oko człowieka ma jeszcze trzeci rodzaj receptorów, który uaktywnia się u osób praktycznie niewidzących – dając rodzaj niebieskich poświat. O widzeniu napiszemy innym razem.

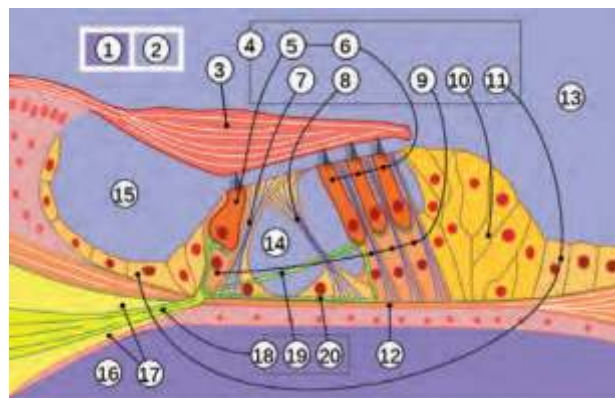
na pojedyncze fotony) – postrzegają światło-cień (odcienie szarości). Słowa światłocien Arystoteles nie znał. Ale zauważył np. że to zewnętrzne oświetlenie warunkuje postrzeganie kolorów: „Każda barwa posiada zdolność wprawiania w ruch ośrodka aktualnie przezroczystego; ta zdolność stanowi jego naturę; dlatego barwa nie jest widziana bez światła; tylko w świetle widzi się barwę każdego przedmiotu.” I znów, w dobie „żarówek” żarowych, neonowych, LED, energio-oszczędnych itd. wiemy, że to rodzaj oświetlenia w dużej mierze warunkuje naszą percepcję kolorów.

Genialnie pisał też o dźwięku: „To samo rozumowanie [co dla światła] ma zastosowanie w przypadku dźwięku i zapachu, ponieważ żaden z nich nie wywołuje postrzeżenia zmysłowego na drodze kontaktu z organem zmysłowym; zapach i dźwięk w wprawiają w ruch ośrodki przestrzenne, a ten dopiero z kolei wprawia w ruch nasze organy zmysłowe [...] Ośrodkiem przewodzącym jest dla dźwięków powietrze, dla zapachu ośrodek przewodzący nie ma nazwy.” Tak! Dźwięk postrzegany przez ucho to fala podłużna rozchodząca się w powietrzu.

A o powstawaniu dźwięków Arystoteles pisał tak: „Realny dźwięk powstaje zawsze pod wpływem czegoś w stosunku do czegoś i w czymś, albowiem przyczyną wywołującą dźwięk jest uderzenie. Toteż przedmiot dźwięczący wydaje dźwięk, o ile jest w specjalnej relacji do czegoś; a uderzenie same nie jest możliwe bez ruchu przestrzennego. [...] dźwięk wyda brzę oraz wszystkie przedmioty gładkie i wydrążone; brzę dlatego, że jest gładki, a przedmioty wydrążone dlatego, że powietrze wprawione w ruch nie może się wydostać z nich na zewnątrz, lecz odgłos powtarza wielokrotnie pewne uderzenia.” (O duszy, 418b, 15)

Dlaczego w skrzypcach, gitarze i fortepianie struny są rozpięte na pudle? Prosta (lecz błędna) odpowiedź mówi, że pudło rezonansowe wzmacnia dźwięk. Nieprawda! Do wzmacniania potrzebny jest elektroniczny wzmacniacz, a nie nieruchawe pudło. Jest jak pisze Arystoteles: struna wprawia w ruch duże, płaskie płaszczyzny pudła, te wprawiają w ruch powietrze w (wydrążonym) pudle, a przez otwory drgania te wychodzą na zewnątrz. Sama struna jest zbyt cienka, aby wprawić w drgania dużą kolumnę powietrza w koncertowej. Nazywam pudło rezonansowe „sprzęgaczem różnych modów drgań”. Ale Arystoteles powiedział to prościej.

Co więcej, „dźwięk słyhać nie tylko w powietrzu, lecz i w wodzie, choć mniej wyraźnie” (O duszy, 419b, 18). Tak! woda też „przewodzi” dźwięki a szybkość ich propagacji jest znacznie większa niż w powietrzu (1500 m/s). A jak ze słyszeniem? Hasło Wikipedii „Sound_velocity” nic o tym nie mówi, a dopiero „Underwater_acoustics” wyjaśnia obserwację Filozofa. Po pierwsze, próg czułości ucha ludzkiego jest w wodzie 3,5 razy wyższy (potrzebne jest większe natężenie dźwięku), ale co ważniejsze, odkształcenie akustyczne wody jest nieliniowe, przez co dźwięki sinusoidalne docierają jako zniekształcone.



Rys. 2. Właściwy narząd słuchu w uchu wewnętrznym - narząd Cortiego⁷. Zwązający się ślimak to jakby układ wnęk rezonansowych, dla coraz wyższych częstotliwości – coś na kształt rezonatora Königa (zob. nasz plakat dydaktyczny „Tout tremble” http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/posters/fourier6-fr.ppt). Drgania wnęk są odbierane przez zakończenia komórek nerwowych (5, 6 na rysunku powyżej).

Może zatem wywoływać dźwięk to, co ma zdolność wprawiać w ruch zwartą w jedno masę powietrza rozciągającą się nieprzerwanie aż do ucha, z którym jest ono naturalnie złączone. Ponieważ ucho jest otoczone powietrzem, dlatego, ile razy wibruje zewnętrzne powietrze, wibruje także powietrze wewnętrzne. (O duszy, 420a, 5)

Znamy z biologii anatomię ucha: bębenek, młoteczek itd. W ten sposób ucho „słyszy”; ale jak rozróżnia dźwięki? Otóż w uchu wewnętrznym wibruje ciecz, w przewodzie ślimakowatym, coraz bardziej zwązającym się. A przewód jest wyłożony zakończeniami komórek nerwowych, zob. rys. 2.

Rozważania o głosie istot żywych są równie ciekawe: rozróżniał Arystoteles wysokość dźwięku (ang. *pitch*), melodię, ale i barwę, np. fletu lub cytry (420b, 8). Paweł Siwek, tłumacz znakomity wyjaśnia barwę jako efekt psychologiczny – dla fizyka jest to jednak fakt obiektywny: zawartość tzw. wyższych harmonicznich. O „czarodziejskim flecie” i barwie jego dźwięków pisaliśmy dydaktycznie w „Fizyce w Szkole” w 2006 roku [8].

Wracając do Fizyki to, co stanowi początek szkolnych kursów, czyli o prawach Newtona. Przypisuje się Arystotelesowi (i jego następcom w średniowieczu) tezę, że jakoby to anioły miały wachlować skrzydłami dla utrzymania planet w ruchu. A dla ruchu lecącej strzały – powietrze, które je popycha ją z tyłu. Patrząc na przepływ turbulentny gazu (rys. 1) tak by się mogło wydawać. Ale Arystoteles dobrze rozumiał zasadę bezwładności. Tak pisał:

„Nikt też nie potrafi wyjaśnić, wskutek czego ciało wprawione w ruch gdzieś się musi zatrzymać; dlatego zatrzyma się w tym niż innym miejscu. A zatem ciało albo się będzie znajdować w spoczynku, albo się będzie poruszać w nieskończoność, jeżeli tylko nie stanie mu na drodze jakieś inne silniejsze ciało.” (Fizyka, 215a).

Przeczytajmy jeszcze raz: „ciało raz wprawione w ruch będzie się poruszać w nieskończoność.” Toż to pierwsze prawo Newtona, tyle że powiedziane w prostszy sposób!

⁷ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fd/Organ_of_Corti_multilingual.svg/900px-Organ_of_Corti_multilingual.svg.png; Autor: <https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Jmarchn>



Ryc. 3. Autor w trakcie wykładu w audytorium Wydziału Fizyki UMK: „ciało (kula drewniana) porusza się przed siebie tak długo, dopóki nie stanie jej na drodze inne ciało, cięższe (kula metalowa)”. Filmy na stronie: dydaktyka.fizyka.umk.pl/FwSz

Oczywiście, ciało nie wprowadzone w ruch (przez zewnętrzną siłę) spoczywa. A określenie, „aż mu nie stanie na drodze” znajdziemy jako trzecie prawo dynamiki Kartezjusza. Ale o tym za chwilę – wcześniej o Jeanie Buridanie.

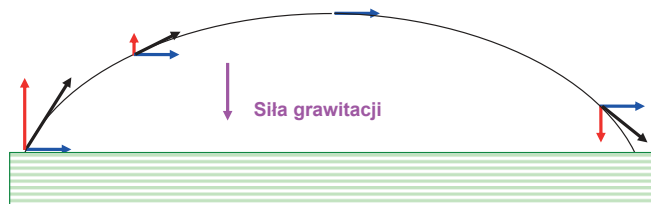
Buridan, ten od osła⁸ i *impetusu*

W rozwoju mechaniki kamieniem milowym była sformułowana przez rektora Uniwersytetu Paryskiego, Jana Buridana (1295-1363) zasada bezwładności (*impetus*, jak została wówczas nazwana). Buridan poprawnie zdefiniował *impetus*, czyli pęd jako iloczyn prędkości i masy ciała. Tak pisał w *Quaestiones* będących komentarzem do *Fizyki* Arystotelesa⁹:

Kiedy napędzający wprowadza jakieś ciało w ruch, udziela mu określonego pędu, tj. możliwości poruszania się w kierunku, który napędzający ciału nadał – czy to w górę, czy w dół, w bok lub po okręgu. Nadany pęd jest proporcjonalny do prędkości. To z powodu pędu kamień porusza się po tym, jak rzucający przestał go napędzać. Ale z powodu oporu powietrza (a także z powodu ciężkości kamienia), który działa w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu, pęd maleje wraz z upływem czasu. Z tego powodu ruch kamienia będzie stopniowo coraz wolniejszy aż w końcu pęd na tyle zmaleje albo zaniknie, że grawitacja kamienia przeważa i skieruje kamień w kierunku jego miejsca naturalnego [czyli w kierunku środka Ziemi]. Według mnie należy tę opinię przyjąć, ponieważ inne wyjaśnienia okazały się fałszywe a wszystkie zjawiska są zgodne z tym wyjaśnieniem.

W rzucie (wystrzale z armaty itd.) mamy do czynienia właśnie z taką sytuacją, jaką opisał Buridan: początkowy kierunek ruchu jest taki, jaki ciału został nadany. Ale w trakcie ruchu działają na ciało inne siły: grawitacja

skierowana pionowo w dół lub opór powietrza, w kierunku przeciwnym do ruchu (a w przypadku „podkręconej” piłki jeszcze tzw. siła Magnusa, powodujące dodatkowe zakrzywienie toru lotu). Dlatego pęd ciała ulega zmianie (a tor ruchu nie jest linią prostą). Niezwykle ważne było też stwierdzenie, że pęd jest proporcjonalny do masy i że kierunek pędu jest kierunkiem prędkości. Zapisujemy to symbolicznie $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$, gdzie symbole wytłuszczone oznaczają wektory. Jeszcze Kartezjusz miał trudności z właściwą interpretacją pędu, mimo że, jak zobaczymy dalej, poprawnie sformułował zasadę jego zachowania w zderzeniach dwóch ciał.



Ryc. 4. W rzucie ukośnym (wystrzale armatnim), początkowy kierunek lotu jest taki sam, jak prędkość nadana ciału. Co więcej, w kierunku poziomym (strzałka niebieska) ta prędkość nie zmienia się. W kierunku pionowym działa natomiast siła grawitacji – przeciwnie do składowej pionowej prędkości początkowej. W ten sposób, chwila po chwili, prędkość w kierunku pionowym maleje do zera a później zmienia kierunek – w dół. Tor ruchu jest parabolą. Zauważ, że w każdej chwili kierunek ruchu jest określony przez wektor prędkości. (GK, „Humanistyka”, w przygotowaniu)

Obszerne cytaty z pracy Buridana przytacza w swej znakomitej *Historii fizyki* prof. Andrzej Kajetan Wróblewski (str. 62). „Z tego też powodu szybko poruszające się wielkie koło młyńskie trudniej jest zatrzymać niż koło mniejsze, oczywiście dlatego, że w większym kole, przy innych warunkach takich samych, znajduje się mniej *impetusu*.” Dziś, dla wyjaśnienia różnicy między wielkim a małym kołem młyńskim użylibyśmy, na poziomie licealnym, pojęcia *momentu bezwładności*. A dla określenia „przy innych takich samych warunkach” powiedzielibyśmy – koła kręcące się z tą samą *prędkością kątową*. Oj! Namnożyło nam się trudnych słów w dydaktyce fizyki przez ostatnie siedemset lat.

Buridan był uważnym obserwatorem; w kolejnym zadaniu pisze: „Z tejże przyczyny możecie rzucić kamień funtowy lub półfuntowy dalej niż tysięczną część tego kamienia. Albowiem w tej tysięcznej części *impetus* jest tak słaby, że natychmiast zostaje pokonany przez opór powietrza...” Błędem, który popełniamy w dydaktyce jest traktowanie świata fizycznego jako zbioru aksjomatów: pęd jest zachowany, a że istnieje opór powietrza? – udajemy, że go nie ma. I jak tu uczeń ma wierzyć nauczycielowi?

Kopernik na pewno znał dzieło Buridana, bo było ono w bibliotece Uniwersytetu Krakowskiego. I tak Mikołaj mógł przyjąć, bez dodatkowych założeń, że ruch planet jest wieczny – zachowują one swój *impetus*¹⁰. Upadało

⁸ Więcej o Buridanie na stronie Uniwersytetu w Stanford, <https://plato.stanford.edu/entries/buridan/>

⁹ Pedersen, Olaf (1993-03-26). Early physics and astronomy: a historical introduction. CUP Archive. p. 210. ISBN 978-0-521-40899-8. (za Wikipedia), tłumaczenie GK.

¹⁰ Z ruchem planet sprawa jest nieco bardziej skomplikowana. W ruchu po okręgu prędkość jako wektor, zmienia się, bo zmienia się jej kierunek. Ale siła grawitacji (ze strony Słońca) działa *prostopadle* do kierunku ruchu. Zgodnie z zasadą zachowania energii, taka siła nie wykonuje pracy, więc energia nie zmienia się. W ruchu planet po okręgu zachowana jest więc *wartość* prędkości.

więc, stopniowo, Arystotelesowe rozgraniczenie na ruch „niebiański” i ziemskie. Ale Kopernikowi (i Galileuszowi) poświęcimy oddzielną historię, innym razem.

Kartezjusz

XVII wiek to początek kształtowania się silnych, narodowych państw w Europie. O ile w wojna stuletnia (1337-1453) miała charakter feudalny i dynastyczny (i Francja, i Anglia składały się z księstw), to na przełomie XVII i XVIII wieku zaczyna się zarysowywać rywalizacja między kilkoma „graczami” – w wojnie trzydziestoletniej (1618-1648) sojusze i przewaga sił ustawicznie się zmieniały a wojna była bardziej o hegemonię na kontynencie niż o religię. Jak pisaliśmy w artykule o gazach [9], nauka stanowiła część tej rywalizacji między Francją, Anglią, Holandią – stąd podwójne nazwy przemian: Mariotte’a, Guy-Lussaca, Charlesa itd.

Rywalizacja zachodziła nie tylko na arenie międzynarodowej, ale i wśród naukowców tego samego kraju. W Anglii Robert Hook jako pierwszy postawił problem kolorów w bańkach mydlanych a John Flamsteed sporządził katalog gwiazd. Ale to Newton został narodowym bohaterem (mimo, że splagiatował katalog Flamstreed’a). Z Holandii znamy dla optyki prawo załamania Snelliusa (1580-1624), prawo Huyghensa (1629-1695), i jeszcze mikroskop Leveenhooka’a. Ale zasługi Huyghensa dla mechaniki (on jako pierwszy poprawnie zdefiniował pęd i obliczył siłę odśrodkową w ruchu po okręgu) są mało znane.

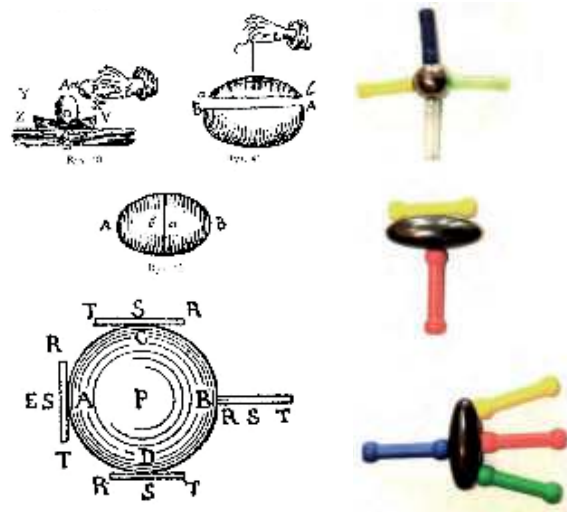
Najwybitniejszym myślicielem we Francji był w tym czasie René Descartes, w łacińskiej wersji Cartesius, żołnierz na wojnie trzydziestoletniej. Kartezjusz położył podwaliny nowoczesnej, analitycznej metody naukowej. W „Rozprawie o metodzie” (a pełna nazwa zawiera słowa „Zastosowanej do optyki”) podał cztery etapy rozumowania: I) niczego nie przyjmować jako oczywiste, ale skrupulatnie poddać ocenie; II) podzielić zagadnienie na „elementarne” porcje, III) rozwiązać każde z pytań po kolei, poczynając od najprostszych; IV) po skończeniu ocenić, czy rozumowanie jest kompletne (dla pełnego cytowania odsyłamy np. do wspomnianej *Historii fizyki*, str. 118).

Kartezjusz wyjaśnił powstawanie tęczy, ale też zajmował się magnesami: to on zaczął definiować bieguny magnetyczne, zob. rys. 5.

Prawa dynamiki sformułował w *Zasadach filozofii* [10], części II „O zasadach rzeczy materialnych”. Rozważania są obszerne – całość podajemy w wersji internetowej artykułu.

37. Pierwsze prawo natury: że każda rzecz, o ile jest sama w sobie, zawsze pozostaje w tym samym stanie: a także to, co raz zostało w ruch wprowadzone, zawsze dąży do ruchu. [...] Tak więc należy wnosić, że to, co się porusza, o ile samo jest dla siebie, zawsze się będzie poruszać.

W sformułowaniu Kartezjusza ciało „samo dla siebie” (czyli izolowane od sił zewnętrznych) utrzymuje swój stan: spoczynku albo ruchu. Ale wiadomo, że ruchy ustają. Kartezjusz wyjaśnia to w następnym punkcie „O ruchu przedmiotów rzucanych”. Píše tak:



Ryc. 5. (a) Kartezjusza (*Zasady filozofii*, str. 249) i (b) nasze zabawy z magnesami. Dziś budujemy (szkolne) magnesy tak, aby miały dobrze określone dwa bieguny – czyli sztabkowe lub podkowiaste. Ale ogólnie, magnes może mieć dowolny kształt: np. dwie magnetyczne „żuczki”, z hematytu, mają małe magnesy wewnątrz tak umieszczone, że ich bieguny są „na bokach” a nie na końcach.

38. Nie ma bowiem innej przyczyny, dla której przedmioty rzucone miałyby przez pewien czas trwać w ruchu, gdy odłączyły się od ręki dokonującej rzutu, prócz tej, że raz w ruch wprowadzone dalej utrzymują się w ruchu, dopóki nie zatrzymają ich napotkane ciała. I jasną jest rzeczą, że stopniowo zatrzymywać je zwykło powietrze lub inne ciała płynne, w których się poruszają, i dlatego ich ruch nie może trwać długo.

Kartezjusz proponuje dwa doświadczenia: „To bowiem, że powietrze stawia opór ruchom innych ciał, sprawdzić możemy samym zmysłem dotyku, jeśli potrząsać będziemy wachlarzem. To samo potwierdza lot ptaków” (s. 70-71). Drugie prawo Kartezjusza brzmi:

39. Drugie prawo natury, że każdy ruch sam w sobie jest ruchem po prostej i dlatego te ciała, które poruszają się ruchem obrotowym, zawsze dążą do oddalania się od środka koła, które opisują.

Tu Kartezjusz wprowadza poniekąd pojęcie przyspieszenia poprzez rozważenie małych odcinków czasu:

Bo nie innym go [Bóg] zachowuje aniżeli dokładnie takim, jaki jest w tym momencie, w którym go zachowuje, bez względu na to, jaki on mógł być w poprzedniej chwili, jasną jest jednak rzeczą, że wszystko, co się porusza, jest w czasie trwania ruchu zdeterminowane – w poszczególnych, dających się oznaczyć chwilach – do kontynuowania swego ruchu w jakimś kierunku po linii prostej, nigdy zaś po linii krzywej. (s. 71).

Ale nie ma w drugim prawie Kartezjusza nic o wartości przyspieszenia. Píše o tym, ogólnie, nieco wcześniej:

26. Tak na przykład nie większe albo z pewnością nie o wiele większego potrzebujemy działania, by popchnąć statek spoczywający na stojącej wodzie, aby go wstrzymać nagle, kiedy jest już w ruchu [...].

W języku dzisiejszej fizyki powiedzielibyśmy: takiego samego popędu (ang. *impulsu*) musimy użyć, aby rozpędzić statek o masie m do określonej prędkości v , jak go

zatrzymać od tej prędkości. A Kartezjuszowe „działanie” (fr. *action* – dziś to słowo ma w fizyce inne znaczenie), czyli „popęd” definiujemy jako iloczyn siły F i czasu jej działania t : $Ft = m\Delta v$

Nie wiem, czy to równanie jest teraz w programie szkolnym, czy nie (a należałoby jeszcze poprawnie zapisać wektory). Było u Kartezjusza, ale dość nieudolnie sformułowane, więc i dzisiejszy uczeń może mieć z tym kłopoty.

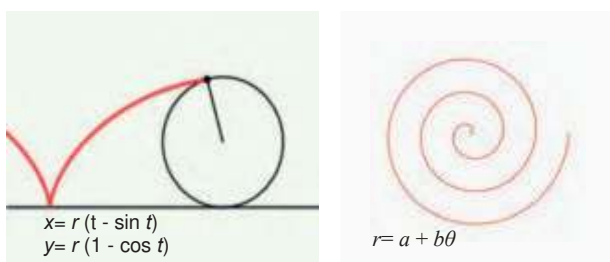
40. Trzecie prawo natury mówi: gdy ciało będące w ruchu zderza się z innym, wówczas, jeśli mniejszą ma siłę do zdążania po linii prostej aniżeli tempo do stawiania mu oporu, zawraca w przeciwną stronę, i zachowując swój ruch [fr. *mouvement*], traci tylko jego kierunek, jeśli jednak ma większą, wówczas porusza wraz z sobą to drugie ciało i tyleż traci ze swego ruchu, ile go tamtemu udziela.

Tłumaczka poprawnie przełożyła na język polski staro-francuskie *mouvement*: ale powinno się powiedzieć „pęd”. *Momentum* pozostało w angielskim (i włoskim). Oj! tam też uczniowie mają kłopoty z językiem fizyków. Piszę o tym w internetowej fraszce „Słowa zastrzeżone”¹¹.

Trzecie prawo Kartezjusza jest prawem zachowania pędu w układach izolowanych. $\Sigma p = \text{const}$. Jest więc złożeniem i drugiego i trzeciego prawa Newtona; ba! prostsze do zrozumienia niż równość sił akcji i reakcji (zob. [11] dla naszej doświadczałnej, z życiem komputera, weryfikacji III prawa Newtona).

Kartezjusz przytacza całe mnóstwo przykładów, niestety, nieco trudnych do zrozumienia. „Jeśli B było dwa razy większe aniżeli C , a B nie poruszałoby się dwakroć prędzej niż C , B nie popchnie tamtego, lecz samo zostanie odbite w przeciwnym kierunku.” (s. 75). Wyraźnie poszukuje prawa zachowania pędu. W wyjaśnieniu punktu 40, poszukuje definicji zderzenia sprężystego i (całkowicie) niesprężystego. Dziś wiemy, że trzeba rozważać łącznie i zachowanie energii i pędu. Proste przykłady – zderzenia kulek o równych i różnych masach podajemy w „Fizyce zabawek” a zderzenia wózków – na filmach¹² Katedry Dydaktyki Fizyki.

I jeszcze o cykloidzie – pięknym przykładzie składania ruchów: „A prócz tego ów jedyny ruch każdego ciała, jemu właściwy, może być rozpatrywany w zastępstwie wielu innych; tak jak w kołach u wozów odróżniamy dwa różne ruchy: mianowicie jeden obrotowy dookoła osi, drugi



Rys. 6. Cykloida i spirala Archimedesowa: dwa przykłady, w których opis parametryczny krzywej jest banalnie prosty a opis kartezjański – nie. Równani cykloidy używa współrzędnych kartezjańskich, ale spirali – biegunowych, który nazywam współrzędnymi „pająka”. Źródło: wikipedia (Zorgit, AdiJapan)

prosty wzdłuż drogi, po której one jadą.” (str. 67). Jest to jeden z najbardziej właściwych momentów do wprowadzenia (w matematyce) parametrycznego opisu krzywych w układzie współrzędnych Kartezjusza, rys. 6.

Na barkach gigantów

Jak podaje strona internetowa¹³, określenie „na barkach gigantów” pojawia się w od średniowiecza. Użył go też Newton w liście do Roberta Hooke’a. Arystotelesa komentowały wszystkie wieki, od Buridana i Św. Tomasza, do dziś [12]. Warto więc przypomnieć jeszcze trzy genialne stwierdzenia z jego prac.

Pisząc *O niebie* zauważa coś, w co reszta uczonych nie wierzyła jeszcze sto lat temu, do czasów diagramu Hertzsprunga-Russella: że gwiazdy nie są niezmiennie. Arystoteles zdawał sobie sprawę, że sądy o gwiazdach są ryzykowne: „Wprawdzie mamy mało danych, od których moglibyśmy zacząć badania. Ponadto jesteśmy bardzo oddaleni od zjawisk, o których mowa”. Ale mimo to stwierdzał: „My bowiem pojmujemy gwiazdy jako ciała proste i jednostki rozłożone wprawdzie w pewnym porządku, lecz zupełnie nie żyjące, podczas gdy trzeba wiedzieć, że one rozwijają działalność i cieszą się życiem.” (*O niebie*, 292a). Szczególnie piękne w tłumaczeniu Pawła Siwka, jest „cieszą się życiem”.

W *Zoologii* Arystoteles napomina, aby nie zamykać się w swojej dziedzinie naukowej, bo człowiekowi podające-mu się za wykształconego to nie uchodzi.

I wreszcie *Fizykę* Filozof zaczyna on od rozróżnienia między rozumowaniem dedukcyjnym, od ogólnych stwierdzeń, „prostych dla przyrody”, eleganckich i graficznie lakonicznych jak prawa Maxwella czy równanie Ogólnej Teorii Względności, ale trudnych do zrozumienia, a rozumowaniem indukcyjnym – zaczynając od tego, co dla badacza jest prostsze.

Skoro przy wszelkich roztrząsaniach, dla których istnieją zasady lub przyczyny lub elementy, wiedza i rozumienie wynikają właśnie z ich znajomości (wtedy bowiem sądzimy, żeśmy daną rzecz poznali, gdyśmy wykryli jej pierwsze przyczyny i pierwsze zasady aż do ostatecznych elementów), jasne się staje, że w poznawaniu przyrody najpierw trzeba próbować określić owe pierwsze zasady.

Naturalna droga prowadzi od tego, co lepiej znane i dla nas jaśniejsze, do tego, co z natury jest jaśniejsze i lepiej znane. Bo to nie jest to samo: lepiej znane i jaśniejsze dla nas, co: lepiej znane i jaśniejsze w ogóle. Dlatego więc trzeba koniecznie sposób postępowania przenieść z tego, co jest niejasne z natury, a dla nas jasne, na to co jest jaśniejsze i lepiej znane z natury. (*Fizyka* 184a, 1)

Realizując dydaktycznie wskazówkę Arystotelesa nie miejmy obaw, aby użyć obydwu sformułowań: językowe-

¹¹ http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/366

¹² http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/274

¹³ https://en.wikipedia.org/wiki/Standing_on_the_shoulders_of_giants



Rys. 7. Newton, w dodatku do „Zasad Filozofii Naturalnej” krytykował Kartezjusza za jego hipotezę wirów, napędzających ruch planet dookoła Słońca. Rzeczywiście, matematyczna, elegancka teoria grawitacji nie wymaga tego rodzaju wirów. Ale patrząc na galaktyki, nie ma wątpliwości, że są to jakieś kosmiczne wiry¹⁴. Co więcej, aby wyjaśnić stabilność tych „wirów”, naukowcy postulują, że są one zanurzone w „halo” z ciemnej materii¹⁵. Źródło: (a) Zasady filozofii, rys. 17; (b) Galaktyka M101 (NGC 5457) w konstelacji Wielkiej Niedźwiedzicy. Dominik Woś <https://astrofotografia.eu/m101/>

go „ciało porusza się w nieskończoność” i matematyczne $p = \text{const}$.

Krytykujemy średniowiecze za ręczne przepisywanie ksiąg: każde przepisanie dodawało błędy a nie nową wiedzę. A czy czasem w dzisiejszej dydaktyce tak się nie dzieje? Warto więc, od czasu do czasu, zajrzeć do oryginalnych dzieł.

I jeszcze wniosek dla dydaktyki konstruktywistycznej. Kłopoty Kartezjusza z użyciem pojęć „przekazana siła”, „ciężkość wypychanej wody”, „szybkość a powolność ruchu” świadczą, że i uczeń może w ten sposób rozumować. Nie gańmy go za to: jest na najlepszej drodze, aby zrobić spory krok, między Kartezjuszem a Newtonem. Co więcej, warto zacytować uczniom fragmenty pracy Buridana, bo są proste i zrozumiałe. A jeśli uczniowie sami zauważą, że *impetus* w rzucie w górę najpierw maleje, później

rośnie, a w momencie upadku jest taki jak w momencie wyrzutu – mamy przy okazji zasadę zachowania energii.

P.S. Dla nas, fizyków, myśl Arystotelesa jest bezcenna jeszcze z innego powodu. Pisał on o zoologii, o astronomii, o duszy, o etyce. Ale zasadniczo Arystoteles (a zanim Św. Tomasz z Akwinu) wyróżniał tylko trzy nauki *teoretyczne*: I) fizykę, która zajmuje się obiektami materialnymi i istniejącymi w przestrzeni; II) matematykę (geometrię), która zajmuje się obiektami istniejącymi w przestrzeni, ale niekoniecznie materialnymi (prosta w fizyce to kawałek szosy, ale w matematyce prosta istnieje jako obiekt abstrakcyjny), III) metafizykę (u Św. Tomasza teologię), która zajmuje się obiektami które istnieją (jak piękno i dobro), ale nie są ani materialne ani przestrzenne (*Metafizyka*, Ks. VI)

Grzegorz Karwasz

Katedra Dydaktyki Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

LITERATURA:

- [1] A. K. Wróblewski, *Historia fizyki*, PWN, Warszawa, 2006.
- [2] Arystoteles, *Metafizyka*, przekład Kazimierz Leśniak, PWN, Warszawa, 2009.
- [3] Arystoteles, *Fizyka*, przekład Kazimierz Leśniak, PWN, Warszawa, 2010.
- [4] D. Pakalski, *Formy naoczności i kategorie jako aprioryczne podstawy metafizyki w estetyce i analityce transcendentnej Kanta*, Studia z Historii Filozofii, s. 152. <http://apcz.umk.pl/czasopisma/index.php/szhf/article/download/szhf.2013.024/835/>
- [5] G. Karwasz, *Intelligent Design can be misleading*, Science e-letters, <https://science.sciencemag.org/content/357/6354/880.1/tab-e-letters>
- [6] G. Karwasz, *Od kuli plazmowej do plazmy termojądrowej*, Fizyka w Szkole, 1/2019.
- [7] Arystoteles, *O duszy*, przełożył Paweł Siwek, PWN, 1972.
- [8] G. Karwasz, E. Rajch, *Czarodziejski flet*, Fizyka w Szkole, 1/2006, http://fizyka.umk.pl/~karwasz/publikacje/2006_Czarodziejski_flet.pdf
- [9] G. Karwasz, W. Krychowiak, *Cztery i pół stanów skupienia. Gazy*, Fizyka w Szkole, 1/2020.
- [10] R. Descartes, *Zasady filozofii*, tłum. Izidora Dąbska, Wyd. Antyk, Kęty, 2001.
- [11] M. Sadowska, *Badanie trzeciej zasady dynamiki Newtona z wykorzystaniem zestawu komputerowego – scenariusz lekcji*, Postępy Fizyki, 6/2009, 262.
- [12] G. Karwasz, *Aristotle's three souls in modern science: Re-reading „De Anima”*, *Causa* 13 (December 2018) 429

¹⁴ <https://physicstoday.scitation.org/doi/abs/10.1063/PT.3.1230?journalCode=pto>

¹⁵ <http://www.ing.iac.es/PR/press/galspin.htm>

Co w fizyce piszczy

Kwazary a odległości we Wszechświecie

Międzynarodowa grupa naukowców, przy udziale prof. Marka Biesiady z Narodowego Centrum Badań Jądrowych, proponuje użycie kwazarów do wyznaczania odległości do ciał niebieskich. Metoda mogłaby być stosowana do obiektów, których obraz dociera do nas nawet sprzed 13 miliardów lat.

Jak wyjaśniono w komunikacie NCBJ, kwazary to obiekty pozagalaktyczne – tzw. aktywne jądra galaktyk, składające się z centralnej supermasywnej czarnej dziury ściągającej na siebie otaczającą materię (tzw. akrecja). Dysk akrecyjny, z którego materia wpada do czarnej dziury, jest otoczony sferyczną otoczką – tzw. gorącą koroną, zaś w dalszej odległości od dysku tworzy się pyłowy torus. Dysk akrecyjny promieniuje w ultrafiolecie. Fotony UV przelatują przez gorącą koronę, gdzie swobodne elektrony mają bardzo duże energie kinetyczne. Fotony o energiach z zakresu UV mają małe długości fali – są bardziej „częst-

kami” niż „falami”. W związku z tym, oddziałują z elektronami zderzając się z nimi jak kule bilardowe i przejmują od elektronów energię (jest to tzw. zjawisko Comptona). W ten sposób fotony UV stają się fotonami X. Zależność ta między mocami promieniowania w UV i X jest nieliniowa, ale może być opisana modelem matematycznym.

Autorzy pracy, opublikowanej niedawno na łamach czasopisma „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society” (<https://doi.org/10.1093/mnras/stab2154>) wykazali, na podstawie próbki 2421 kwazarów zebranych w 2020 r. przez włoski zespół E. Lusso i G. Risalitego, że korelacja jasności UV-X jest silnie powiązana z odległościami kosmologicznymi.

Naukowcy spodziewają się, że nowa metoda pozwoli wyznaczać odległości kosmologiczne do bardzo oddalonych obiektów, dla których redshift „z” wynikający z rozszerzania się Wszechświata wynosi nawet 7.5.

PAP – Nauka w Polsce

O energii i mitach

Jerzy Kuczyński

Mówi się, że generałowie przygotowują się do wojny, która właśnie się skończyła. To powiedzenie oznacza, że generałowie i politycy myślą, że przyszła wojna będzie bardzo podobna do tych z przeszłości. W praktyce prowadzi to do ogromnych strat na początku każdej większej wojny spowodowanych bezmyślnym kopiowaniem wzorców - z przeszłości. Aby podać przykłady z obu wojen światowych to na początku I Francuzi uważali, że „czerwone spodnie to honor Francji” i tak ubrali swoich żołnierzy, oczywiście ułatwiając celowanie przeciwnikowi. Skutek to podobno kilkaset tysięcy zabitych. Przed drugą zawierzili jak w I wojnie fortyfikacjom, z powszechnie wiadomym skutkiem. Przypadkowo oba przykłady dotyczą Francji, ale w innych armiach nie było lepiej.

Powyższe stwierdzenie oczywiście odnosi się nie tylko do generałów. Większość z nas żyje w przekonaniach, nabytych w młodości, głównie w trakcie edukacji szkolnej. Można by nawet stwierdzić, że wszyscy i w większości dziedzin. Jedynie w swojej wąskiej specjalności, niektórzy z nas (ale z praktyki wynika, że nie wszyscy!) starają się być na bieżąco ze zmianami! Dlatego nauczanie młodzieży jest czynnością ryzykowną. Po prostu bardzo łatwo jest wpoić młodzieży przekonania, których zastosowanie w przyszłości może być przyczyną nieszczęść.

Nasi uczniowie będą decydować o losach państwa za 20 – 40 lat. W tym czasie zmieni się bardzo wiele. Nie jest przesadą twierdzenie, że prawie wszystko. Z drugiej strony my nauczyciele jesteśmy dziećmi epoki, która przemieniała. Zaczynamy pracować w wieku dwudziestu kilku lat a kończymy zbliżając się do siedemdziesiątki. Czyli już z tego powodu reprezentujemy poglądy sprzed 20-30 lat. Dlatego nauczanie powinno być bardzo ostrożne, nace-

chowane przekonaniem, że nasze poglądy w czasach, gdy rząd kraju przypadnie naszym uczniom będą pochodziły sprzed pół wieku. Wynika z tego, że główną treścią edukacji powinno być przekonanie uczniów o konieczności stałego odświeżania wiedzy, konfrontowania jej z rzeczywistością i możliwie krytyczny stosunek do własnych przekonań, bo w naszym obrazie świata nic nie jest wieczne. Poglądy dziś bardzo adekwatne do rzeczywistości w przyszłości mogą być kompletnie bzdurne.

Niestety praktyka jest zupełnie inna. Uczymy dogmatów i na dodatek najczęściej opuszczając uzasadnienia tych dogmatów. Nie omija to fizyki. Nic dziwnego, bo nasza nauka szczyty popularności przeżywała w XIX i w pierwszej połowie XX wieku. Stąd w dużej mierze wyznajemy poglądy tych czasów. Z tego powodu chciałem się trochę przyjrzeć jak to się ma do współczesności. Zróbmy to na przykładzie czegoś bardzo fizycznego np. energii w technice i gospodarce.

Ile energii otrzymujemy?

Skłoniło mnie do tego przeczytanie pewnej książki¹. Otóż wspomniano w niej podział cywilizacji wg typów Kardaszewa. Nikołaj Kardaszew w sześćdziesiątych latach ubiegłego wieku podzielił cywilizacje na trzy typy. Typ pierwszy to cywilizacja, która zużywa energię porównywalną z energią dostarczaną przez gwiazdę do planety, na której cywilizacja zamieszkuje. Cywilizacja drugiego typu konsumuje energię zbliżoną do całej energii emitowanej przez gwiazdę. I w końcu cywilizacja trzeciego typu to cywilizacja potrzebująca energii zbliżonej do tej emitowanej przez galaktykę.

Chwila zastanowienia, prosty rachunek i dowiadujemy się, że Ziemia dostaje od Słońca ponad 10^{17} watów (a więc moc a nie energia). Przy 10 miliardach ludności, co jest wartością zbliżoną do prognozowanego maksimum zalud-

¹ G. Brona w rozmowie z E. Zambrzycką „Człowiek istota Kosmiczna”, Kraków, Znak 2019.

nienia Ziemi, to ponad 10 MW na osobę! Z powyższego widać, że na Ziemi może braknąć wszystkiego – wody, powietrza, powierzchni do mieszkania czy uprawy, ale na pewno nie braknie energii. Dodajmy, swobodnej. Czasem zapominamy dodać, że w technice z zasady nie chodzi o energię, ale o energię swobodną. Niby drobiazg a jednak wprowadzenie do programu szkolnego energii swobodnej pozwoliłoby uniknąć wielu nieporozumień.

Małe znaczenie energii potwierdza wizyta na stacji benzynowej, gdzie przekonamy się, że paliwa drożeją bardzo umiarkowanie. W ciągu ostatnich 20 lat inflacja była spora. Wg oficjalnych danych przeszło 50% ale praktycznie chyba dużo więcej, bo średnia pensja, też oficjalnie, wzrosła w tym czasie dwu i półkrotnie. Wzrost cen paliwa z ponad 3 zł do poniżej 6 złotych za litr, (to ostatnie w bardzo krótkim okresie!) to około 70-80%. Dokładnie trudno policzyć, bo zmiany są niemal codzienne a dodatkowo w tym czasie wzrosły podatki na paliwo. Stąd uwzględniając inflację i wzrost podatku, nawet nie biorąc pod uwagę ostatniego załamania cen, nośniki energii zdecydowanie nie nadążają za inflacją.

Skąd więc powszechne przekonanie o strategicznym znaczeniu energii? Oczywiście to dziedzictwo przeszłości. Znakomicie wyjaśnia to miejsce i czas pochodzenia klasyfikacji Kardaszewa. W latach sześćdziesiątych w ZSRR energia miała kluczowe znaczenie. Ogólne braki wszystkiego plus dominacja energochłonnego przemysłu ciężkiego sugerowały kluczowe znaczenie energii. Rzeczywiście XIX i XX wieczna gospodarka była energochłonna a na dodatek z nośnikami energii był kłopot. W czterdziestych latach XIX wieku bardzo wówczas nowoczesny statek s/s Great Western aby utrzymać moc konia mechanicznego przez godzinę zużywał dwa kilogramy dobrego węgla. Warto dodać, że kopalnictwo węgla też jest energochłonne² nie mówiąc o transporcie. Gdy parowce zaczęły pływać po oceanach pojawiło się prześmiewcze twierdzenie, że żegluga parowa ma ogromną przyszłość, pod warunkiem, że do każdego parowca przydzieli się flotyllę żaglowców wiozących węgiel³.

Energia – obszar największego postępu

Dzisiaj ten sam efekt (koń mechaniczny przez godzinę) uzyskuje się z niecałych 0,2 litra oleju. A więc mamy około 10-krotny wzrost sprawności. Jeszcze pół wieku temu samochód spalał na sto kilometrów ponad 10 litrów, prawda nieco gorszej niż obecna, benzyny. Teraz to zwykle około połowy tej wartości. A pojazdy to nie jest obszar najszybszego postępu technicznego. Parę miesięcy temu kupiłem 10-cio watomą „ledową żarówkę” i wkręciłem zamiast dawnej „sześćdziesiątki”. Efektem była awantura – natychmiast wykręć, oślepią i nie da się tego używać. Ledy 7,5 wata okazały się z trudem do przyjęcia. A więc ośmiokrotne zmniejszenie zapotrzebowania na energię.

Podobnie, choć może nie tak drastycznie, jest ze wszystkim innym. Ocieplenia budynków, pompy ciepłe i inne współczesne sposoby ogrzewania spowodowały, że



Przekonanie o strategicznym znaczeniu energii to dziedzictwo przeszłości. Foto – Dreamstime

na hałdach leży węgiel a chętnych do jego zakupu coraz mniej. Nie inaczej z innymi rodzajami urządzeń, które stają się coraz mniej energochłonne.

Technika powoduje, że w krajach europejskich energia jest więc coraz mniej potrzebna. Jeszcze sumaryczne światowe zapotrzebowanie rośnie, ale widać, że to wynik tego, że „do gry” włączają się bardzo wielkie kraje (Chiny, Indie, Brazylia, Indonezja itd.) rozwijając gospodarkę i zwiększając zużycie energii. Gdy to źródło wzrostu wyschnie (a widzieliśmy co było z powodu pandemii!), energetykę czeka kryzys. U nas już doskonale widoczny. Węgla nie trzeba, a rozpaczliwe walki górników o węgiel są najwyraźniej skazane na niepowodzenie. Trudno ich o tym przekonać, bo dziesięciolecia wmawiania im, że „utrzymują kraj i poświęcają się dla jego dobra pracując w górnictwie” (czyli znowu ten sam mechanizm powodujący, że żyjemy w świecie przeszłości) swoje zrobiły i teraz nie da się tego zmienić. Większość z nich do końca życia będzie uważać, że ktoś ich oszukał. Nie dziwny się im, bo my wszyscy mamy tę samą tendencję do samoszukiwania wierząc w odchodzące w przeszłość poglądy. Niestety i my nauczyciele niemało się do takich sytuacji przyczyniamy indoktrynując poglądy o znaczeniu energii.

Warto zwrócić uwagę na drugi powód ograniczania zużycia paliw kopalnych. To oczywiście „energia odnawialna”. Jest jej dużo i w gruncie rzeczy nawet w Polsce, kraju pod tym względem zdecydowanie ubogim, „od wielkiej biedy” bilans by się zamknął. O energii słonecznej już było, więc może o biomasie. Np. 2018 roku pozyskano

² E. Bendyk w „W Polsce, czyli wszędzie” wyd. Polityka, Warszawa 2020) twierdzi, że w Polsce wydobycie pochłania 20 % energii wydobytego węgla.

³ M. Mickiewicz, „Z dziejów żeglugi”, Nasza Księgarnia, Warszawa 1971

w lasach 43,3 miliona metrów sześciennych drewna⁴ To ilość energetycznie wprawdzie dużo mniejsza, jednak porównywalna, z energią wydobywanego węgla. A twierdzi się, że przyrost drewna w lesie był jeszcze większy. Gdyby dodać nie użytkowane fragmenty roślin (gałęzie, liście itp.) to pewnie biomasy byłoby w Polsce około 2 metrów sześciennych na osobę.

Będąc fascynatem jednostek (uważam, że przeliczanie jednostek to jedna z najważniejszych rzeczy, których należałoby uczyć na lekcjach fizyki!) chciałbym tu odróżnić dwie różne jednostki jakimi są metr sześcienny i metr przestrzenny. Ten ostatni jest jednostką używaną w handlu drewnem opałowym i oznacza ilość drewna wypełniająca standardową objętość (a więc zawierająca niewypełnione obszary). W praktyce to około 0,65 metra sześciennego. Z tego wynika, że w naszych lasach, uwzględniając gałęzie, przyrasta rocznie około trzech „handlowych” metrów drewna opałowego na osobę⁵. To plus fotowoltaika i wiatr mogłyby zapewnić Polsce skromną niezależność energetyczną.

Zielona energia nie taka zielona?

Jak z tego widać przywoływane od lat twierdzenia o zbliżających się brakach energetycznych nie mają uzasadnienia w rzeczywistości. Warto w tym miejscu zauważyć, że ten realny kryzys energetyczny polegający na jej nadprodukcji jest prawdopodobnie przyczyną rosnącej popularności „zielonej ideologii”. Po prostu są realne, choć nie tanie i niepozbawione wad, możliwości zmiany energetyki bazującej na kopalinach na inne sposoby jej uzyskiwania, z zasady mniej uciążliwe dla środowiska.

Podsumujmy więc to co zostało już powiedziane. Po pierwsze poglądy o braku energii są nieprawdziwe i wynikają z bezkrytycznego przenoszenia dawniej występujących realiów. Oczywiście nie mają żadnego uzasadnienia w rzeczywistości. Postęp techniczny i naukowy powoduje, że kryzys energetyczny ludzkości nie zagraża. Nie znaczy to, że ten postęp jest jednoznacznie pozytywny. Energia odnawialna jest dość droga. Niestety nie tylko droga, ale i z bardzo nierówno rozłożonymi kosztami – dla niektórych to bardzo wygodne, ale znaczna część społeczeństwa płaci za to bardzo wysoko (np. wspomniani górnicy).

Po drugie nie jest prawdą, że przejście na nowoczesne technologie ma same zalety. Nie jest też obojętne (jak to chcą niektórzy) dla środowiska. Np. produkcja czystego krzemu potrzebnego do fotowoltaiki jest bardzo uciążliwa a to samo można powiedzieć o materiałach potrzebnych do budowy wiatraków, nie mówiąc już o samych wiatrakach.

Jak widać koszty przechodzenia na nowoczesne (odnawialne) technologie energetyczne nie są małe i rozkładają się nierównomiernie. Niektóre środowiska tak społeczne jak i przyrodnicze dotykają wyjątkowo boleśnie. Tym niemniej przynajmniej my przedstawiciele nauk przyrodniczych i nauczyciele powinniśmy do wszelkich problemów podchodzić racjonalnie i rzeczowo (licząc się z empirią!). A więc i tych problemów związanych blisko z naszymi naukami, takich jak energetyka.



Biomasa plus fotowoltaika i wiatr mogłyby zapewnić Polsce skromną niezależność energetyczną. Foto – Dreamstime



Węgla nie trzeba, a rozpaczliwe walki górników o węgiel są najwyraźniej skazane na niepowodzenie. Foto – Dreamstime



Nowoczesne technologie też są uciążliwe dla środowiska. Foto – Dreamstime

Podobnych mitów jak ten omówiony powyżej, jest pewnie wiele. Z zasady nie wiemy, że są mitami, bo się nad nimi nie zastanawiamy. Stąd i sugestia – zastanawiamy się nad tym czego uczymy, konfrontujemy z danymi unikając „danych sponsorowanych”. I rzetelnie komentujemy to naszym uczniom, pamiętając o tych wspomnianych na wstępie generałach.

Jerzy Kuczyński

Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach

⁴ R. Socha, Polityka 28/2020 s. 34.

⁵ A. Weintrit, „Jednostki miar wczoraj i dziś”, AM w Gdyni 2010

Zarys historii drogi do transformatora Tesli w 100-lecie badań w Polsce

Kazimierz Mikulski

Tesla to uczony serbski (1856-1943). W 1884 r. zamieszkał w Nowym Jorku i zaczął pracować w firmie Edisona. Różnica temperamentów i sprzeczne poglądy co do możliwości wykorzystania elektryczności sprawiły, że został przez Edisona wyrzucony. W pionierskiej epoce radia opracował kilkadziesiąt aparatów nadawczo-odbiorczych. Najbardziej znanym wynalazkiem jest **transformator wielkiej częstotliwości** – znany jako **transformator Tesli**, umożliwiający wytworzenie napięcia rzędu milionów woltów.¹

Transformator to urządzenie pozwalające podwyższyć lub obniżyć napięcie zmiennego prądu elektrycznego.² Jego działanie oparte jest na zjawisku indukcji magnetycznej. Pole magnetyczne zostaje wytworzone przez prąd płynący w uzwojeniu pierwotnym, do którego doprowadzany jest prąd. Strumień magnetyczny przechodzi na drugą cewkę, zwaną uzwojeniem wtórnym. Zmienny prąd w uzwojeniu pierwotnym wywołuje zmiany w wytworzonym polu magnetycznym, co sprawia, że w uzwojeniu wtórnym indukowany jest prąd zmienny. Otrzymanie napięcia wyższego lub niższego od napięcia pierwotnego, zależy czy cewka uzwojenia wtórnego ma większą (mniejszą) ilość zwojów, od cewki pierwotnej.

Zjawisko indukcji elektromagnetycznej zaobserwował w 1831 r. Michael Faraday (1791-1867). W trakcie doświadczeń z elektrycznością nawinął dwie cewki z drutu na żelazny pierścień. Połączenie jednej cewki z baterią, powodowało, że przez drugą (nie połączoną z niczym) cewką popłynął przez chwilę prąd. Wyłączając zasilanie pierw-

szej cewki, spowodował nowy impuls w drugiej cewce. Doświadczenie było również wynalazkiem i próbą działania transformatora. Faraday kontynuował doświadczenia i w kilka tygodni później udało mu się wytworzyć prąd elektryczny wyłącznie za pomocą magnesu³. W 1831 r., używając swojego „*pierścienia indukcyjnego*” – pierwszego transformatora, Faraday dokonał jednego ze swoich największych odkryć – indukcji elektromagnetycznej.

Pierwsze urządzenie, wykorzystujące indukcję elektromagnetyczną do transformowania napięcia, to cewka lub induktor Ruhmkorffa⁴ zbudowany w 1850 r. Cewka pierwotna, o małej liczbie zwojów, zasilana była prądem stałym, przerywanym przez specjalny układ przerywacza. W cewce wtórnej, o dużej liczbie zwojów, powstawały odpowiednio duże impulsy napięcia.

Pierwsza cewka Ruhmkorffa, opatentowana w 1851 r., wykorzystywała drugie uzwojenie z drutu miedzianego, aby osiągnąć iskrę o długości około 2 cali (50 mm). W 1857 r. ulepszoną wersję wykonał amerykański wynalazca Edwarda Ritchie.⁵ Najsilniejsza cewka Ritchiego osiągnęła iskrę o długości 61 cm. Ruhmkorff, udoskonalił swój projekt używając szklanej izolacji, aby umożliwić wytwarzanie iskier o długości większej niż 30 cm.

Ritchie zauważył, że można ją uczynić bardziej wydajną i produkować dłuższą iskrę dzięki poprawie izolacji wtórnej. Pierwsza cewka indukcyjna Ritchiego wytworzyła iskrę o długości 10 cali (25 cm). Zaintrygowany Ruhmkorff sam nabył próbną cewkę indukcyjną Ritchiego i wykorzystał ją jako podstawę do zrewidowania własnego projektu. Otrzymał w 1858 r. nagrodę naukową od Napoleona III. Rozczarowany brakiem uznania za swoje ulepszenia, Ritchie

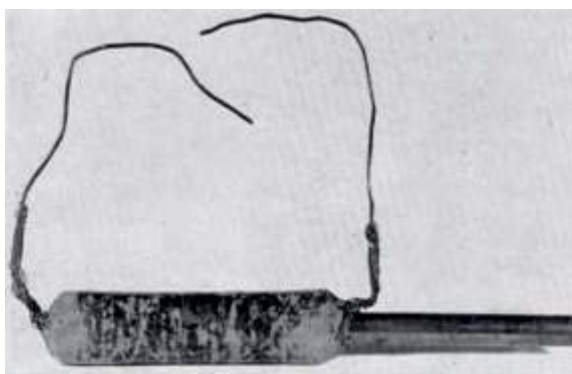
¹ <https://wynalazki.andrej.edu.pl/index.php/wynalazcy/59-t/1027-tesla>

² <https://scroll.morele.net/technologie/kim-by-l-nikola-tesla-najwazniejsze-informacje/>

³ Średniawa B., Michael Faraday <http://www.foton.if.uj.edu.pl/documents/12579485/bb6d0e6b-2f67-4637-9ba7-b60db12efff6> FOTON 93, Lato 2006

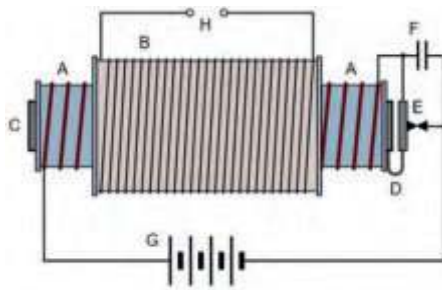
⁴ Heinrich Daniel Ruhmkorff (Rühmkorff) (1803-1877) – niemiecki mechanik, konstruktor przyrządów elektrotechnicznych, skomercjalizował cewkę indukcyjną określaną „cewką Ruhmkorffa”

⁵ American Academy of Arts and Sciences: Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences. T. XXIII. Boston: University Press, John Wilson and Son, May 1895 – May 1896, s. 359–360. Edward Samuel Ritchie (1814-1895) amerykański wynalazca i fizyk, twórca instrumentów w XIX-w. Ameryce



Rysunek 1,2,3. Cewka użyta w dniu 29 VIII 1831 r. i cewka użyta w dniu 17 X 1831 r. przez Michael'a Faradaya (1791-1867)

Źródło: https://www.fuw.edu.pl/~akw/Fizyka_XIX_wieku_cz_1.pdf



Rysunek 4,5. Urządzenie skonstruowane w 1850 r. przez Ruhmkorffa.
Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Cewka_Ruhmkorffa



skupił się na przyrządach nawigacyjnych.⁶ Ruhmkorffowi często przypisuje się wynalezienie cewki indukcyjnej, w rzeczywistości została ona wymyślona przez Nicholas Callana⁷ w 1836 r. Pod wpływem W. Sturgeona i M. Faradaya, Callan rozpoczął pracę nad pomysłem cewki indukcyjnej już w 1834 r.⁸ Cewka pierwotna składała się z kilku zwojów grubego drutu owiniętego wokół żelaznego rdzenia i poddanego działaniu niskiego napięcia, zwykle z akumulatora. Na nią nawinięta jest cewka wtórna składająca się z wielu zwojów cienkiego drutu. Mechanizm załączania i przerywania wielokrotnie przerywają prąd do cewki pierwotnej, wytwarzają w obwodzie wtórnym szybko przemienny prąd o wysokim napięciu.

Wynalazł pierwsze przerywacze, aby zapewnić powtarzalny sposób łączenia i rozłączania obwodu. W tych urządzeniach przepływ prądu elektrycznego jest uruchamiany i zatrzymywany, gdy ruch kołyszający lub obrotowy unosi styki elektryczne z pojemnika rtęci.

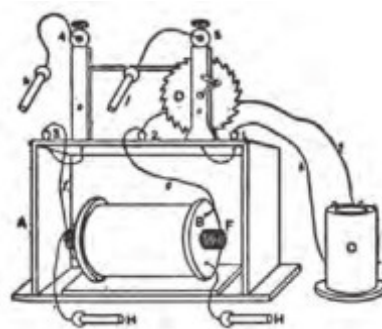
Cewka indukcyjna Callana również wykorzystywała przerywacz,⁹ który składał się z drutu na biegunach, będący wielokrotnie zanurzany w małym kubku rtęci (podobnie jak w przerywaczach stosowanych przez Charlesa Page'a). Ze względu na działanie przerywacza, który mógł wytwarzać i przerywać prąd płynący do cewki, nazywał swoje urządzenie „repeaterem”. W 1837 r. wyprodukował swoją gigantyczną maszynę indukcyjną: używając mechanizmu z zegara, który przerywał prąd 20 razy na sekundę, generowała 15-calowe (380 mm) iskry, szacowane na 60 000 woltów i największy sztuczny piorun energii elektrycznej, jaki wówczas widziano.¹⁰

Wynalazek transformatora w obecnie znanej postaci wyrósł jednak na gruncie ulepszeń tzw. świecy Jabłoczkowa,¹¹ którą stanowiły dwie równoległe elek-



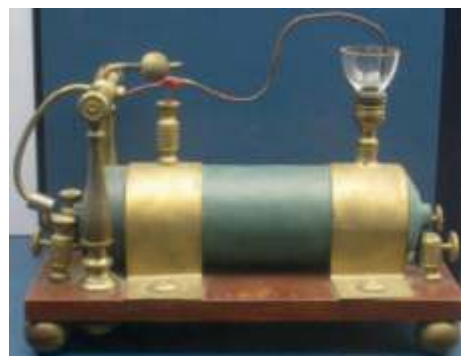
Rysunek 6, 7. Heinrich Daniel Ruhmkorff (Rühmkorff) (1803-1877) i Nicholas Joseph Callan (1799-1864)

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/Heinrich_Daniel_R%C3%BChmkorff.jpg



Rysunek 8, 9. Cewka Williama Sturgeona (1783-1850) z 1837 r. i jej twórca. Cynkowe koło zębate (D) zostało obrócone ręcznie. Pierwsza cewka wykorzystująca dzielony rdzeń z drutów żelaznych (F), aby zapobiec prądom wirowym.

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4d/William_Sturgeons_first_induction_coil.png



Fotografia 1, 2. Wczesna cewka Charlesa Graftona Page'a (1812-1868), z 1838 r., miała jeden z pierwszych automatycznych przerywaczy. Kubek był wypełniony rtęcią, a pole magnetyczne przyciągnęło żelazny element na ramieniu (po lewej), unosząc drut z kubka, przerywając obwód

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/NMAH_DC_-_IMG_8815.JPG <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/94/CGPagecoil.jpg> https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Grafton_Page

⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Edward_Samuel_Ritchie

⁷ Nicholas Joseph Callan (1799-1864) był irlandzkim księdzem i naukowcem, profesorem filozofii naturalnej w Maynooth College w hrabstwie Kildare, od 1834 r. znany z pracy nad cewką indukcyjną. https://en.wikipedia.org/wiki/Nicholas_Callan

⁸ https://books.google.pl/books?id=c5IOAAAAIAAJ&pg=PA477&lpg=PA477&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

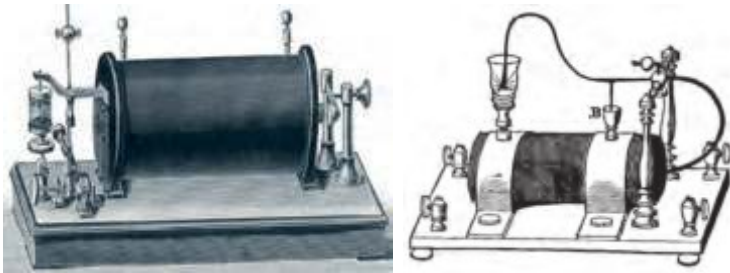
⁹ Przerywacz w elektrotechnice jest urządzeniem służącym do przerywania przepływu stałego prądu stałego w celu przekształcania go w zmieniający się prąd. Używany w połączeniu z cewką indukcyjną w celu wytworzenia zwiększonego napięcia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Interrupter>

¹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Nicholas_Callan#searchInput

¹¹ Jabłoczkow Paweł elektrotechnik i wynalazca (1847-1894). Opracował system oświetlenia z wykorzystaniem jednofazowego prądu przemiennego, z życiem kondensatorów i transformatorów (skonstruował pierwszy transformator 1-fazowy), a nadto sposób podłączenia kilku lamp do jednego generatora. <https://wynalazki.andrej.edu.pl/index.php/wynalazcy/49-j/881-jablczkow>

trody. Przez to, że zasilanie prądem stałym powodowało nierównomierne upalanie się elektrod, zastosowano do jej zasilania prąd zmienny.

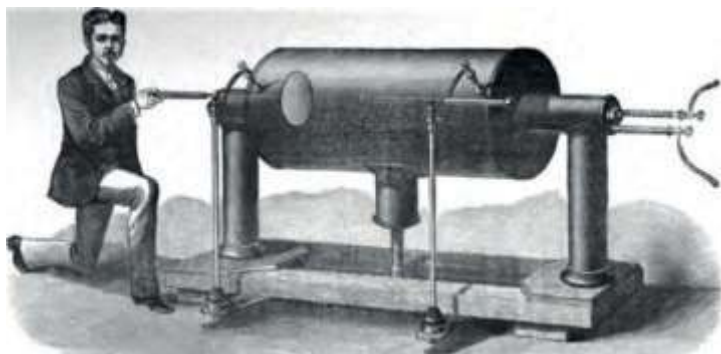
Rozwiązanie Pawła Nikołajewicza Jabłoczkowa polegało na zasilaniu zespół świec nie bezpośrednio ze źródła prądu zmiennego, ale za pośrednictwem pierwowzoru trans-



Rysunek 10. Cewka indukcyjna Heinricha Ruhmkorffa (1803-1877). Oprócz przerwacza młotkowego (po prawej) posiadał przerywacz ręciowy firmy Fizeau (po lewej), który można regulować w celu zmiany czasu przerywania.

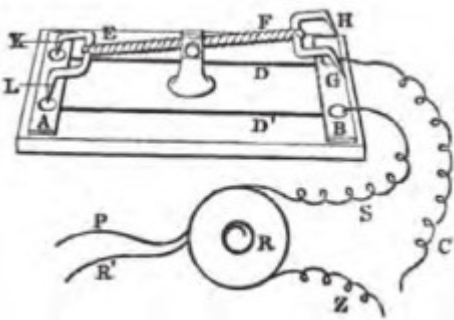
Rysunek 11. Podwójna cewka Charlesa Graftona Page'a, sprzedawana w 1848 r. za 8 dolarów przez bostońskiego producenta instrumentów Daniela Davisa Jr. Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/NMAH_DC_-_IMG_8815.JPG

https://en.wikipedia.org/wiki/Induction_coil#/media/File:Ruhmkorff_coil.png



Fotografia 3. Jedna z największych cewek, zbudowana w 1877 r. przez Alfreda Appsa dla Williama Spottiswoode. Nawinięta drutem o długości 280 mil może wytworzyć iskrę 42 cale (106 cm), co odpowiada około milionowi woltów.

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Induction_coil#/media/File:Large_Apps-Spottiswoode_induction_coil.png



Rysunek 12. Oryginalny szkic Goldinga Birda przedstawiający jego obwód przerywacza.

Fotografia 4. Golding Bird (1814-1854) – lekarz i członek Royal College of Physicians. Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Golding_Bird
https://books.google.pl/books?id=6Zp0iSrtvmMC&printsec=frontcover&pg=PA18&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true



Fotografia 5, 6. Świeca Jabłoczkowa z 1876 r. (data patentu), która jako praktyczne źródło światła wykorzystywana była w latarniach ulicznych i jej twórca
Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Pawie%C5%82_Jab%C5%82oczkow

formatora – dwóch cewek na jednym rdzeniu prętowym. W 1882 r. francuz Lucien Gaulard opatentował urządzenie, zbliżone budową do urządzenia Jabłoczkowa. W 1884 r. urządzenie zostało zademonstrowane na wystawie przemysłowej w Turynie. Udało się przesłać energię elektryczną na odległość 40 km używając napięcia 2 tysiące Volt.

Cewka Tesli

W 1887 r., Hertz odkrył fale radiowe, fale elektromagnetyczne, które oscylują na bardzo wysokich częstotliwościach. Przyciągnęło to uwagę wielu badaczy i zaczęło eksperymentować z prądami o wysokiej częstotliwości.

Hertz w Karlsruhe jesienią 1886 r. eksperymentował z parą spiral Riessa¹², kiedy zauważył, że wyładowanie słoika lejdejskiego¹³ do jednej z tych cewek wytworzyło iskrę w drugiej cewce. Jako radiator użył anteny dipolowej składającej się z dwóch współliniowych jednowoltowych przewodów z przerwą iskrową między ich wewnętrznymi końcami oraz kulek cynkowych przymocowanych do zewnętrznych końców jako pojemności. Antena była wzbudzana impulsami o wysokim napięciu około 30 kilowoltów, przyłożone między dwie strony cewki Ruhmkorffa. Eksperyment ten umożliwiał wytworzenie i odebranie tak zwane fale radiowe w bardzo wysokim zakresie częstotliwości.

Tesla miał doświadczenie w nowej dziedzinie systemów zasilania prądem przemiennym, więc rozumiał transformatory i rezonans. W 1888 r. zdecydował, że wysokie częstotliwości są najbardziej obiecującym obszarem badań i założył laboratorium do ich badania, początkowo powtarzając eksperymenty Hertza. Najpierw opracował alternatory jako źródła prądu o wysokiej częstotliwości, ale w 1890 r. odkrył, że są one ograniczone do częstotliwości około 20 kHz. W poszukiwaniu wyższych częstotliwości zwrócił się do wzbudzanych iskrowo obwodów rezonansowych. Innowacją Tesli było zastosowanie rezonansu w transformatorkach. Transformatory działały inaczej przy wysokich częstotliwościach niż przy niskich częstotliwościach stosowanych w systemach elektroenergetycznych. Rdzeń żelazny w transformatorkach niskiej częstotliwości spowodował straty energii ze względu na prądy wirowe i histerezy. Tesla i Elihu Thomson¹⁴ niezależnie opraco-

¹² Peter Theophil Riess (1804-1883) był niemieckim fizykiem, znanym przede wszystkim z pracy w dziedzinie elektryczności, zwłaszcza elektryczności tarcia, ale także w dziedzinie indukcji elektromagnetycznej.

¹³ wynalazek był odkryciem niezależnie dokonany przez niemieckiego duchownego Ewalda Georga von Kleista (1700-1748) 11 października 1745 r. i holenderskiego naukowca Pietera van Musschenbroeka z Lejdy (1692-1761), (Leyden) w latach 1745-1746.

¹⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Elihu_Thomson



Fotografia 7. Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) był niemieckim fizykiem; jako pierwszy ostatecznie udowodnił istnienie fal elektromagnetycznych przewidzianych przez Jamesa C. Maxwella.

Rysunek 13. Urządzenie Herta z 1887 r. do generowania i wykrywania fali radiowej: nadajnik iskrowy (po lewej), składający się z anteny dipolowej z iskrownikiem (S) zasilanego przez impulsy wysokiego napięcia z cewki Ruhmkorffa (T), a odbiornik (po prawej) składający anteny pętlowej i iskiernika.

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

https://en.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz#/media/File:Hertz_transmitter_and_receiver_-_English.svg

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/50/Heinrich_Rudolf_Hertz.jpg

wali nowy typ transformatora bez żelaznego rdzenia, nazwany „transformator oscylacyjny” i obwód cewki Tesli, który „zmusza” go do wytwarzania wysokich napięć.

Transformator Tesli¹⁵

Transformator można podzielić na dwie zasadnicze części – obwody rezonansowe.

Obwód pierwotny (rys.14) składa się z transformatora zasilającego Tr1, dławików Lb1, Lb2 (chroniących Tr1 i sieć zasilającą), kondensatora C1, iskrownika (Iskr), oraz cewki pierwotnej L1 w postaci kilku zwojów rurki lub grubego drutu. Częstota drgań obwodu pierwotnego zależy od pojemności kondensatora, indukcyjności cewki pierwotnej oraz w pewnym stopniu od przerwy iskrownika. Obwód wtórny to kondensator C2, którego pojemność jest równa pojemności pomiędzy górną elektrodą (najczęściej wykonaną w formie torusa) a Ziemią, oraz cewka wtórna L2 składająca się zazwyczaj z kilku do kilkunastu tysięcy zwojów cienkiego drutu.

Zasada działania

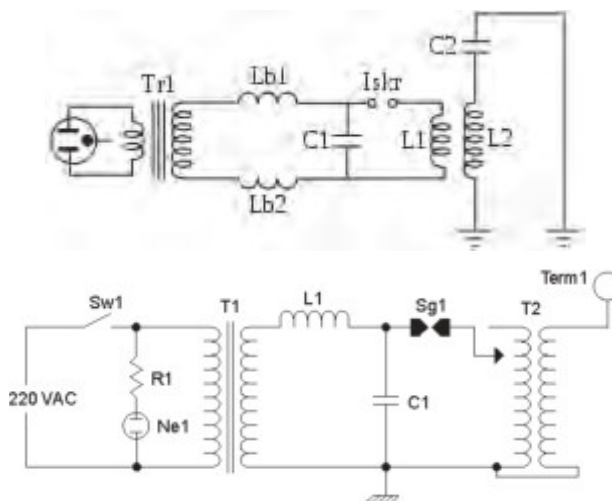
Transformator Tesli działa, gdy częstotliwość rezonansowa obwodu wtórnego jest taka sama jak obwodu pierwotnego. Uzyskuje się to poprzez regulację już zbudowanego urządzenia – zmianą długości cewki pierwotnej (przez przesuwanie odczepu) oraz regulację przerwy iskrownika. Transformator zasilający ładuje kondensator pierwotny C1. Gdy napięcie na kondensatorze dostatecznie wzrośnie, powoduje przeskok iskry i rozpoczęcie drgań rezonansowych. Kondensator rozładowuje się przez cewkę L1, wytwarzając w niej pole magnetyczne. Pole to indukuje wysokie napięcie w obwodzie wtórnym L2/C2. Prąd obwodu wtórnego poprzez cewkę pierwotną ładuje kondensator pierwotny przeciwnym napięciem.

Energia z kondensatora jest „przesyłana” do obwodu wtórnego, a następnie „zwracana” do pierwotnego. Cały cykl powtarza się z częstotliwością rezonansową. Indukcyjność podtrzymuje iskrę tak długo, aż straty mocy



Fotografia 8. Elihu Thomson (1853-1937).

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Elihu_Thomson#/media/File:Elihu_thomson_ca1880.png



Rysunek 14, 15. Schematy transformatora Tesli.

Źródło: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/EsquemaTesla.gif>

w obwodzie nie spowodują rozładowania kondensatora i zmniejszenia amplitudy. Następuje przerwa, podczas której kondensator jest ładowany, zapala się kolejna iskra i cykl się powtarza.

W pracy całego układu występują dwie nałożone na siebie częstotliwości: częstotliwość rezonansowa (rzędu kHz do MHz) oraz częstotliwość działania iskrownika (na ogół zgodna z częstotliwością sieci 50 Hz). Cewka Tesli nie posiada rdzenia ferromagnetycznego. Jest to przykład konstrukcji wykorzystującej rdzeń powietrzny i zjawisko rezonansu elektromagnetycznego. Dzięki zjawisku rezonansu amplituda drgań obwodu wtórnego zostaje znacznie zwiększona, powodując generowanie w nim napięcia rzędu milionów woltów. Istotą projektowania Cewki Tesli jest uzyskanie tej samej częstotliwości rezonansowej obydwu obwodów.¹⁶

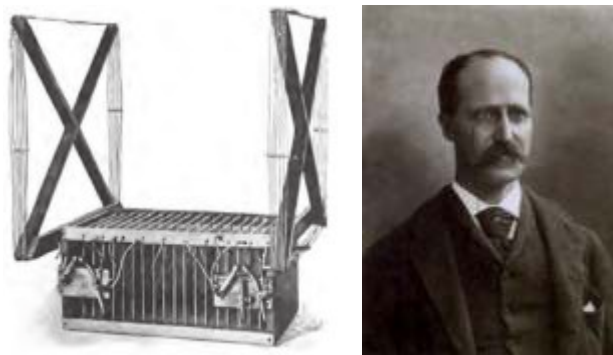
Jednobiegunowy obwód cewki Tesli na rys. 18. Kondensator C2 nie jest rzeczywistym kondensatorem, ale reprezentuje pojemność pasożytniczą uzwojeń wtórnych cewki L2, plus pojemność do masy elektrody toroidalnej E

Zakończenie

O Mieczysław Wolfke uczonym, badaczu, prekursorze nowych idei i zagadnień w fizyce pisało wielu autorów, w szerokiej literaturze przedmiotu. Także w elektro.info

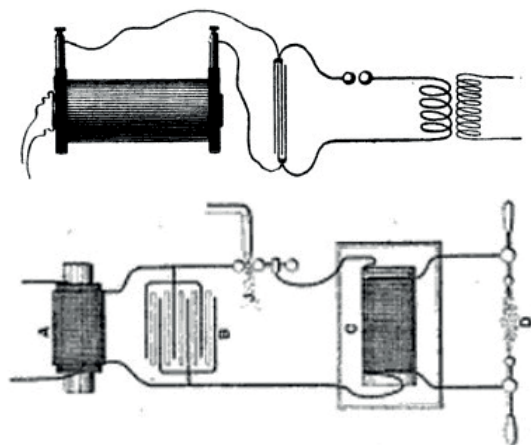
¹⁵ Transformator Tesli to transformator powietrzny wytwarzający wysokie napięcie rzędu milionów woltów. https://pl.wikipedia.org/wiki/Transformator_Tesli oraz https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/01/Original_Tesla_Coil.png

¹⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_Tesla_coil



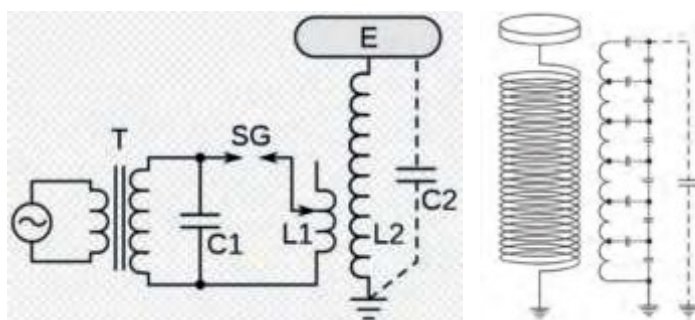
Fotografia 9, 10. Transformator rezonansowy Henry'ego Rowlanda z 1889 r. z wzbudzeniem iskrowym, poprzednik cewki Tesli. Henry Augustus Rowland (1848-1901) był amerykańskim fizykiem i pedagogiem Johnsa Hopkinsa.

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Rowland_resonant_transformer.jpg
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c2/Rowland_Henry.jpg



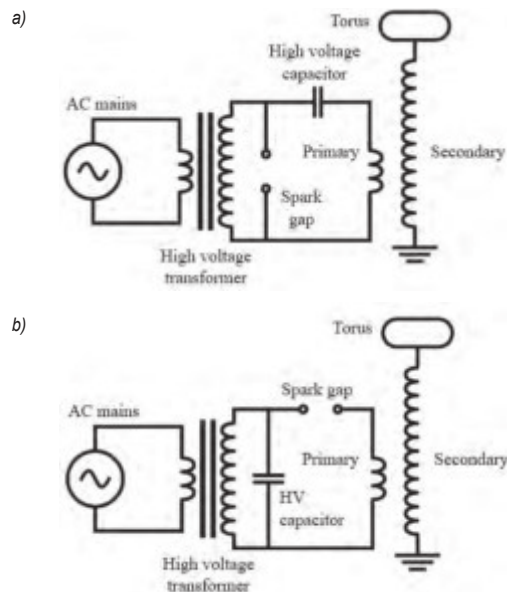
Rysunek 16. Pierwszy rysunek obwodu cewki z patentu Tesli z 25 kwietnia 1891 r. Rysunek 17. Obwodu cewki z wykładu Tesli 20 maja 1891 r. w Columbia College w Nowym Jorku.

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_Tesla_coil#/media/File:System_of_electric_lighting_-_Nikola_Tesla_US_patent_454622_fig1.png
https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_Tesla_coil#/media/File:Early_Tesla_coil_drawing_1891.png



Rysunek 18. Bardziej szczegółowy równoważny obwód wtórny pokazujący wkłady różnych pojemności błędnych

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_coil#/media/File:Tesla-coil_eq.gif



Rysunek 19. Schematy projektów Transformatora Tesli.

Typowa konfiguracja obwodu. W tym przypadku iskiernik zwiera wysoką częstotliwość na pierwszym transformatorze, który jest zasilany prądem przemiennym. Indukcyjność, nie pokazana, chroni transformator. Ten projekt jest preferowany, gdy używany jest stosunkowo delikatny transformator z neonom.

Alternatywna konfiguracja obwodu, gdy kondensator jest połączony równolegle z pierwszym transformatorem, a iskiernik jest połączony szeregowo z uzwojeniem pierwotnym cewki Tesli, transformator zasilania AC musi być w stanie wytrzymać wysokie napięcia przy wysokich częstotliwościach

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/Tesla_coil_3.svg
https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_coil#/Resonant_transformer https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/24/Tesla_coil_4.svg

w dziale z kart historii,¹⁷ oraz w „Fizyce w Szkole”.¹⁸ W pierwszych latach po powrocie do kraju Wolfke zajmował się **opracowaniem metody otrzymywania bardzo wysokich napięć przy pomocy transformatora Tesli**.

Wiosną 1923 roku odbył się w Warszawie **pierwszy Zjazd Fizyków Polskich** (wraz ze Zjazdem Chemików). Na zjeździe tym profesor Wolfke przedstawił własną pracę pt. „**Wysokie potencjały transformatora Tesli**”. Jak we wszystkich pracach doświadczalnych w tamtych latach, aparatura była bardzo prymitywna i wykonana własnoręcznie przez Profesora. Wielki transformator był wypożyczony. Jako wskaźnik zera posłużyła stara rura Brauna¹⁹. Napięcie zmierzone wynosiło pół miliona volt.²⁰

W skromnych warunkach laboratoryjnych. Posługując się jego metodą Amerykanie, osiągnęli w 1930 r. 5 mln volt.²¹

Pod koniec XIX wieku wystąpił znaczny wzrost produkcji energii elektrycznej w Europie, zwłaszcza po rozpoczęciu eksploatacji w 1891 r. 3-fazowej linii 25 kV z Lauffen do Frankfurtu nad Menem. Około 20 lat później wybudowano pierwsze 3-fazowe linie przesyłowe o napięciu 110 kV (1912 r.) w Michigan i w Niemczech. Poziom transmisji 220 kV osiągnięto w Kalifornii w 1923 r. W tym samym czasie, do rozpoczęcia II wojny światowej, napięcie nominalne linii przesyłowych w Polsce wynosiło tylko 60 kV i 150 kV.

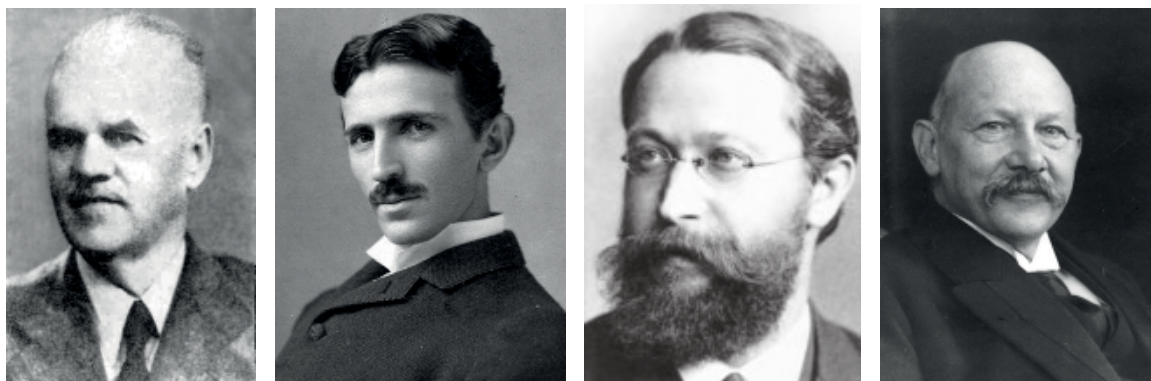
¹⁷ Kuczyński K., *Mieczysław Wolfke (1883-1947)*, 2016 r. <https://www.elektro.info.pl/artikul/z-kart-historii/64608,mieczyslaw-wolfke>

¹⁸ Mikulski K., Fizyk prawie zapomniany – Mieczysław Władysław Wolfke. Prekursor holografii i nie tylko. „Fizyka w Szkole z Astronomią” nr 5, wrzesień/ październik 2021, s. 22-25

¹⁹ Karl Ferdinand Braun (185-1918) – niemiecki fizyk, laureat Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki (1909) za „wkład w rozwój telegrafii bezprzewodowej”. Braun przyczynił się do rozwoju technologii radiowej i telewizyjnej https://pl.wikipedia.org/wiki/Karl_Ferdinand_Braun

²⁰ https://bazhum.muzhp.pl/media/files/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r1976-t21-n3/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r1976-t21-n3-s545-553/Kwartalnik_Historii_Nauki_i_Techniki-r1976-t21-n3-s545-553.pdf s. 7

²¹ <https://wynalazki.andrej.edu.pl/wynalazcy/62-w/1055-wolfke>



Fotografia 11, 12, 13, 14. Mieczysław Wolfke (1883-1947) i Nikola Tesla (1856-1943) (lata 90) oraz Karl Ferdinand Braun (1850-1918) i Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926)

W pierwszych dziesięcioleciach XX wieku często obserwowano w energetyce niską jakość urządzeń z uwagi na fakt niewielkich doświadczeń zakładów produkcyjnych branży wysokonapięciowej.²²

O zastosowaniu swoich odkryć, nad drganiami wysokich częstotliwości, M. Wolfke pisze w pracy: „Stała dielektryczna ciekłego i stałego wodoru oraz ciekłego helu” którą napisał wspólnie z H. Kamerlingh-Onnesem (1853-1926). Wyciąg z pracy złożonej w Królewskiej Amsterdamskiej Akademii Nauki zawiera następującą wzmiankę:

„W Zakładzie Kryogenicznym Uniwersytetu Lejdeńskiego oznaczyliśmy po raz pierwszy stałe dielektryczne ciekłego wodoru i ciekłego helu, w temperaturach ich wrzenia, pod ciśnieniem atmosferycznym, jak również zależność stałej dielektrycznej ciekłego i stałego wodoru od temperatury. Metoda pomiarów, użyta przez nas, posługująca się drganiami niegasnącymi o wielkiej częstotliwości, przez jednego z nas została uprzednio opracowana w Zakładzie Fizycznym Politechniki Warszawskiej.”

Oczywiście był to Mieczysław Wolfke.

Uzupełnienie



Fotografia 15, 16. Rura Brauna wynaleziona w 1897 r. i cewka Tesli – rozładowanie.

Źródło: <https://slideplayer.pl/slide/9354112/> https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/Tesla_coil_%28discharge%29..JPG



Fotografia 17, 18. a) Domowej roboty cewki Tesli w działaniu, pokazująca wyładowania szczotek z toroidu. Wysoka wartość pola elektrycznego powoduje, że powietrze wokół złącza doprowadzane jest do jonizacji i przewodzenia prądu elektrycznego, dzięki czemu następuje wyciekanie do powietrza kolorowych wyładowań koronowych w kształcie „wyładowania pędzla” i „płoszących łuków”.

b) Duża cewka wytwarzająca łuki strumieniowe o długości 3,5 metra (10 stóp), wskazujące na potencjał milionów woltów.

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_coil#Resonant_transformer https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/23/Teslova_c%C3%ADvka_v_provozu.JPG



Fotografia 19, 20. Półprzewodnikowa cewka Tesli DRSSCT ze spiczastym drutem przymocowanym do toroidu w celu wyładowania szczotki i Cewki Tesli w terrarium (łac. Terra – ziemia) – przeznaczone do hodowli przeżuwaczy płazów i gadów, ale także bezkręgowców, przystosowane do ich wymagań w naturalnych środowiskach. Może to być specjalne pomieszczenie lub przenośny, ewentualnie oszklony, pojemnik lub zbiornik w formie skrzynki wykonany z drewna, blachy lub plastiku (faunboxy), a często w całości ze szkła. <https://pl.wikipedia.org/wiki/Terrarium>

Źródło: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/OneTeslaTS_DRSSTC_Tesla_Coil_closeup.jpg https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/Tesla_coil_in_terrarium_%281%29.JPG

dr Kazimierz Mikulski
Maksymilianowo

²² <https://www.sep.wroc.pl/wp-content/uploads/2021/04/Info-211.pdf> s. 1

Żywoty fizyków

Galileusz

(1564 – 1642)

Tadeusz Wibig

Był jednym z największych fizyków wszech czasów. A zaczęło się niepozornie, mały Galileo urodził się w 1564 roku w Pizie i był najstarszym spośród szóstki dzieci Vincenzo Galilei, który był teoretykiem muzyki, a także grał zawodowo na lutni. Teoria dźwięczącej struny od czasów starożytnych fascynowała ludzi. Zagadnienia harmonii i pytanie, jak wysokość dźwięku zależy od długości struny i jej naprężenia, ojciec Galileusza badał eksperymentalnie i w badaniach tych, uczestniczył najpewniej i Galileo. Kto wie, czy to nie wtedy narodziło się w nim przekonanie o znaczącej roli eksperymentu w nauce w ogóle.

Pierwsze nauki Galileusz pobierał w opactwie benedyktynów w Vallombrosa. Rozważał wtedy nawet możliwość wstąpienia do tego zakonu, ale ostatecznie w roku 1581 za namową ojca rozpoczął na Uniwersytecie w Pizie studia medyczne, które zapewnić mu miały solidny zawód i dostatnią przyszłość.

Biografia Galileusza obfituje w wydarzenia, które weszły do powszechnego obiegu i powtarzane utworzyły Galileuszową legendę i nikt już dziś nie pyta, czy zdarzyły się naprawdę. Przecież wszyscy wiedzą, że podczas studiów w Pizie obserwując bujający się w katedrze wielki żyrandol odkrył on zjawisko *izochronizmu*. Zauważył, że okres wahań tak jakby nie zależy od tego, czy wahnięcia są duże, czy małe. Historię tę znamy jedynie z opisu Vincenzo Vivianiego, pierwszego biografa Mistrza, jego ucznia i współpracownika. Warto w tym miejscu wspomnieć, że Viviani urodził się on dopiero w roku 1622 i z tej racji nie mógł być naocznym świadkiem tego, o czym pisał, a opis swój opierał na wspomnieniach siedemdziesięcokilkuletniego Galileusza. Opisywane wydarzenie miało skłonić Galileusza do zainteresowania się matematyką, a więc może jednak zdarzyło się naprawdę, bo rzeczywiście porzucił on medycynę i zajął się studiowaniem „sztuk pięknych”, matematyki, filozofii naturalnej, czyli po prostu fizyki, mimo iż matematyk zarabiał znacznie mniej niż medyk.

W wolnych chwilach, a w sumie także po to, by zrobić sobie trochę, Galileusz dokonywał naukowych wynalazków. Pierwszym, który przeszedł do podręczników szkolnych, był wynalazek termometru, a właściwie *termoskopu*, urządzenia przypominającego trochę dzisiejsze (wczorajsze) termometry rtęciowe, z tym, że rurka, w której podnosił się poziom cieczy, nie była u Galileusza zamknięta, jak to ma miejsce w dzisiejszych termometrach, a otwarta i wskutek tego termoskop Galileusza reagował



Galileo Galilei, portret namalowany przez Justusa Sustermansa między 1636 a 1640 rokiem. Źródło: commons.wikimedia.org

nie tylko na temperaturę, ale także na ciśnienie atmosferyczne. Ale zawsze był to jakiś wynalazek.

Innym powstałym w tym samym mniej więcej czasie była *waga hydrostatyczna* umożliwiająca pomiar gęstości ciał ważąc je w wodzie i w powietrzu. Nawiązywała ona do słynnego problemu Archimedesesa z koroną króla Syrakuz Hierona II.

Na przełomie lat 80 i 90 XVI wieku, mimo nieukończenia studiów, zaczął wyklądać przedmioty matematyczne w Pizie i wtedy powstały jego pierwsze dzieła naukowe. Najważniejszym z nich jest traktat „O ruchu” (*De motu*). Nie został on nigdy tak naprawdę skończony i opublikowany, jednak dzięki temu, co zachowało się do dziś, wiemy, co o ruchu myślał Galileusz na początku swej naukowej kariery. Związana z tym jest pochodząca z tych czasów najsłynniejsza opowieść z życia Galileusza i znowu wszystko, co wiemy, pochodzi od Vincenza Vivianiego. Chodzi o historię o zrzucaniu przez Galileusza z Krzywej Wieży w Pizie różnych przedmiotów i pokazywaniu gawiedzi, że wszystkie one spadają tak samo.

Problem swobodnego spadku był wielkim problemem tamtych czasów, problemem natury zasadniczej.

Zdaniem Arystotelesa, największego wtedy autorytetu naukowego spadając swobodnie ciała dążą ku ziemi z charakterystyczną dla siebie jednostajną prędkością. Ciała cięższe są silniej ściągane w dół (gravitacja!), a zatem spadać muszą szybciej. Galileusz, po swoich doświadczeniach z prawem Archimedesesa skłonny był przyznać, że istotną wielkością jest tu nie ciężar, ale ciężar właściwy, czyli gęstość ciał. (Oczywiście pojęcie ciężaru właściwego

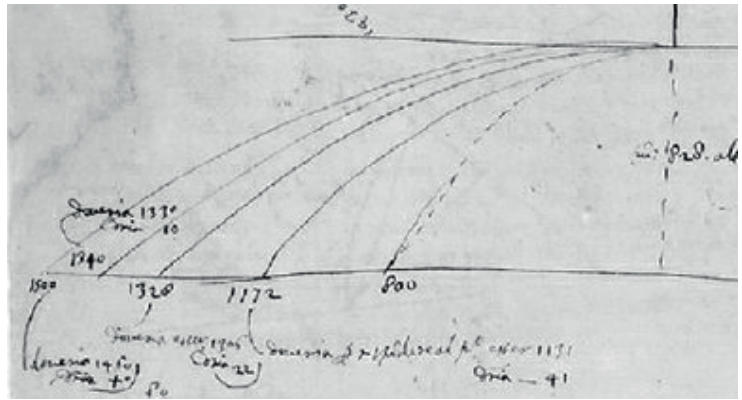
i gęstości było Galileuszowi nieznane i wyrażał się innymi słowami, ale to właśnie miał na myśli.) Teorię tę Galileusz próbował zweryfikować doświadczalnie zrzucając ciała z wysokości i stwierdził, że eksperymenty nie potwierdziły jego teorii. Nic dziwnego, Archimedesowe siły wyporu dla ciał zanurzonych w powietrzu są niewielkie. Podsumowując swoje wysiłki eksperymentalne stwierdził, że w rzeczywistości lżejsze ciało (dziś powiedzielibyśmy: to o mniejszym ciężarze właściwym) wyprzedza ciało cięższe przez jakiś krótki czas, gdy rozpoczyna się spадanie, ale potem ciało cięższe nabiera prędkości, wyprzedza to lżejsze i dociera do ziemi nieco wcześniej. I taka to była teoria.

Ale sama idea eksperymentu ze swobodnym spadkiem narodziła się już wcześniej. W dziele Giuseppe Moletiego poprzednika Galileusza na katedrze matematyki na uniwersytecie w Padwie zatytułowanym *Dialogo intorno alla Meccanica* z 1576 roku, napisał on, że ciała zrobione z tego samego materiału, ale o różnej wadze spadają jednakowo szybko, ale co więcej: także ciała zrobione z różnych materiałów, lecz o tych samych rozmiarach, spadają tak samo. Wybitny flamandzki fizyk i astronom Simon Stevin z kolegą Janen Cornetsem de Grootem znanym i poważanym prawnikiem, filozofem i naukowcem-amatorem w 1586 roku przeprowadził eksperyment polegający na zrzucaniu ołowianych ciężarków z wysokości kilkunastu metrów: spadały tak samo. Wyniki swoich doświadczeń opublikowali oni w traktacie *Waterwicht*. Inni też próbowali. Z różnym skutkiem. Na ogół jednak przedmioty spadające nie spadały wcale tak samo szybko. Galileusz podsumował te próby po roku 1612 następująco:

„Arystoteles mówi, że stu funtowa kula spadnie z wysokości 100 łokci szybciej niż kula jedno funtowa upuszczona z wysokości 1 łokcia. Ja mówię, że dotrą one na ziemię w tym samym czasie. Przeprowadzając doświadczenie można stwierdzić, że większa kula wyprzedzi mniejszą o dwa cale.”

i dodaje:

„I te dwa cale mają przykryć dziewięćdziesiąt dziewięć łokci Arystotelesa? Mówi się tylko o moim drobnym błędzie, a zamilcza o ogromnej pomyłce Arystotelesa.”



Oryginalny rysunek ilustrujący rzut poziomy narysowany ręką Galileusza.

Tyle miał do powiedzenia Galileusz na temat swobodnego spadku, gdy zdaniem legendy zrzucił swoje kule z wieży.

Sformułowanie znanej nam dziś ostatecznej Galileuszowej teorii swobodnego spadku zabrało mu jeszcze kilkadziesiąt lat. Właściwie opisał je dopiero w dziele życia, swoim naukowym testamencie *Discorsi e dimostrazione matematiche intorno a due nuove scienze* z roku 1638. Przede wszystkim definiuje on tam precyzyjnie, co nazywa ruchem jednostajnym i pokazuje związek między prędkością, czasem i drogą w tym ruchu. Następnie opisuje ruch jednostajnie przyspieszony, jako taki, w którym prędkość wzrasta o tę samą wartość w kolejnych krokach czasu i stwierdza, że taki jest właśnie ruch spadających ciał. Dodatkowo na drodze geometrycznej wykazuje, że droga przebyta w ruchu jednostajnie przyspieszonym jest proporcjonalna do kwadratu czasu w jakim odbywa się ten ruch. Rozpatruje też kwestię znanego z podręczników szkół średnich (dziś tylko w profilu rozszerzonym) ruchu dwuwymiarowego zwanego „rzutem poziomym”: ruch pocisków składa się z kombinacji jednostajnego ruchu poziomego i jednostajnie przyspieszonego ruchu pionowego, co prowadzi do ruchu po paraboli.

Stwierdzenie to mogłoby doprowadzić Galileusza do konkluzji, że prędkość jest wielkością wektorową, gdyby tylko wiedział on, co to jest wektor, ale na to trzeba było poczekać tak naprawdę do połowy XIX wieku.

Tadeusz Wibig
Katedra Fizyki Teoretycznej, Uniwersytet Łódzki

Doświadczenie domowe:

Rzut (prawie) poziomy

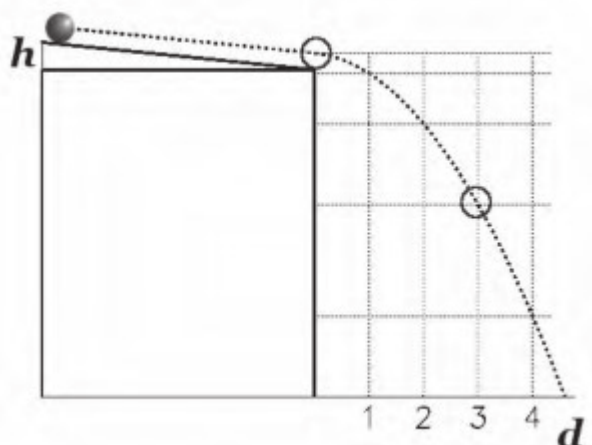
A. Potrzebne materiały

1. Stół, stolik ława z równym i gładkim blatem.
2. Podpórka do stołu (patrz niżej).
3. Kulka metalowa, lub jakaś inna, im cięższa tym lepiej.
4. Centymetr krawiecki (może być długa linijka).
5. Kawałek kredy szkolnej, albo jakakolwiek taśma klejąca, może też być plastelina.

B. Narzędzia – zbędne

C. Kolejność czynności

1. Stolik podeprzeć z jednej strony tak, aby stał się równią pochyłą o niewielkim kącie nachylenia ($\sim 10^\circ$)



2. Zmierzyć wysokość na jaką podniesiona została równia w najwyższym punkcie.
3. Oznaczyć kredą (taśmą, plasteliną) na tak powstałej równi punkt w połowie jej długości, a potem jeszcze dwa punkty w połowach tych połówek;
4. Spuścić z najwyższego punktu równi (z samego jej końca) kulkę;
5. Zaobserwować na podłodze, w którym miejscu kulka upadnie;
6. Zmierzyć odległość tego punktu miejsca na podłodze dokładnie pod dolnym końcem równi;
7. Powtórzyć czynności od punktu 3 trzy do pięciu razy zapisując wyniki i wyciągnąć z nich średnią i podnieść ją do kwadratu;
8. Zrobić to samo (pkt 3. do 6.) lecz zamiast spuszczać kulkę z najwyższego punktu zrobić to samo z punktu w $\frac{3}{4}$ długości równi.
9. Powtórzyć to startując z połowy i z $\frac{1}{4}$ równi.

Wyniki powinny wypełnić tabelkę

Numer kolejny	Wysokość punktu startowego – h	Zmierzone odległości d	Średnie d – $\langle d \rangle$	$\langle d \rangle^2$	$\langle d \rangle^2 / 4h$
1		_____			

2		_____			

3		_____			

4		_____			

					H =

10. Narysować wykres $\langle d \rangle^2$ w funkcji h.

Jeśli punkty ułożą się na linii prostej, będzie to dowód na to, że rzeczywiście droga przebyta w jakimś czasie w ruchu jednostajnie przyspieszonym jest proporcjonalna do kwadratu tego czasu.

Rozszerzenie dla ambitnych:

Jeśli komuś uda się wykonać odpowiednie nieskomplikowane rachunki dojdzie być może do wniosku, że

$$d = 2\sqrt{hH}, \quad \text{czyli } d^2 = 4hH$$

gdzie H to wysokość stołu.

Możemy teraz spróbować wykorzystując nasze pomiary obliczyć wysokość stołu dla każdego z czterech pomiarów:

$$H = d^2 / 4h$$

11. Zmierzyć wysokość stołu.

Porównanie wyników z rzeczywistością, czyli z prawdziwą wysokością naszego stołu (ławy) może być zaskoczeniem. Stół realny będzie zapewne o jakieś 25% niższy.

Dlaczego?

Nietypowe układy odniesienia mogą znacznie ułatwić rozwiązanie zadania

Marian Maciocha

Wprowadzenie odpowiedniego układu odniesienia może znacząco uprościć rozwiązanie problemu. Na przykładzie trzech sposobów rozwiązania pewnego zadania chciałbym pokazać, jak wybór odpowiedniego układu odniesienia może znacząco ułatwić rozwiązanie danego zadania. W pierwszym sposobie rozwiązania zadania zastosujemy bardzo tradycyjny układ odniesienia i będziemy musieli wykonać trochę obliczeń. W drugim i trzecim sposobie rozwiązania zadania zastosujemy mniej typowe układy odniesienia i wynik otrzymamy praktycznie bez rachunków.

Zadanie:

Kajakarz płynie w górę rzeki. Z kajaka przepływającego pod kładką wypada piłka. Piłka zaczyna płynąć w dół rzeki. Po upływie czasu $t_0 = 15$ min kajakarz zorientował się, że zgubił piłkę. Natychmiast zawrócił i w odległości $D = 1000$ m od kładki dopłynął do zgubionej piłki. Obliczyć prędkość wody w rzece, jeśli wiadomo, że:

- prędkość wody w rzece jest stała,
- prędkość kajaka w rzece względem wody jest stała,
- kajakarz zawrócił kajak bez straty czasu.

Wprowadzamy oznaczenia:

u – prędkość wody w rzece ($u = \text{const.}$),

v – prędkość kajaka w rzece względem wody ($v = \text{const.}$),

t_z – czas, który minął od wypadnięcia piłki z kajaka do momentu, gdy kajakarz dopłynął do zgubionej piłki, więc

$$u = \frac{D}{t_z}.$$

Rozwiązanie – sposób pierwszy.

Przyjmujemy, że kładka jest nieruchoma.

W ciągu czasu t_z piłka odpływa w dół rzeki na odległość D od kładki. Odległość D wynosi:

$$D = u t_z. \quad (1)$$

W czasie t_0 kajakarz odpływa z prędkością $(v - u)$ w górę rzeki na odległość D_1 od kładki. Odległość D_1 wynosi:

$$D_1 = (v - u) t_0. \quad (2)$$

Gdy kajakarz zorientował się, że zgubił piłkę, to natychmiast zawrócił i popłynął w dół rzeki za zgubioną piłką z prędkością $(v + u)$. W ciągu czasu $(t_z - t_0)$ kajakarz płynąc w dół rzeki pokonał odległość D_2 i dopłynął do piłki. Odległość D_2 wynosi:

$$D_2 = (v + u)(t_z - t_0). \quad (3)$$

Ponieważ kajakarz dopłynął do zgubionej piłki, to

$$D_2 = D + D_1. \quad (4)$$

Podstawiając (1), (2) i (3) do (4) otrzymujemy $t_z = 2t_0$. Korzystając z (1) mamy:

$$u = \frac{D}{t_z} = \frac{D}{2t_0} = \frac{1000 \text{ m}}{2 \cdot 15 \text{ min}} = 2 \text{ km/h.}$$

Odpowiedź: Prędkość wody w rzece wynosi 2 km/h.

Rozwiązanie – sposób drugi.

Przyjmujemy, że piłka jest nieruchoma.

W czasie t_0 kajakarz odpływa od piłki z prędkością v .

W ciągu czasu $(t_z - t_0)$ kajakarz płynie do piłki z prędkością v .

Zatem $t_0 = (t_z - t_0)$, więc $t_z = 2t_0$, a stąd

$$u = \frac{D}{t_z} = \frac{D}{2t_0} = \frac{1000 \text{ m}}{2 \cdot 15 \text{ min}} = 2 \text{ km/h.}$$

Odpowiedź: Prędkość wody w rzece wynosi 2 km/h.

Rozwiązanie – sposób trzeci.

Przyjmujemy, że kajakarz jest nieruchomy.

W czasie t_0 piłka odpływa od kajakarza z prędkością v . W ciągu czasu $(t_z - t_0)$ piłka płynie do kajakarza z prędkością v .

Zatem $t_0 = (t_z - t_0)$, więc $t_z = 2t_0$, a stąd

$$u = \frac{D}{t_z} = \frac{D}{2t_0} = \frac{1000 \text{ m}}{2 \cdot 15 \text{ min}} = 2 \text{ km/h.}$$

Odpowiedź: Prędkość wody w rzece wynosi 2 km/h.

Co w fizyce piszczy

Klimat i samochody

Prof. Szymon P. Malinowski, fizyk atmosfery w rozmowie z Anną Anagnostopulu w Business Insider Polska:

Panuje też powszechne przekonanie, że dobrodziejstwem dla środowiska będą samochody elektryczne. A przecież niezależnie od tego, jaki mamy samochód, z punktu widzenia fizyki służy on do przemieszczania swojej masy. Kiedy jedzie Pani na zakupy, trzeba na przemian rozpędzać i zatrzymywać te 1,5 tony. To działania

kompletnie nieefektywne, jeśli chodzi o zużycie energii. Pani chce się przecież przemieścić, a nie przewieźć 1,5 tony żelastwa. I taki samochód elektryczny pod względem zużycia środowiska i zasobów będzie niemal równie nieefektywny co samochód spalinowy.

<https://businessinsider.pl/technologie/nowe-technologie/katastrofa-klimatyczna-elektryczne-samochody-nie-sa-dobrodziejstwem-dla-srodowiska/eyxv0mr?fbclid=IwAR1Uj1IruEsTe6D64ijKiscqAtWhK8KKQLqLbwSCVnlz3IDUUVFuP9ZUKgc>

Paradoks mechaniczny

Z paradoksem mamy do czynienia wtedy, gdy intuicja podpowiada nam oczywiste, zdawałoby się, rozumienie zjawiska, które jednak po głębszym zbadaniu okazuje się błędne.

Julian Płoszajski

Dobrze znanym przykładem, choćby ze szkoły, jest paradoks hydrostatyczny, gdzie różne objętości, a więc i ciężary wody zawarte w różnych naczyniach sugerują, że ciśnienia wywierane na jednakowe powierzchnie podstawy powinny być różne! Paradoksalnie, ciśnienia wywierane na nie, są takie same! żaba

Aby przedstawić nasz paradoks mechaniczny przypomnijmy, jak ciała spadają w próżni? Oczywiście wszystkie poruszają się tak samo, nabywając prędkość $v = \sqrt{2gh}$, gdy spadają z wysokości h . Jeżeli ciało spada w powietrzu, ale jego opór możemy zaniedbać, to ciało porusza się jak w próżni! Jeżeli jest sprężyste, np. kulka stalowa, to spadając na sprężyste podłoże, np. kowadło, odbija się od niego powracając na wysokość, z jakiej spadło!

Wynika to stąd, że jej energia kinetyczna po odbiciu „wystarcza” na powrót na wysokość „ h ”, co potwierdza rachunek:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2}(\sqrt{2gh})^2 = mgh \quad (1)$$

Ponieważ nie ma materiałów doskonale sprężystych, kulka nie wraca dokładnie na wysokość h . Przyczyna leży w tym, że w chwili upadku w podłożu inicjowane są drgania, zaczyna drgać również kulka, ogrzewa się i kulka, i miejsce odbicia. Towarzyszy temu efekt akustyczny. Wszystkie te zjawiska odbywają się na koszt energii kinetycznej kulki, więc maleje ona przy każdym odbiciu, co łatwo zauważyć po kilku odbiciach.

Przypomnijmy teraz „teorie zderzeń”, dotyczącą sytuacji, gdy mała kulka atakuje centralnie, spoczywającą dużą

kulę; sytuację przedstawia Rys. 1 Aby zjawisko przeanalizować ilościowo skorzystamy z dobrze znanych wzorów zawartych w znakomitym podręczniku [1]. Przytoczone tam wzory oparte są o zasady zachowania pędu i energii kinetycznej. Oto one:

$$\begin{aligned} v_1' &= \frac{M-m}{M+m}v_1 + \frac{2m}{M+m}v_2 \\ v_2' &= \frac{2M}{M+m}v_1 + \frac{m-M}{M+m}v_2 \end{aligned} \quad (2)$$

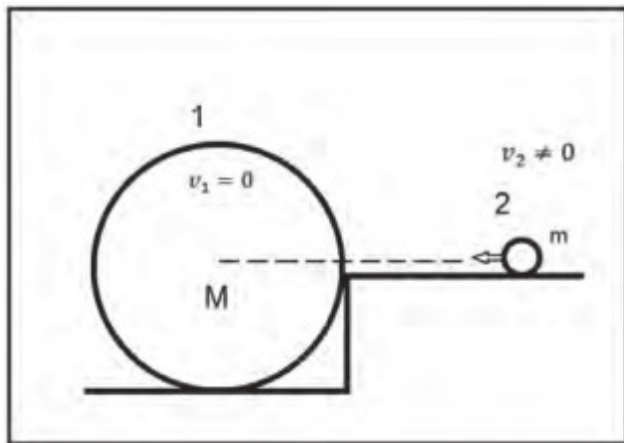
W rozważanym przypadku można zgadnąć, że kula mała odbije się z tą samą prędkością, z którą poruszała się przed zderzeniem. Potwierdza to rachunek wykonany w oparciu o wzory (2) na prędkości po zderzeniu. Zauważmy, że v_2 jest skierowane w lewo, czyli jest ujemne. Mamy wtedy:

$$v_2' = \frac{m-M}{M+m}(-v_2) = \frac{M(m/M-1)}{M(1+m/M)}(-v_2) = v_2 \quad (3)$$

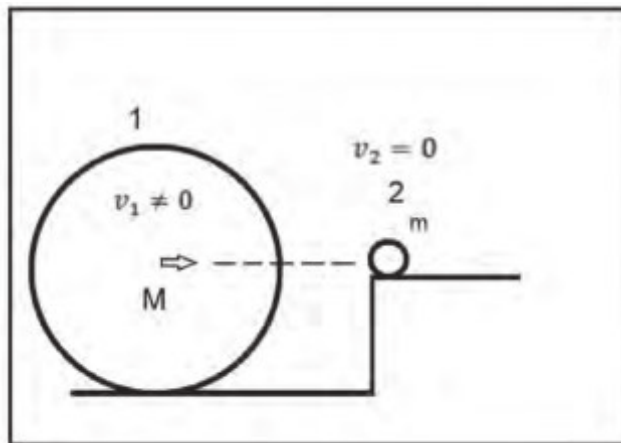
gdyż $m/M = 0$ oraz $v_1 = 0$.

Rozważmy teraz sytuację, gdy masywna kula 1 atakuje spoczywającą dużo lżejszą kulę 2. Zakładamy, że zderzenie jest centralne i sprężyste, a rachunek ułatwia fakt, że $v_2 = 0$.

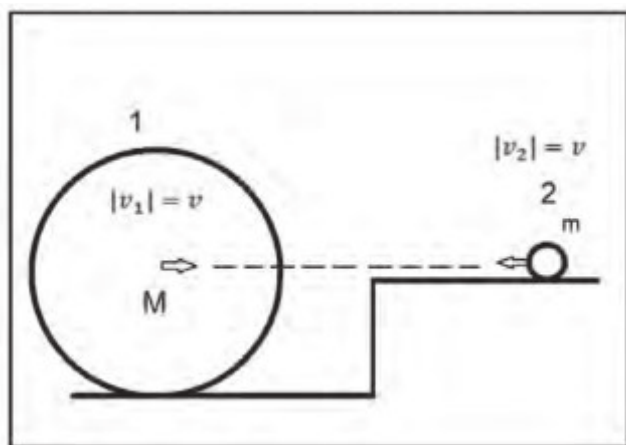
$$\begin{aligned} v_1' &= \frac{M-m}{M+m}v_1 = \frac{M(1-m/M)}{M(1+m/M)}v_1 = v_1 \\ v_2' &= \frac{2M}{M+m}v_1 = \frac{2M}{M(1+m/M)}v_1 = 2v_1 \end{aligned} \quad (4)$$



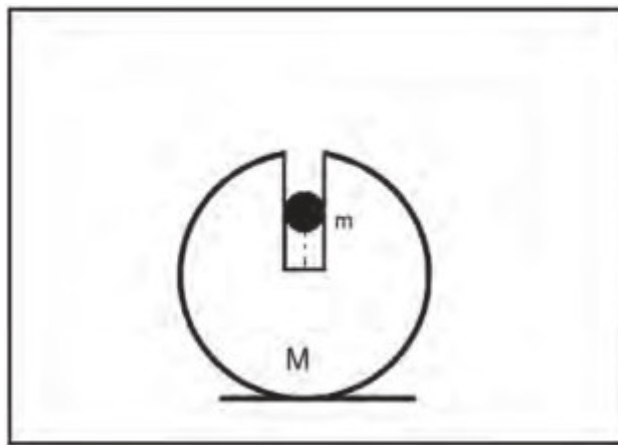
Rys. 1. Mała kulka atakuje centralnie spoczywającą kulę dużą.



Rys. 2. Kula duża atakuje centralnie spoczywającą kulę małą.



Rys. 3. Obie kule poruszają się z takimi samymi prędkościami przed zderzeniem centralnym.



Rys. 4. Przekrój „urządzenia mechanicznego”.

Wynik jest zastanawiający, bo oznacza, że spoczywająca mała kulka nabywa podwójnej prędkości z jaką poruszała się kula duża. Jednak nie stanowi to problemu „energetycznego” bo pęd i energia przed zderzeniem była ze względu na masę kuli dużej nieskończona i taka pozostała. W czasie zderzenia nastąpił transfer pędu i energii, od kuli dużej do malej, ale to nie zakłóca obu zasad.

Zastanówmy się teraz co wydarzy się, gdy obie kule „zaatakują się wzajemnie” z takimi samymi prędkościami różnymi od zera? W zaistniałej sytuacji $v_1 = v_2$ co do wartości bezwzględnej; Rys. 3, więc otrzymujemy:

$$\begin{aligned} v_1' &= \frac{M-m}{M+m}v + \frac{2m}{M+m}(-v) = \frac{M-3m}{M+m}v = v \\ v_2' &= \frac{2M}{M+m}v + \frac{m-M}{M+m}(-v) = \frac{3M-m}{M+m}v = 3v \end{aligned} \quad (4)$$

Oznacza to, że kulka 2 odbija się ze swoją prędkością powiększoną o dwukrotność prędkości kuli 1, czyli że prędkość kuli malej **potraja się!** Jej energia kinetyczna staje się dziewięciokrotnie większa niż przed zderzeniem. Kwestie zachowania energii i pędu są oczywiste, bo nawet takie większe „odpryski” energii i pędu nie mogą zachwiać faktu, że energia kuli dużej jest nieskończona.

Uzyskany wynik zastosujemy do następującego „urządzenia mechanicznego”. W dużej kuli zrobionej ze sprężystego materiału, np. stali, nawiercamy otwór, jak na Rys. 4, w którym umieszczamy małą sprężystą kulkę, ale w taki sposób, aby spoczywała nad dnem odwiertu.

Można to uzyskać instalując jakiś „opornik” przeszkadzający opaść kulce na dno przed doświadczeniem, ale pozwalający w momencie uderzenia o podłoże na ruch w dół a później do góry!

Przekrój „urządzenia mechanicznego” pokazuje Rys. 4. Konstrukcja pozwala, aby po odbiciu się kuli dużej, gdy

podróżując ona już do góry, mała kulka zaczęła poruszać się z taką samą prędkością w dół. Mamy zatem sytuację, że kulka mała nabywa trzykrotność prędkości z którą spadała. Zatem, gdy kula duża spada z wysokości h i tam powraca, kulka mała powinna wznieść się na wysokość $9h$!

Aby się o tym przekonać całość podnosimy na jakąś wysokość i upuszczamy na sprężyste podłoże. Obserwacja najprawdopodobniej potwierdzi, że mała kulka wznieść się dużo wyżej niż kula duża. Wygląda to na paradoks, bo generalnie jesteśmy przyzwyczajeni do faktu, że upadek z wysokości h pozwala, co najwyżej, na powrót na wysokość h . W przytoczonym przypadku wszystko jest zgodne z zasadami zachowania pędu oraz energii, co jeszcze „pogłębia” uczucie zdziwienia.

Znalezienie, nawiercenie i podniesienie kuli o masie np. 20 kg nie stanowi problemu, jednak znalezienie miejsca o odpowiednio sprężystym i masywnym podłożu może stanowić wyzwanie. Z tego powodu autor nie ma szans na doświadczalne sprawdzenie powyższych przewidywań. Gdyby ktoś zainteresował się pomysłem, to autor chętnie przyłączy się do dyskusji przy jego realizacji.

Jest jeszcze jeden aspekt wart zauważenia. Obliczenia zostały wykonane w oparciu o założenie, że $m/M = 0$, co jest oczywistą nieprawdą. W praktyce stosunek ten może wynosić 0,001, być może mniej. Oznacza to, że realna kulka nigdy nie dotrze na wysokość $9h$. Dotrze niżej, ale jeżeli dotrze na wysokość około 7-8 h , to potwierdzi słuszność naszych rozważań.

LITERATURA:

- [1] R. Resnick D. Halliday, Fizyka t. 1, PWN, W-wa 1973, ss 269-274
- [2] John R. Taylor, Mechanika klasyczna t. 1, Wyd. Naukowe PWN, W-wa 2006

Co w fizyce piszczy

Satelity zakłócają obserwację

Obecność satelitów Starlink na orbicie Ziemi już dziś wpływa na jakość obserwacji astronomicznych alarmując naukowców. Amerykańska firma SpaceX umieszcza na orbicie okołoziemskiej coraz więcej satelitów komunikacyjnych Starlink. Obecnie sieć ta składa się z 1800 satelitów, krążących na wysokości 550 km nad Ziemią, ale docelowa

liczba satelitów ma wynieść nawet 42 tysiące. Dodatkowo inne firmy też zaczęły tworzenie swoich własnych konstelacji, złożonych z bardzo wielu satelitów krążących na niskich orbitach. Na zdjęciach nocnego nieba wykonywanych przez teleskopy astronomiczne satelity wyglądają jak długie jasne smugi. Znacznie utrudnia to analizę danych, a czasami może ją wręcz uniemożliwić dla jakiegoś obiektu w danej

Stanisław Lem gościem na lekcjach fizyki

Bożena Brożyna, Ewa Trybalska

Stanisław Lem – niby wszyscy znają nazwisko popularnego na świecie polskiego pisarza-wizjonera, ale z wymienieniem kilku tytułów jego książek już nie zawsze jest tak dobrze. Solaris – jedna z najpopularniejszych książek Lema, filmowana wielokrotnie, jest lekturą uzupełniającą dla uczniów szkół średnich. W klasie 6 szkoły podstawowej zaproponowano jako lekturę jedną z pozycji w CYBERIADZIE. Wynika z tego, że w kanonie lektur praktycznie Stanisław Lem nie funkcjonuje, a prywatnie też rzadko sięga się po jego książki.

Chciałybyśmy zachęcić Państwa do omówienia na lekcjach fizyki przynajmniej jednej pozycji z bogatego dorobku Lema. Nasza propozycja nie dotyczy obszernego dzieła, ale krótkich form zamieszczonych w cyklu opowiadań „BAJKI ROBOTÓW”.

„Bajki robotów” zostały wydane po raz pierwszy w 1964 roku, a zachwycają świeżością i oryginalnością do dziś. Te krótkie opowiadania są osadzone w dziwnych



Foto – commons.wikimedia.org

miejscach i ciekawych światach. Zwykle w baśniach osiłą intrygi jest walka dobra ze złem i zawarty jest w nich jakiś morał, ale taki wątek proponujemy jedynie zasygnalizować, natomiast uwagę uczniów skupić na wiedzy z fizyki i chemii, którą autor wprowadził do swoich opowiadań. Cały cykl składa się z 15 opowieści, a każda z nich zawiera niewiarygodną wprost ilość odniesień do tych dziedzin nauki. Dla nas szczególnie ciekawym pod tym względem jest opowiadanie „Uranowe uszy”.

Przeprowadzenie lekcji fizyki z zastosowaniem tekstu „Uranowe uszy” może stanowić atrakcyjną formę powtórzenia treści dotyczących budowy atomu i elementów fizyki jądrowej. Można również zaproponować coś w rodzaju „luźnej lekcji” w chwilach dla uczniów i nauczycieli szczególnie trudnych np. tuż przed rozpoczęciem ferii.

Opowiadanie „Uranowe uszy” to tylko 8 stron i jest dostępne w Internecie. Uczniowie nie będą mieli problemów ani z dostępnością tekstu ani z jego przeczytaniem. Od nauczyciela będzie zależało, czy pozwoli uczniom korzystać z różnych źródeł informacji w trakcie rozwiązywania zadań. Decyzji nauczyciela pozostawiamy także sposób pracy klasy (indywidualny, grupowy). W trakcie rozwiązywania zadań uczniowie korzystają z kalkulatora i matematycznych tablic biologiczno-fizyko-chemicznych.

Proponujemy następujące zadania:

Zadanie 1. Dany jest nuklid Th-227. Podaj:

- liczbę atomową i masową,
- liczbę neutronów w jądrze,
- ładunek jądra atomowego tego nuklidu w jednostkach układu SI,
- liczbę elektronów na powłokach wokół jądra.



Zadanie 2. Przeczytaj fragment opowiadania: „Nie potrzebowali Palatynidzi żadnych lamp ani ogni nocą, bo wszystkie góry ich planety były radioaktywne, że o nowiu można było szpilki liczyć”.

Zakładając, że mieszkańcy tej planety mają zmysły podobne jak Ziemianie, z poniższych wartości długości fal elektromagnetycznych wybierz ten, o którym mowa w tekście:

- a) 380 – 750 km,
- b) 380 – 750 nm,
- c) 380 – 750 pm.

Zadanie 3. Przeczytaj fragment opowiadania: „Odtąd nie mogli już Palatynidzi gromadzić się dla wspólnej rady, bo jeśli zbiegowiska stawało się zbyt tłoczne, wybuchało” lub w innej części opowiadania „rzucił dukaty z dala od siebie, jeden na drugi aż zadrżało, z dukatów strzeliła jasność i obróciły się w kulę białego płomienia (...)”

Napisz, o jakiej wielkości jest mowa w tym fragmencie tekstu.

Zadanie 4. Przeczytaj fragment opowiadania: „Potem drugi raz jął rzucać Kosmogonik dukaty z wora, ale już inaczej, bo co dukat rzucił, to go z wierzchu przykrył płytką kadmową i choć powstał z tego stos sześć razy większy niż poprzednio, nie się nie stało”

Wyjaśnij, dlaczego zgromadzone monety uranowe przełożone krążkami kadmowymi nie wybuchły? Jaką funkcję w reaktorach atomowych stosowanych np. w elektrowniach, pełnią pręty kadmowe?

Zadanie 5. Podaj nazwy produktów następujących rozpadów:

- a) rozpadu α dla nuklidu U-238,
- b) rozpadu β^- dla nuklidu Po-218,
- c) rozpadu β^+ dla nuklidu F-18.

Zadanie 6. Jeden z naturalnych szeregów promieniotwórczych rozpoczyna się izotopem uranu 235. Jaki nuklid jest końcowym produktem w tym szeregu, jeśli zachodzi 7 rozpadów α i 4 β^- ?

Zadanie 7. Oblicz, ile rozpadów α i β^- zajdzie, aby jądro U-238 przekształciło się w jądro Th-230?

Zadanie 8. Oblicz okres półtrwania pewnego niestabilnego nuklidu, jeśli po 30000 latach pozostało z niego 1/8 początkowej masy.

Zadanie 9. Paliwo atomowe zawiera 10% radioizotopu o okresie półtrwania 4 miesiące. Oblicz masę radioizotopu jaki ulegnie rozpadowi po 2 latach w próbce paliwa o masie 1 kg.

Zadanie 10. Przeczytaj fragment opowiadania „(...) naraz światłość wybuchła straszliwa, bo stos uranowych dukatów w skarbcu królewskim nazbyt już urosł i wszczęła się w nim reakcja łańcuchowa”.

Wyjaśnij, na czym polega reakcja łańcuchowa.

Zadanie 11. Zapisz równania następujących przemian:

a) jądro berylu-9 bombardowano cząsteczką α na skutek czego powstaje cząstka będąca jednym ze składników jądra atomowego oraz trwały izotop węgla,

b) jądro atomu uranu-235 bombardowano neutronem na skutek czego powstają jądra atomowe kryptonu-89, baru-144 oraz trzy neutrony,

Zadanie 12. Napisz, która z reakcji podanych w zadaniu 11 jest przykładem reakcji łańcuchowej. Odpowiedź uzasadnij.

To są oczywiście przykłady zadań. Nauczyciel może również podać inne pytania lub też zmienić formułę zajęć. Chciałybyśmy zwrócić uwagę na to, że w tekście można się dopatrzeć i omówić wiele innych zjawisk (energia promieniowania – promienie czerwony, fioletowy, niewidzialny; gwiazdy – białe karły, pękające gwiazdy w spektakularny sposób; telegraf bez drutu i inne). Można zrobić konkurs polegający na tym, która grupa zauważy i opíše największą ilość opisanych zjawisk z chemii czy fizyki lub zada najwięcej pytań do wyczytanych w tekście praw.

Nauczyciel może to opowiadanie omówić na wiele sposobów: może np. zachęcić uczniów w ramach zadania dodatkowego do przeczytania utworu i zaprojektowania zadań związanych z treścią, inną możliwością jest przeprowadzenie szkolnego konkursu, zawierającego pytania wymyślone przez nauczycieli. Szkolny konkurs mógłby również dotyczyć pozostałych opowiadań Lema z tego cyklu. Wszystkie są bardzo krótkie, utrzymane w sferze baśni, a w każdym utworze wnikliwy czytelnik odszuka ogromną ilość odniesień do nauk ścisłych np. pałac tak obszerny i bez ścian, bo matematyczny czy też rycerz Kwarcowy bardzo bojący się myśleć, bo wówczas się ogrzewa.

Zachęcamy serdecznie do przeczytania „Bajek robotów” zarówno nauczycieli, jak i uczniów; tych, którzy interesują się naukami ścisłymi i tych, którzy wolą raczej przeczytać baśń jako zwykłą przygodę dziwnych stworów mieszkających w niezwykłych galaktykach.

Odpowiedzi do zadań

Zad. 1. a) 90 i 227, b) 137, c) $1.44 \cdot 10^{-17}$, C d) 90.

Zad. 2. b.

Zad. 3. *We fragmencie tekstu nawiązano do masy krytycznej.*

Zad. 4. *Kadm „wylapuje” neutrony, nie może więc dojść do reakcji łańcuchowej; pręty kadmowe pełnią funkcję identyczną jak w przypadku krążków.*

Zad. 5. a) α i Th-234, b) elektron i At-218, c) pozyton i tlen-18.

Zad. 6. Ołów-207.

Zad. 7. 2α i $2\beta^-$.

Zad. 8. Okres półtrwania wynosi 10000 lat.

Zad. 9. 98.4375g.

Zad. 10. *Kolejne, lawinowe aktywowanie nuklidów; w trakcie procesu musi się odtwarzać cząstka (cząstki) bombardująca nuklid.*

Zad. 11.

a) ${}^9\text{Be} + \alpha \rightarrow \text{n} + {}^{12}\text{C}$,

b) ${}^{235}\text{U} + \text{n} \rightarrow {}^{89}\text{Kr} + {}^{144}\text{Ba} + 3\text{n}$,

Zad. 12. b. *Ponieważ w trakcie procesu odtwarzają się neutrony, które mogą atakować kolejne jądra uranu.*

Bożena Brożyna
emerytowana nauczycielka fizyki
Ewa Trybalska
nauczycielka chemii VLO w Gliwicach

Kreatywność w fizyce

Anna Jurcyc

Fizyka jest dziedziną wiedzy wszechobecną i dynamicznie rozwijającą się. Dzisiejsze tempo życia i rozwijająca się technologia, stawiają przed nami nowe wyzwania. Dzisiaj musimy wyposażać młodego człowieka nie tylko w fachową wiedzę, ale także w umiejętność samodzielnego podejmowania decyzji, kreatywność, pewność siebie, pomysłowość, a także umiejętność pracy w zespole, organizowania sobie pracy i czasu wolnego.

Kreatywność - co o takiego? Wikipedia mówi: „postać twórcza, od łac. creatus czyli twórczy – proces umysłowy pociągający za sobą powstawanie nowych idei, koncepcji lub nowych skojarzeń, powiązań z istniejącymi już ideami i koncepcjami. Myślenie kreatywne to myślenie prowadzące do uzyskania oryginalnych i stosowanych rozwiązań oraz zdolność tworzenia czegoś nowego”.

Na lekcjach fizyki uczniowie rozwijają bardzo ważne dziś umiejętności takie jak: kreatywność, umiejętność współpracy, myślenie twórcze, komunikatywność. Uczą się podejmować samodzielnie decyzje, ponosić za nie odpowiedzialność. Rozwijają swoje pasje. Stosowane różnorodne aktywizujące metody i środki dydaktyczne ułatwiają zrozumienie zjawisk, kształtują twórcze myślenie i odpowiednie postawy. Samodzielnie wykonane eksperymenty fizyczne i wykonane przedmioty, pozwolą im lepiej zrozumieć otaczający świat.

Rozwiązywanie zadań typu STEAM w skuteczny sposób łączy kilka dziedzin nauki. Interdyscyplinarność metody pozwala dzieciom dostrzegać wzajemne powiązania pomiędzy zagadnieniami. Uczy je jak samodzielnie i krytycznie myśleć. Myślenie krytyczne obejmuje obiektywną analizę i ewaluację pomysłów oraz dostępnych możliwości.

Projekt – samochodzik. Zadaniem uczniów było zaprojektowanie i wykonanie swojego jeżdżącego pojazdu oraz wypełnienie karty pracy. Trzeba było wykonać pomiar czasu i długości trasy jaką pokonał skonstruowany pojazd oraz obliczyć prędkości i średnią prędkość. Uczniowie wykazali się swoją kreatywnością i wykorzystali umiejętności z dziedzin techniki, fizyki i matematyki.



Projekt – fizyka a święta Bożego Narodzenia. Uczniowie poszukiwali elementów łączących fizykę ze świętami. Mogli zaobserwować zjawiska opisać lub przeprowadzić i opisać doświadczenia.

Oto kilka elementów łączących fizykę ze świętami Bożego Narodzenia. Razem ze świętami spada śnieg. To świetna okazja do zabawy na śniegu. Jedną z najbardziej znanych

jest jazda na nartach. Gdy stoimy na nartach wywierają one mniejsze ciśnienie niż gdy normalnie stoimy na śniegu.

Gotowanie dań w szybkowarze, w którym woda wrze w temperaturze wyższej od temperatury wrzenia pod ciśnieniem atmosferycznym, co powoduje skrócenie czasu gotowania. Skrócenie to spowodowane jest wzrostem ciśnienia we wnętrzu szybkowaru.

Lampki choinkowe mogą być połączone szeregowo lub równolegle. Doświadczenie „Sztuczny Śnieg” z wykorzystaniem sody oczyszczonej i pianki do golenia.

Wyzwanie STEAM – „MOST BALONOWY”. Zadanie polegało na zbudowaniu mostu pomiędzy dwoma nadmuchiwanymi balonami, który musi utrzymać jak największy ciężar.



A. Materiały:

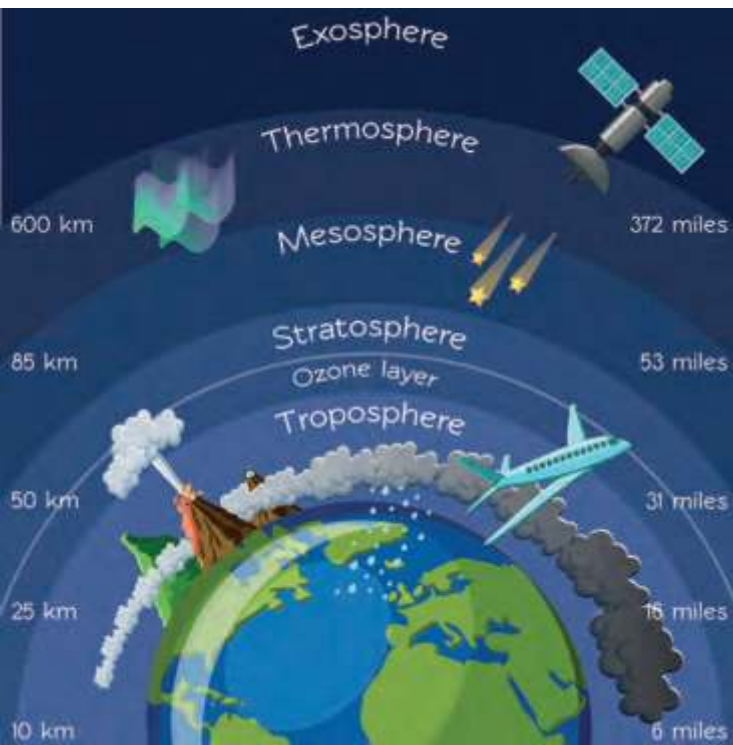
- 2 nadmuchiwane balony przyklejone do stołu w odległości 30 cm;
- 2 naklejki na list;
- 30 cm sznurka;
- 2 słomki do napojów;
- 2 ołówki;
- 2 karteczki samoprzylepne;
- 4 spinacze
- 2 gumki recepturki;
- 3 patyczki do uszów;
- 10 obciążników 50 g;
- kartka A4.

B. Przebieg wyzwania (10 minut):

- Przy użyciu Waszej wyobraźni zaprojektujcie i zbudujcie most pomiędzy dwoma nadmuchiwanymi balonami, który utrzyma ciężar.
- Most musi być zbudowany na wierzchołkach balonów i nie może być do nich przytwierdzony.
- Nie można przebijać balonów.
- W momencie zaczęcia układania obciążników nie można już zmieniać konstrukcji mostu.
- Most musi utrzymać dany ciężar przez przynajmniej 5 sekund.
- Żaden z uczniów nie może dotykać mostu ani balonów od momentu rozpoczęcia obciążania konstrukcji mostu.
- Wyzwanie zakończy się, jeżeli most lub obciążniki dotkną stołu lub balony pękną.

Most uczniów SP3 w Kłodzku utrzymał ciężar 4,5 N.

Anna Jurcyc
nauczyciel matematyki i fizyki SP 3 w Kłodzku.



Fizyka atmosfery

Atmosfera jest gazową powłoką otaczającą Ziemię, utrzymywana przez siłę grawitacji. Gęstość atmosfery i ciśnienie atmosferyczne osiągają maksimum przy powierzchni Ziemi. Wartości te maleją stopniowo wraz z odległością od Ziemi, aż w końcu stają się nieodróżnialne od gęstości i ciśnienia gazu międzyplanetarnego. Dlatego nie ma określonej granicy czy też „wierzchołka” atmosfery.

Andrzej Wasiak

W miarę oddalania się od powierzchni Ziemi można wyróżnić warstwy o wyraźnie odmiennych właściwościach, które są siedliskiem wielu różnorodnych zjawisk fizycznych i chemicznych. Jeśli chcemy łatwiej zrozumieć to, co się dzieje w atmosferze, powinniśmy na samym początku zatroszczyć się o ustalenie pewnego rodzaju klasyfikacji, która pomoże rozważyć oddzielnie wszystkie te zjawiska.

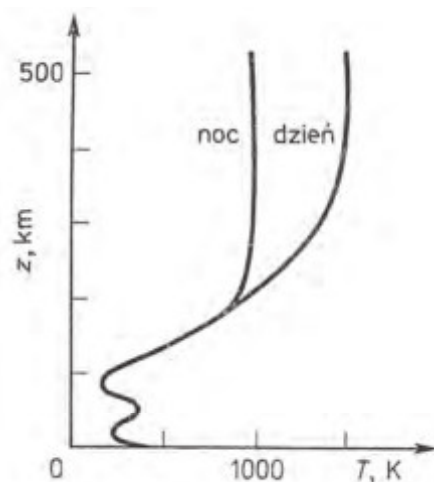
Z grubsza atmosferę można podzielić na dwie warstwy: homosferę i heterosferę. Homosfera (warstwa poniżej 100 km) ma stały skład wynikający ze zjawisk mieszania się powietrza wskutek dyfuzji i turbulencji. Heterosfera (powyżej 100 km) ma skład zmienny.

Na rys. 1 przedstawiono krzywą rozkładu temperatury w atmosferze ziemskiej w zależności od wysokości. Począwszy od poziomu gruntu do pewnej wysokości temperatura maleje w tempie 5–7 stopni na kilometr. Zależy to od miejsca i czasu, a nieraz mogą pojawić się cienkie warstwy, w których temperatura rośnie wraz z wysokością, są to tzw. inwersje.

Warstwa, którą rozważamy zwana jest troposferą i jest siedliskiem tych zjawisk pogody, które oddziałują na nas na powierzchni Ziemi. Jest to z powodów oczywistych najbardziej poznana warstwa atmosfery zawierająca 80% masy całej atmosfery. Jej górną granicę określa nagła zmiana temperatury, często objawiająca się załamaniem krzywej temperatury. Temperatura mniej lub więcej przestaje spadać i pozostaje stałą lub zaczyna nieznacznie wzrastać. Ta granica jest zwana tropopauzą, a jej wysokość, również w zależności od miejsca i czasu (wyżej nad równikiem niż nad biegunami) może wahać się od 7 do 17 km. Temperatura na poziomie tropopauzy w strefie umiarkowanych szerokości geograficznych wynosi od -55 do -50°C.

Następna warstwa wykazuje stopniowy wzrost temperatury, osiągającej 0°C na wysokości 50 km. Ta warstwa zwana jest stratosferą, a jej górną granicę, na której temperatura osiąga maksimum – stratopauzą. Dalej temperatura znowu spada w warstwie zwanej mezosferą, osiągając minimum -100°C, które wyznacza mezopauzę na wysokości około 85 km. Poczynając od tego miejsca temperatura wzrasta jednostajnie, a ta warstwa jest zwana termosferą. Temperatura, której tylko początek wzrostu wskazany jest na rys. 1, osiąga wysokie wartości, po czym pozostaje stała. Na wysokości 500 km może ona osiągnąć wartości od 400 do 2000°C, w zależności od pory dnia, aktywności Słońca i szerokości geograficznej. Jej dobowe wahanie osiąga 500–800°C, z minimum około wschodu Słońca, a maksimum około godziny 2 po południu.

Zauważamy, że z istnienia tak wysokiej temperatury w termosferze, nie wynika, iż obiekt przekraczający tę



Rys. 1. Rozkład temperatury w atmosferze, troposfera, stratosfera, mezosfera i termosfera

warstwę, jak np. satelita odczuje istotnie jej wpływ, ponieważ ciśnienie jest zbyt niskie (10^{-8} mbar na wysokości 500 km), aby mogła zajść znacząca wymiana ciepła, obiekt w rzeczywistości będzie się znajdował w wysokiej próżni, tak że temperaturę satelity określi wymiana promieniowania. Znaczenie temperatury w tej strefie najlepiej uzmysłowić sobie jako miarę średniej energii kinetycznej cząsteczek.

Fizyczne powody tego szczególnego rozkładu temperatur w atmosferze tkwią w pochłanianiu promieniowania. Na wyższych poziomach zachodzą reakcje jonizacji i dysocjacji, powodujące wysoką temperaturę w atmosferze. Maksimum w stratosferze związana jest z obecnością ozonu.

Jonosfera

Na dużych wysokościach krótkofalowe promieniowanie słoneczne wytwarza znaczne ilości zjonizowanych atomów i cząsteczek i odpowiednio do tego swobodnych elektronów. W wyniku tego wykształca się pewien rozkład koncentracji elektronów z charakterystycznymi obszarami zwiększonej koncentracji, które związane są z procesami fotochemicznymi i zależą od nich. Dlatego typowe rozkłady są różne dniem i nocą. Te warstwy, jeżeli rozpatrujemy je ze względu na własności elektryczne, zwane są jonosferą.

Jonosferę można dogodnie badać z powierzchni Ziemi za pomocą fal radiowych o zakresie 1–20 MHz (fale o długości 300–15 m). Stosowany przyrząd zwany jest jonosondą i w zasadzie składa się z nadajnika impulsów i odbiornika. Nadajnik wysyła krótkotrwałe impulsy o określonej częstotliwości pionowo do góry, jak schematycznie pokazano na rys. 2.

Gdy promieniowanie elektromagnetyczne przenika przez jonosferę, elektrony swobodne wpadają w drgania odpowiadające drganiom pola elektrycznego fali. Można wykazać, że gdy koncentracja elektronów będzie znaczna,

następuje zjawisko odbicia. Część sygnału odbitego dotrze z powrotem do jonosondy, która zarejestruje go, działając jako odbiornik. Cały ten proces odbywa się w czasie rzędu milisekundy. Oba sygnały, tzn. wysłany impuls i echo, można wyświetlić na ekranie lampy oscyloskopowej jako przesunięcie pionowe (maksimum) nad poziomą podstawą czasu, tak że pozwala to na wyznaczenie przesunięcia w czasie.

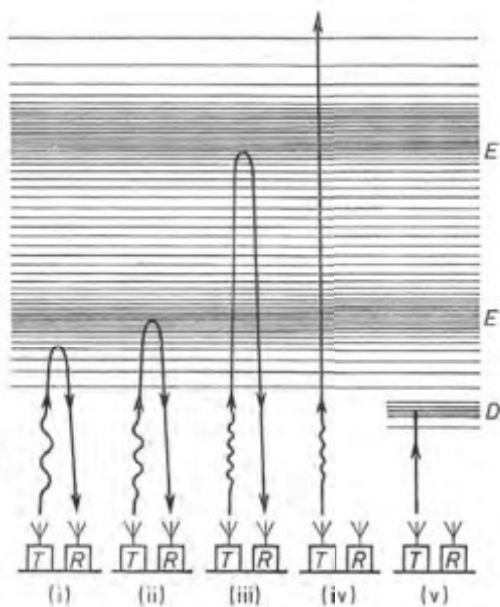
Jeżeli możemy modulować częstość impulsów, na osi poziomej przedstawiamy częstość, a oś pionową wyskalujemy tak, aby wysokość sygnału na ekranie dla każdej częstości była proporcjonalna do przesunięcia w czasie (tzn. wskazywała wysokość warstwy odbijającej), to utrwalony obraz takiego ekranu zwany jest jonogramem.

Dla badania jonosfery można stosować inne, mniej bezpośrednie pomiary z powierzchni Ziemi. W tym celu stosuje się satelity i rakiety badawcze do pomiaru koncentracji elektronów i określenia przeważających rodzajów jonów występujących w jonosferze, za pomocą zainstalowanych na nich spektrometrów jonów.

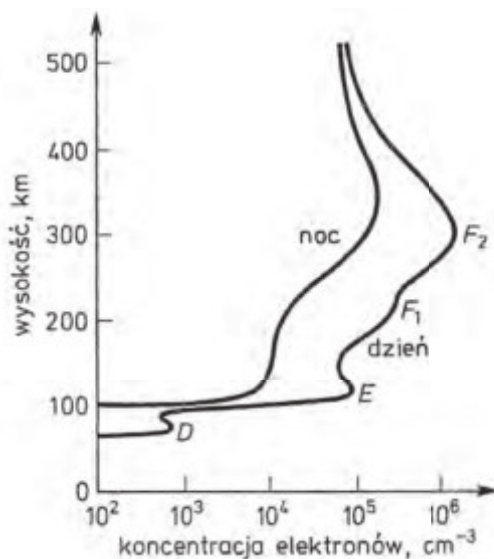
Na rys. 3 przedstawiono koncentrację elektronów w funkcji wysokości.

Warstwę D obserwuje się tylko w dzień, a warstwy F_1 i F_2 zlewają się w jedną (lub F_1 zanika w nocy).

W warstwie D, występującej na mniejszych wysokościach, koncentracja cząstek jest większa, a to powoduje, że pewne jej charakterystyki różnią się od charakterystyk warstw wyższych. Drgania elektronów wymuszone przez fale elektromagnetyczne powodują częste zderzenia z cząsteczkami. W wyniku tego energia przekazana elektronom przez fale może łatwo ulegać dyssypacji, tzn. zostać przekazana cząsteczkom. Zamiast odbijać, warstwa D pochłania fale w znacznym stopniu (ich energia zamienia się w ciepło). Ten fakt utrudnia badania tej warstwy i jest przyczyną słabego odbioru programów radiowych z odległych stacji nadawczych pracujących na falach długich, gdyż te fale odbijane są w wyższych warstwach i muszą



Rys. 2. Jonosonda. T – oznacza nadajnik, a R – odbiornik



Rys. 3. Koncentracja elektronów w funkcji wysokości. Typowe krzywe dla nocy i dnia, ukazujące istnienie różnych warstw jonosfery

przenikać przez warstwę D. To zjawisko wyraźnie zanika w nocy, wraz z zanikiem warstwy D.

Drugim skutkiem stosunkowo częstych zderzeń elektronów z cząstkami jest to, że wiele elektronów zostaje schwytyanych przez cząsteczki tworząc jony ujemne, przynajmniej w nocy.

Wspomnieliśmy uprzednio o określonych wahanach warunków w jonosferze. Odnosi się to do warunków normalnych lub „spokojnego Słońca”. Jednakże czasami warunki zostają zaburzone, mówimy wówczas o „niespokojnym Słońcu” lub „wzmóżonej aktywności Słońca”. Jest to związane z plamami i wybuchami (rozbłyskami) na Słońcu.

Rozbłyski te są to niezmiernie gorące masy gazów wyrzucone ze Słońca i opadające po łuku na jego powierzchnię. Te rozbłyski są źródłem bardzo intensywnego promieniowania ultrafioletowego i korpuskularnego, głównie elektronów i protonów. Promieniowanie elektromagnetyczne pierwsze osiąga atmosferę (po czasie 8 min 20 s), powodując nagle zaburzenia jonosfery. Są to krótkotrwałe anomalie, pojawiające się w oświetlonej Słońcem części atmosfery, będące wynikiem znacznego wzrostu koncentracji elektronów w dolnej jonosferze. Cząstki wyrzucone przez wybuchy mają bardzo duże energie, mogą dochodzić do warstwy D po czasie 20 minut po promieniowaniu nadfioletowym. Wzmóżona jonizacja spowodowana przez te cząstki powoduje zanik łączności radiowej na skutek towarzyszącego jej pochłaniania fal w tej warstwie.

Zorza polarna

Zorza polarna jest zjawiskiem świetlnym, obserwowanym jako jarzenie się górnych warstw atmosfery w nocy, w zimie, w strefie dużych szerokości geograficznych: Aurora borealis na półkuli północnej i Aurora australis na południowej. Większość zórz obserwuje się w pasie wokół biegunów magnetycznych Ziemi między 15 i 30 stopni od niego, najczęściej około 22,5 stopnia.

Bywa czasem, że zorzę polarną można obserwować również w Polsce. Ich wygląd jest bardzo urozmaicony. Istnieje międzynarodowa klasyfikacja zórz na podstawie ich morfologii. Została ona zilustrowana fotografiami w Międzynarodowym Atlasie Zórz Polarnych (wydanym dla Międzynarodowej Unii Geodezji i Geofizyki w Edynburgu przez University Press). Główny podział wyróżnia postacie: pasmowate, rozproszone, promienie i inne; dalsze cechy rozpoznawcze ustalono za pomocą nazw opisowych, takich jak: draperie, wieńce (korony), łuki spokojne, łuki pulsujące, pasma jednorodne, pulsujące plamy jednorodne itd.

Najczęściej zjawisko trwa przez około pół godziny, a maksymalna jego aktywność – kilka minut. Rozpoczyna się nagle i czasami wykonuje ruchy pozorne o dużych prędkościach.

Teoria zorzy polarnej nie została, jak dotąd, całkowicie opracowana. Wydaje się oczywiste, że zjawisko to wiąże się z zaburzonymi warunkami w górnej atmosferze. Świecenie jest wynikiem bombardowania, a następnie jonizacji cząsteczek gazów przez cząstki pędzące z góry. Zjonizowane cząstki powietrza, wychwytyując z powrotem elektrony i powracając do stanów energetycznych podstawowych emitują światło o określonej długości fali.



Rys. 4. Zorza polarna https://d-pt.ppstatic.pl/k/r/1/19/44/5c13904dc4880_p.jpg?1576233314

To bombardowanie zależy od różnorodnych zaburzeń na Słońcu, wytwarzających cząstki naładowane, które docierają do Ziemi, przenikają do jej atmosfery i w skomplikowany sposób współdziałają z ziemskim polem magnetycznym. Długość fali głównego pasma promieniowania, stwierdzonego w zorzy, wynosi 557,7 nm, co odpowiada zielonemu prążkowi widma tlenu atomowego i 630 nm, co odpowiada podwójnemu czerwonemu prążkowi tlenu. Jak można oczekiwać, stwierdzono wiele prążków widma azotu, lecz z wyjątkiem pasma czerwieni azotu, w okolicy 650 nm, są one znacznie słabsze niż wspomniane dwie linie tlenu. Świecenie wypadkowe ma zazwyczaj barwę jasnozieloną.

Pod dużymi szerokościami geograficznymi, w lecie, zorza bywa widziana w oświetlonej Słońcem części górnej atmosfery, po zachodzie i przed wschodem Słońca. Jest ona zwykle blado-fioletowa lub niebieskofioletowa i występuje bardzo wysoko.

Występuje również świecenie nieba w postaci słabej poświaty. Zjawisko to badano przeważnie w nocy, ale występuje ono również w dzień, o zmierzchu i o świcie. Chociaż nie jest to całkowicie wyjaśnione, wydaje się, że większa część energii emitowanej przez świecenie nocne pochodzi z promieniowania słonecznego, pochłoniętego w ciągu dnia. Następnie jest ona stopniowo wyzwalana w czasie reakcji chemicznych jako chemiluminescencja. W widmie świecenia nieba występuje zielony prążek i czerwony dublet wspomniany poprzednio. Przypuszczalne źródło tego promieniowania tkwi w emisji warstw zalegających na różnych wysokościach. Wyróżniono też fale o innych długościach, takie jak pochodzące od rodnika wodorotlenowego i atomów sodu.

Efekt cieplarniany

Długofalowe promieniowanie ziemskie, odprowadzające występującym na Ziemi temperaturom, obejmuje zakres od 4 mikrometrów do kilkudziesięciu mikrometrów i można je rozpatrywać niezależnie od krótkofalowego promieniowania słonecznego. Żeby poznać atmosferę, należy przede wszystkim zainteresować się zbadaniem jej właściwości absorpcyjnych w tym zakresie, aby później wnioskować, jakie skutki wynikają z tych własności. Jednakże łatwiej będzie najpierw rozważyć prostszy przypadek, a potem rozszerzyć naszą analizę na atmosferę.



Efekt cieplarniany

Weźmy pod uwagę wyznaczony przykład warunków w cieplarni. Przyjmujemy trzy założenia upraszczające:

- 1) nie ma strat ciepła z ziemi do powietrza (zobaczymy, że jest to zbyt daleko idące uproszczenie);
- 2) przepływ ciepła z warstw powierzchniowych w głąb ziemi jest zaniedbywalny;
- 3) dopływ promieniowania długofalowego z atmosfery do cieplarni jest zaniedbywalnie mały w porównaniu z dopływem promieniowania słonecznego.

Na chwilę założmy, że nie ma dachu nad ziemią. Warstwy powierzchniowe zaczną się rozgrzewać w wyniku pochłaniania promieniowania i będzie wzrastać ich zdolność emisyjna. Ta temperatura będzie rosła dopóty, dopóki energia emitowana nie zrównoważy dopływającej energii słonecznej, nastąpi wówczas równowaga radiacyjna.

A teraz założmy, że kilka metrów nad ziemią zainstalowano szklany dach. Warunki równowagi radiacyjnej zmieniają się drastycznie. Teraz szkło będzie przepuszczało promieniowanie (również część odbita nie zostanie zatrzymana) ale całkowicie zatrzyma promieniowanie długofalowe emitowane przez grunt i samo będzie emitowało energię ze swych dwóch powierzchni, w górę do atmosfery i również w dół, do ziemi. Teraz ziemia otrzymuje więcej energii niż przedtem i dlatego jej temperatura wzrośnie aż na nowo ustali się równowaga, przy której zarówno ziemia, jak i szkło będą emitowały tyle energii, ile pochłaniają. W rzeczywistości problem jest bardziej skomplikowany, ponieważ atmosfera nie jest, jak szkło, ciałem doskonale czarnym w zakresie promieniowania długofalowego.

Inne konsekwencje efektu cieplarnianego

Efekt cieplarniany należy koniecznie rozważyć również w pewnych bardzo ważnych dla praktyki sytuacjach. W nocy, kiedy nie dopływa promieniowanie słoneczne, a emisja w paśmie fal długich nie ustaje, podłoże schładza się o wiele stopni i w wyniku przewodnictwa spada też temperatura przyległych do niego warstw powietrza. To zazwyczaj, w rzeczywistości, powoduje powstanie inwersji temperatury przy gruncie. W pewnych porach roku to wychładzanie powoduje występowanie przymrozków, których skutkiem jest niszczenie niektórych upraw. Niebezpieczeństwo przymrozków maleje ze wzrostem wilgotności powietrza, w wyniku zwiększonej absorpcji niższych warstw atmosfery. Znacznie lepiej zabezpiecza przed przymrozkami obecność chmur, ponieważ chmury w zakresie fal długich są doskonale czarne i dlatego działają jak szklany dach nad cieplarnią. Im niższa jest podstawa chmur, tym wyższa jest jej temperatura i daje lepsze zabezpieczenie. Tak więc przymrozki będą najprawdopodobniej rozwijały się w nocy (przy tych samych warunkach początkowych) przy bezchmurnym niebie i suchym powietrzu, a najmniejsze prawdopodobieństwo ich powstania będzie przy chmurach o niskich podstawach i dużej wilgotności. W tym przypadku chmury i (nieco słabiej) para wodna będą działały jak pierzyna, przeciwdziałając dużym stratom energii promieniowania.

Tak rozumując, opracowano pewne metody zapobiegania przymrozkom polegające na osiąganiu takich samych skutków osłony przed stratami energii promieniowania poprzez sztuczne zabiegi; wytwarza się mgłę lub dym otulające ziemię. Stosuje się również sztuczną wentylację jako środek wzmagający wymianę ciepła w powietrzu, aby zapobiec tworzeniu się inwersji temperatury.

Jeszcze jednym przykładem efektu cieplarnianego mogą być możliwe konsekwencje wyraźnego wzrostu koncentracji jednej z substancji pochłaniającej promieniowanie w atmosferze - dwutlenku węgla. Potężny rozwój przemysłu spowodował wprowadzenie do atmosfery tego gazu w takich ilościach, że jego koncentracja rośnie 0,8 ppm/rok (koncentracja całkowita wynosi 330 ppm). Jeśli ta tendencja utrzyma się lub wzrośnie, to skutkiem może być wzrost temperatury za Ziemi prowadzący do wzmożonej działalności biologicznej, zmniejszenia się czap lodowych na biegunach i podnoszenie się poziomu wody w morzach i oceanach.

Andrzej Wasiak

LITERATURA

- [1] J. V. Iribarne, H.-R. Cho, Fizyka atmosfery, PWN, Warszawa 1988.
- [2] Roczniki „Wiedzy i Życia” z lat 2010–2020.

W następnym numerze

Apostoł światła

Albert Michelson urodził się w Strzelnie, w sercu regionu kujawsko-pomorskiego. W 1855 r. rodzina Michelsonów wyemigrowała do Ameryki i osiadła w Kalifornii. Mimo, że uznawany jest za amerykańskiego noblistę (i to pierwszego w zakresie nauki), to w ankietach personalnych podawał, że urodził się w Polsce, która w tamtym czasie znajdowała się pod zaborami. Michelson zasłynął ówczesnie najdokładniejszymi pomiarami wartości prędkości światła oraz eksperymentem Michelsona-Morleya, w którym w niezamierzony sposób wykazał, że prędkość światła jest uniwersalną stałą fizyczną.

Z referatu Tomasza Kardasia na Zjeździe Fizyków.

Kompendium astronomiczne

– wybrane pojęcia i zagadnienia – cz. 7

Marcin Wesołowski, Piotr Gronkowski

Foto – NASA

Ta sekwencja zdjęć pokazuje Słońce od jego powierzchni do górnej atmosfery, wszystkie zrobione mniej więcej w tym samym czasie (27 października 2017 r.). Pierwsza pokazuje powierzchnię Słońca w przefiltrowanym białym świetle; pozostałe siedem zdjęć wykonano w różnych długościach fali skrajnego ultrafioletu. Zauważ, że każda długość fali ujawnia nieco inne cechy. Pokazano je w kolejności temperatur od pierwszej temperatury 6000 stopni C do około 10 milionów stopni C w górnej atmosferze. Tak, zewnętrzna atmosfera Słońca jest dużo, dużo gorętsza niż powierzchnia. Naukowcy są coraz bliżej rozwiązania procesów generujących to zjawisko.

SDO/HMI Outlet-Lc SDO/AIA 304 2 SDO/AIA 171 2 SDO/AIA 193 SDO/AIA 211 O/AIA 335 SDO/AIA 94 O/AIA 131

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 siódmej części tego kompendium zostały przedstawione wybrane zagadnienia z astronomii w porządku alfabetycznym częściowo od litery R aż do litery S również częściowo.

Rozbłyski gamma (błyski gamma) – błyski promieniowania gamma, o krótkim czasie trwania (rzędu od ułamków do kilkudziesięciu sekund), o olbrzymiej całkowitej energii wykazujące izotropowy rozkład na sferze niebieskiej. Pochodzenie nie jest dokładnie poznane; istnieje kilka hipotez (np. parowanie pierwotnych czarnych dziur, zderzenia komet lub planetoid z gwiazdami neutronowymi, wybuchy bardzo dużych supernowych lub kolizje gwiazd). Dotychczas udało się ustalić, że źródłem powtarzalnych rozbłysków gamma mogą być magnetary. Najbardziej znanym przedstawicielem tej klasy źródeł błysków gamma jest SGR 1808 – 20 w gwiazdozbiore Strzelca. Źródłem

energii rozbłysków jest prawdopodobnie przetwarzanie energii magnetycznej gwiazdy w promienistą.

Równania pola grawitacyjnego (równania pola Einsteina) – przedstawiają one ilościowy związek pomiędzy rozkładem materii będącej źródłem pola grawitacyjnego a geometrią czasoprzestrzeni w ogólnej teorii względności. Pierwotnie miały one następującą postać (patrz: Ogólna teoria względności): Einstein zaraz po sformułowaniu ogólnej teorii względności sądził, że Wszech-

$$R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} R g_{\alpha\beta} = -8\pi \frac{G}{c^4} T_{\alpha\beta} \\ = -\kappa T_{\alpha\beta}, \quad (1)$$

świat jest statyczny, i nie przypuszczał, że ekspanduje. Ponieważ z powyższego równania pola grawitacyjnego nie wynika statyczny model Wszechświata, więc aby otrzymać model statyczny uzupełnił rów-

nanie pola tzw. członem kosmologicznym. Nowe równania przybrały formę:

$$R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} R g_{\alpha\beta} + \Lambda g_{\alpha\beta} = -8\pi \frac{G}{c^4} T_{\alpha\beta} \\ = -\kappa T_{\alpha\beta}, \quad (2)$$

gdzie Λ jest stałą kosmologiczną. Odkrycie promieniowania relikowego jest sprzeczne z modelem stacjonarnego Wszechświata. Analiza współczesnych danych obserwacyjnych prowadzi do wniosku, że stała kosmologiczna jest równa zero lub nieznacznie od niego się różni.

Równanie czasu (α) – różnica pomiędzy rektascensją Słońca średniego α_{SR} a rektascensją Słońca prawdziwego α_S . Zachodzą związki:

$$\Delta\alpha = \alpha_{SR} - \alpha_S = t_S - t_{SR} = T_S - T_{SR} \quad (3)$$

gdzie odpowiednie oznaczenia są takie jak przy definicji czasu słonecznego prawdziwego i średniego.

Równik niebieski – okrąg wzdłuż którego płaszczyzna równika niebieskiego przecina sferę niebieską. Równik niebieski dzieli sferę niebieską na dwie półkule – północną i południową.

Równika niebieskiego płaszczyzna – koło wielkie prostopadłe do osi świata. Jeśli przyjmujemy, że wymiary Ziemi są zanedbywalnie małe w stosunku do wymiarów sfery niebieskiej to wtedy płaszczyzna równika niebieskiego pokrywa się z płaszczyzną równika Ziemi.

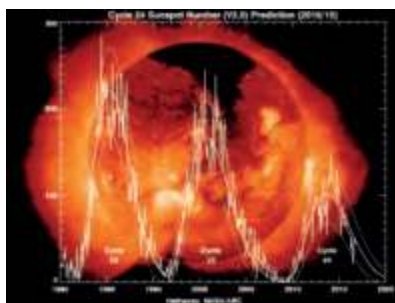
Sedna (2003 VB12) – obiekt planetoidalny lub planetopodobny odkryty w 2003 r. o średnicy 1800 km krążący wokół Słońca po bardzo wydłużonej elipsie z okresem około 10 500 lat znajdujący się aktualnie w okolicach peryhelium w odległości około 13 mld km od Słońca i Ziemi – najdalszy znany obiekt krążący wokół Słońca. Wymiary jej orbity nasuwają przypuszczenie, że prawdopodobnie nie jest to obiekt należący do pasa Kuipera, lecz pochodzący z obłoku Oorta.

Sfera niebieska (kula niebieska, sklepienie niebieskie) – fikcyjny twór geometryczny, kula o dowolnym promieniu (praktycznie przyjmuje się, że bardzo dużym), o której obserwator znajdujący się w jej środku, zakłada, że ciała niebieskie rozmieszczone są na jej powierzchni. Pojęcie to wprowadzone jeszcze w starożytności w celu uproszczenia rozważań dotyczących oceny położenia ciał niebieskich.

Stonieczna aktywność – zespół zmiennych zjawisk na Słońcu takich jak plamy słoneczne, pochodnie, protuberancje, sporadyczne promieniowanie radio-we, chwilowe wzrosty natężenia widma w części nadfioletowej i rentgenowskiej oraz zmiany natężenia wiatru słonecznego. Najbardziej znanym wskaźnikiem jest liczba Wolfa W określona wzorem:

$$W = 10g + f, \quad (4)$$

gdzie f oznacza ilość plam widocznych na tle tarczy słonecznej, g jest ilością grup plam. Aktywność słoneczna scharakteryzowana liczbą Wolfa wykazuje zmienność ze średnim okresem równym około 11 lat. Ze względu na pole magnetyczne plamy „prowadzącej” w grupie można mówić o cyklu 22 letnim – przy zmianie cyklu zmienia się jej biegunowość. Aktywność słoneczna może wywoływać lub mieć wpływ na przebieg szeregu zjawisk na Ziemi takich jak burze magnetyczne, burze jonosferyczne, zakłócenia w komunikacji radiowej, zorze polarne itp.



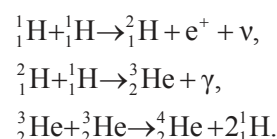
Rys. 1. Rozkład aktywności słonecznej w latach 1985-2020.

Słońce – gwiazda o obserwowalnych jasnościach wizualnej i absolutnej odpowiednio równych $-26^m.76$ i $+4^m.81$ typu widmowego G2V, centralne ciało Układu Słonecznego, skupiające 99.866% jego całej masy, główne źródło energii docierającej do Ziemi, najbliższa Ziemi gwiazda i jedyna, na której możemy bezpośrednio obserwować szczegóły powierzchniowe. Słońce jest olbrzymią kulą gazową o promieniu $R = 6.96 \cdot 10^6$ m i masie $M_s = 1.989 \cdot 10^{30}$ kg co sprawia, że średnia gęstość Słońca wynosi $\rho = 1.41 \cdot 10^3$ kg m^{-3} . Odległość Słońca od Ziemi zmienia się w granicach od $1.471 \cdot 10^{11}$ m w styczniu do $1.521 \cdot 10^{11}$ m w czerwcu; średnio wynosi $1.496 \cdot 10^{11}$ m. Temperatura efektywna widocznej powierzchni Słońca – fotosfery – wynosi około 5785 K. Całkowita moc promieniowania Słońca jest równa $L = 3.86 \cdot 10^{26}$ W.

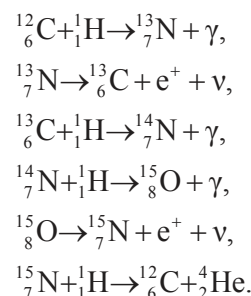
Słońce wiruje wokół swej osi przechodzącej przez środek jego masy, która jest nachylona do płaszczyzny ekliptyki pod kątem $82^\circ 45'$. Jest rzeczą charakterystyczną, że Słońce nie wiruje jak bryła sztywna materia słoneczna w pobliżu równika słonecznego wiruje z okresem około 25 dni a w pobliżu biegunów 31 dni. Głównym składnikiem Słońca jest wodór ($\approx 74\%$) i hel ($\approx 24\%$). Poza tym relatywnie najobficiej występują takie pierwiastki jak O, C, N, Mg, Si, Fe. W widmie słonecznym obserwowane są również pasma absorpcyjne niektórych prostych molekuł (H, NH, O₂, CN, CH, CO).

Energia nieustannie wypromieniowywana z powierzchni Słońca jest wytwarzana w reakcjach syntezy jądrowej zachodzących w jądrze Słońca, gdyż tylko tam materia słoneczna znajduje się w dostatecznie wysokiej temperaturze koniecznej, aby takie reakcje mogły mieć miejsce. Istota reakcji termojądrowych zachodzących w centralnych obszarach Słońca polega na przemianie czterech jąder wodoru – protonów w jedno jądro helu w cząstkę α . Cztery protony mają jednak nieco większą masę spoczynkową niż cząstka

α ; dlatego różnica tych mas m jest zamieniana na energię E zgodnie ze słynnym wzorem Einsteina $E = mc^2$; gdzie c oznacza prędkość światła. Różnicy m między masą spoczynkową czterech protonów i masą spoczynkową cząstki α odpowiada energia około 27 MeV. Proces jądrowy o takiej wydajności może podtrzymywać promieniowanie Słońca przez bardzo długi okres rzędu 10 mld lat. W warunkach panujących w centrum Słońca przy temperaturze rzędu $15 \cdot 10^6$ K przemiana wodoru w hel zachodzi w wyniku cyklu protonowego (pp) przebiegającego następująco:



Cykl ten jest efektywny w temperaturach rzędu kilkunastu milionów Kelwinów. Nie jest to jedyny sposób spalania się wodoru w hel. W temperaturach powyżej 18 mln Kelwinów bardziej efektywny staje się cykl węglowo-azotowy (CNO). Za to w gwiazdach, w których temperatury centralne są znacznie wyższe niż w jądrze Słońca może dominować cykl węglowo-azotowy przebiegający według schematu:



Warto zauważyć, że końcowy wynik obu cykli jest taki sam; cztery protony ulegają przemianie w jedno jądro helu. Dodatkowo powstają dwie cząstki β^+ , dwa neutrino i kwanty γ , które łącznie z powstającą cząstką α unoszą wydzielaną energię. Transport produkowanej energii odbywa się ku powierzchni gwiazdy albo przez promieniowanie, albo przez konwekcję. W pierwszym przypadku energia w formie kwantów promieniowania elektromagnetycznego kwantów γ przepływa w kierunku ku powierzchni Słońca ulegając rozproszeniu, absorpcji i powtórnej emisji już w innych – dłuższych długościach fali przez jony i elektrony w kolejnych coraz to wyższych warstwach Słońca. W przypadku konwekcji występują w gwieździe ruchy cieplne gazu – cieplejszy unoszony jest ku powierzchni, gdzie przekazuje ciepło warstwom chłodniejszym

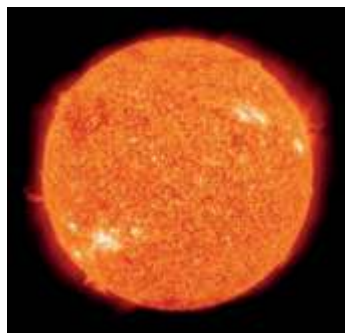


Foto. 1. Fotografia tarczy Słońca (Foto – NASA).



Foto. 2. Koronalny wyrzut materii słonecznej – protuberancja (Foto – NASA).

a oziębiony spływa z powrotem w dół ku obszarom cieplejszym, gdzie ponownie ulega ogrzaniu. Tak więc energia z głębszych warstw wraz z materią unoszona jest ku warstwom wyższym. W ten sposób promieniowanie dociera do warstw powierzchniowych – fotosfery Słońca skąd jest emitowane w przestrzeń kosmiczną. Najgłębsza widoczna warstwa atmosfery słonecznej to fotosfera. Widoczna jest ona w postaci żółtej tarczy. Z niej pochodzi prawie całe promieniowanie widzialne docierające do Ziemi. Fotosfera i przylegające do niej sąsiednie warstwy są w ciągłym ruchu turbulentnym.

Granulacja – ziarnistość – powierzchni Słońca stanowiąca układ komórek konwekcyjnych jest spowodowana wypływającym z wnętrza Słońca strumieniem ciepła. Po-

-szczególne komórki noszą nazwę granul i mają wymiary rzędu 100 km; ich przeciętny czas życia wynosi około 5 do 10 minut. Natężenie innych zjawisk obserwowanych w fotosferze takich jak plamy słoneczne czy pochodnie, którym towarzyszy występowanie lokalnie silnych pól magnetycznych rzędu 10^5 A/m jest zmienne i zależy od fazy cyklu aktywności słonecznej.

Plamy słoneczne – są to ciemne obszary o rozmiarach dochodzących do 10 000 km chłodniejsze od otaczającej je fotosfery o około 1000 K. Duże plamy słoneczne składają się z części centralnej – cienia i otaczającej ją części jasnej – półcienia.

Pochodnie są to z kolei jasne obszary na powierzchni Słońca w pobliżu plam słonecznych. Fotosfera jest relatywnie bardzo cienką warstwą, jej grubość jest szacowana na około 300 km. Ponad nią wznosi się warstwa atmosfery słonecznej zwana chromosferą. Jest to warstwa przejściowa o grubości rzędu 15 000 km (jej grubość nie jest stała) pomiędzy chłodną fotosferą a gorącą zjonizowaną koroną widoczna podczas całkowitych zaćmień Słońca jako czerwona postrzępiona otoczka zakrytej przez Księżyc tarczy słonecznej. Z dolnej warstwy chromosfery wyrzucane są ku górze bryzgi materii osiągające niekiedy wysokość rzędu 10 000 km licząc od podstawy chromosfery nadające jej charakterystyczny wygląd płożącego rżyska. Inaczej mówiąc na brzegu tarczy słonecznej chromosfera widoczna jest jako nierówny pasek, z którego wybiegają pojedyncze ząbki, bryzgi – spikule chromosferyczne. Ponad chromosferą obserwuje się często wyrzuty postrzępionych czerwonych obłoków materii słonecznej zwanych protuberancjami. Temperatura ośrodka w chromosferze wzrasta w stosunku do fotosfery do kilkuset tysięcy K na wysokości około 10 000 km.

Najbardziej zewnętrzną warstwą atmosfery słonecznej obserwowaną w czasie całkowitych zaćmień Słońca jest korona rozciągająca się daleko w przestrzeń

międzyplanetarną do odległości co najmniej kilku promieni Słońca. Kształt korony jest silnie zależny od cyklu aktywności słonecznej. W czasie maksimum długie pasma korony wybiegają od Słońca prawie izotropowo, podczas minimum aktywności smugi koronalne dominują tylko w okolicach równika słonecznego. Korona jest bardzo rozrzedzona, ale znacznie gorętsza niż chromosfera – jej temperatura może osiągać nawet $2 \cdot 10^6$ K. Fakt, że temperatura w chromosferze a później w koronie wzrasta w stosunku do temperatury fotosfery pozornie wydaje się paradoksalny; im warstwa jest bardziej zewnętrzna tym jest cieplejsza. Jednak chromosfera i korona czerpią swoją energię wewnętrzną z ruchów konwektywnych wewnątrz Słońca. Ruchy te rozprzestrzeniają się ku górze atmosfery w postaci fal akustycznych. W coraz rzadszym ośrodku amplituda fali rośnie i przekształca się ona w falę uderzeniową, która ogrzewa wyższe warstwy atmosfery słonecznej.

Korona słoneczna nie ma określonej granicy, lecz przechodzi w wiatr słoneczny – strumień materii w postaci elektronów, protonów i cząstek α . Widmo słoneczne jest widmem ciągłym, na tle, którego można zaobserwować absorpcyjne linie Fraunhofera. Zasadniczą rolę w powstawaniu widma ciągłego odgrywa tworzenie się w fotosferze ujemnych jonów H^- . W temperaturze warstw fotosferycznych (4500 – 6000 K) wodór stanowiący główny składnik materii słonecznej nie jest zjonizowany; natomiast jonizacji ulegają pierwiastki ciężkie o niższych potencjałach jonizacyjnych. Swobodne elektrony łącząc się z neutralnymi atomami wodoru tworzą jony H^- . Pod wpływem promieniowania jon H^- absorbując foton rozpada się na atom wodoru H i elektron. Energia pochłoniętego fotonu zużyta jest na przewycięzenie sił wiążących elektron z atomem wodoru oraz na energię kinetyczną neutralnego teraz atomu H i elektronu. Uwalniane tą drogą elektrony podczas zderzeń ze sobą, atomami i jonami ośrodka ustalają pewien rozkład prędkości zależny od temperatury ośrodka. Jeśli teraz elektron zostanie przyłączony ponownie przez atom H , następuje emisja fotonu. Jednak jego energia jest na ogół inna od energii pochłoniętego uprzednio fotonu. Spowodowane jest to tym, że rozkład energii fotonów emitowanych przy tworzeniu się jonów H^- jest określony przez ciągły rozkład energii swobodnych elektronów, zdeteminowany

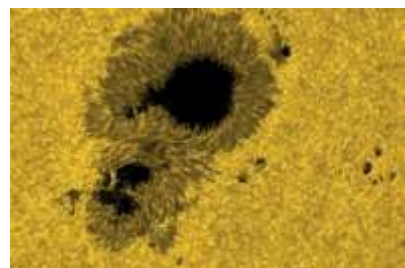


Foto. 3. Granulacja powierzchni Słońca oraz potężna plama słoneczna (Foto – NASA).



Foto. 4. Tarcza Słońca pokryta plamami (Foto – NASA).



Foto. 5. Potężny wyrzut materii słonecznej (eksplozja na słońcu) w dniu 31.08.2012 roku (Foto – NASA).

przez temperaturę ośrodka. W ten sposób tworzy się widmo ciągłe w fotosferze Słońca (gwiazdy).

Neutralne atomy wodoru, atomy i jony innych pierwiastków znajdujące się w fotosferze pochłaniają fotony o określonych energiach ulegając przy tym wzbudzeniu; następuje wówczas przeskok elektronu z niższego na wyższy poziom energetyczny. Energia pochłoniętego fotonu jest równa różnicy energii wyższego i niższego poziomu energetycznego elektronu, odpowiadających obu poziomom energetycznym. Absorpcji towarzyszy co prawda proces odwrrotny; wzbudzone atomy przy przeskokach elektronów z wyższych poziomów energetycznych na niższe emitują fotony o energiach charakterystycznych dla danego pierwiastka i stanu wzbudzenia. Jednak fotony te są promieniowane w dowolnych kierunkach na ogół różnych od pierwotnego – wyznaczonego przez fotony absorbowane. Ostatecznie z widma ciągłego usuwana jest pewna część fotonów o energiach równych energii wzbudzenia atomów i jonów. W ten sposób powstają linie absorpcyjne.

Słońce średnie – punkt matematyczny poruszający się po równiku niebieskim ze stałą prędkością kątową równą średniej prędkości kątowej ruchu Słońca rzeczywistego. Słońce średnie obiega równik niebieski w okresie roku zwrotnikowego ruchem jednostajnym a rektascensja Słońca średniego α_m jest równa jest jego średniej długości ekliptycznej λ_m .

Soczewkowanie grawitacyjne – przewidziane przez ogólną teorię względności Einsteina relatywistyczne zakrzywienie toru fotonów przelatujących w pobliżu masywnych mas, które prowadzi do odkształcenia oraz wzmocnienia jasności obrazów dalekich źródeł światła. Ma to miejsce, gdy pomiędzy źródłem światła a obserwatorem znajduje się ciało kosmiczne o wystarczająco dużym potencjale grawitacyjnym, pełniące rolę soczewki grawitacyjnej zakrzywiającej i skupiającej światło. Soczewkowanie grawitacyjne może powodować w ogólności następujące efekty: pojaśnienie, powiększenie, zniekształcenie, odwrócenie lub nawet wielokrotnienie obrazu źródła światła.

Soczewkowanie grawitacyjne jest niezwykle użytecznym narzędziem służącym do badania najważniejszych dzisiaj tajemnic kosmosu takich jak np. problem ciemnej materii czy też wyznaczania wszystkich najważniejszych parametrów kosmologicznych. Mikrosoczewkowanie grawitacyjne może służyć również do wykrywania planet. Polscy astronomowie w ramach projektu OGLE (The Optical Gravitational Lensing Experiment) prowadzonym pod kierunkiem prof. Andrzeja

Udalskiego wykorzystują w bardzo efektywny sposób pomysł słynnego polskiego astrofizyka prof. Bohdana Paczyńskiego zastosowania mikrosoczewkowania grawitacyjnego do odkrywania pozasłonecznych układów planetarnych.

Uwaga:

Pozostałe pojęcia będą sukcesywnie omawiane w kolejnych częściach tego kompendium.

dr Marcin Wesołowski^{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.

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/>

I. PRENUMERATĘ NA 2022 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. Warchałowskiego 2/58, 02-776 Warszawa

Cena prenumeraty w 2022 roku

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

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

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.

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 7d7d1d2cc9
48142710

Jasne, że taniej...



ROCZNIK 2021

50% taniej!

Szczegóły i formularz zamówienia na www.aspress.com.pl/roczniki/

48142710