

FIZYKA

w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

395 (LXV) indeks 35810X Nr 6 listopad/grudzień 2024 CENA 45,00 zł (w tym 8% VAT)

PAŹDZIERNIK 2024: kometa, superpełnia, pociąg kosmiczny

WYJĄTKOWE NOCNE NIEBO

PROMIENIOWANIE KOSMICZNE

Przyspieszać czy nie przyspieszać?

ROGER PENROSE

Oryginalny popularyzator nauki

PROBLEMY Z JEDNOSTKAMI

Istotna część wiedzy o świecie

DYDAKTYKA KOGNITYWISTYCZNA

Czego, a właściwie kogo mamy nauczać?

TARCZA SŁONECZNA I JEJ OKOLICE

Plamy, erupcje, zaćmienia

FOTOMETRIA

Nie tylko dla biofizyków!



- Eksperymenty ze splątaniem fotonami
- Nierówności Bella
- Kubity, teleportacja
- Bramki kwantowe
- Komputery i algorytmy kwantowe
- Kryptografia kwantowa
- Kropki kwantowe



Plik PDF

20 zł

(w tym 8% VAT)

**Nowe wydanie specjalne
– wersja cyfrowa – plik PDF**

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

eprasa.pl 0f43a0acab

Drodzy Czytelnicy!

Mamy zaszczyt przekazać Państwu już szósty – a więc ostatni w tym roku numer *Fizyki w Szkole*. Jest to już numer zimowy. Zima i koniec roku w naszej szerokości geograficznej wiążą się z problematyką światła. Z jednej strony jest to okres przygotowywania dekoracji świątecznych, które zazwyczaj zawierają w sobie przeróżne źródła światła, z drugiej strony jest to okres krótkich dni, a więc braku oświetlenia, co pociąga za sobą wiele konsekwencji natury ekonomicznej (wysokie rachunki za prąd) jak i medycznych.

Z punktu widzenia fizyki światło jest jednak zjawiskiem fizycznym, opisywanym wieloma parametrami, które podlegają pomiarowi. Badaniem takich zjawisk zajmuje się fotometria. Jest to niezwykle ważny dział fizyki. Tymczasem, jak zauważa Tomasz Kubiak w swoim artykule, „jest to dział optyki, który jest w zasadzie pomijany w dydaktyce szkolnej oraz akademickiej”. Naszym zdaniem warto zwiększyć u uczniów wiedzę dotyczącą fotometrii, dlatego też zdecydowaliśmy się umieścić artykuł w tym wydaniu.

Z drugiej strony brak światła i długa noc stwarzają sprzyjające warunki do prowadzenia obserwacji astronomicznych. Zapalonych astronomów, nie tylko amatorów, zapraszam do lektury artykułu Marcina Wesołowskiego – „Październik 2024 wyjątkowym czasem dla obserwatorów nocnego nieba”.

Skoro jesteśmy przy tematyce świetlnej nie powinniśmy zapomnieć o najważniejszym źródle ziemskiego światła – Słońcu. Właściwościom Słońca jako źródła światła jest poświęcony artykuł Marka Demiańskiego – „Nasze Słońce 2. Tarcza słoneczna i jej okolice”. Znajdą tam Państwo wiele ciekawych informacji o naszej gwiazdzie, od opisu jego widma poczynając a na charakterystyce jego pola magnetycznego kończąc. Mam nadzieję, że pozostałe artykuły, również te nie związane ze światłem, uznają Państwo za warte przeczytania.

A teraz najważniejsze. W imieniu całej redakcji życzę Państwu Wesołych Świąt i Szczęśliwego Nowego Roku.

Redaktor prowadzący

Zbigniew Wiśniewski

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

4 Fotometria nie tylko dla biofizyków ■ Tomasz Kubiak

Z punktu widzenia psychofizyki oraz biofizyki kluczowe wydaje się opisanie światła pod kątem efektu jaki wywołuje, stymulując narząd wzroku.

8 CREDO-Maze: promieniowanie kosmiczne – przyspieszać, albo nie przyspieszać, oto jest pytanie? ■ Tadeusz Wibig

Słońce, jak wiemy czasem jest bardziej aktywne, czasem mniej. Z grubsza zmienia się to dość regularnie w cyklu jedenastoletnim. Aktywność Słońca przejawia się intensywnością wiatru słonecznego.



14 Rozwiązania równań ogólnej teorii względności ■ Maciej Panczykowski

16 Żywoty fizyków – Antoine Cesar Becquerel (1788 – 1878), Alexandre-Edmond Becquerel (1820 – 1891) i Antoine Henri Becquerel (1852 – 1908) ■ Tadeusz Wibig

20 Roger Penrose, fizyk noblista – oryginalny popularyzator nauki ■ Edward Rydygier

Z naszych lekcji

25 Problemy z jednostkami ■ Jerzy Kuczyński

Jednym z takich „mało ciekawych” elementów fizyki są jednostki i ich przeliczanie.

28 Dydaktyka kognitywistyczna ■ Grzegorz Karwasz, Katarzyna Wyborska

Sedno rewolucji, zwanej kognitywistyczną – celem nauczania nie są treści, ale **nauczanie ucznia**.



34 Precyzyjna waga jubilerska jako waga magnetyczna? ■ Małgorzata Szymaszek, Stanisław Bednarek

36 Wykorzystanie funkcji fragmentarycznych do opisu ruchu na lekcjach fizyki ■ Jolanta Sokółowska, Andrzej Sokółowski

40 Powtórz, utrwal, poszerz wiedzę. Zadania z fizyki. Cz. 3. ■ Waldemar Reńda

Astronomia dla każdego

42 Nasze Słońce 2. Tarcza słoneczna i jej okolice ■ Marek Demiański

Kiedy patrzymy na środek tarczy słonecznej do naszego oka docierają fotony wyemitowane z głębokich, gorących warstw fotosfery.



46 Październik 2024 wyjątkowym czasem dla obserwatorów nocnego nieba ■ Marcin Wesołowski

FIZYKA
w Szkole z Astronomią

NUMER 6 LISTOPAD/GRUDZIEŃ 2024
395 (LXV) indeks 35810X ISSN 0426-3383

CENA 45,00 zł
(w tym 8% VAT)

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/, e-mail: szewczyk24@gmail.com, tel. 606 201 244 Reklama Jędrzej Chodakowski, jchodakowski1953@gmail.com Skład i łamanie ScanSystem.pl Ewa Szelażyńska 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.

Fotometria nie tylko dla biofizyków



Foto – Adobe Stock

Fotometria to dział optyki, który jest w zasadzie pomijany w dydaktyce szkolnej oraz akademickiej. W literaturze fachowej zazwyczaj rozróżnia się fotometrię energetyczną (obiektywną), nazywaną radiometrią oraz fotometrię wizualną, uwzględniającą subiektywne wrażenia obserwatora. Z punktu widzenia psychofizyki oraz biofizyki kluczowe wydaje się właśnie opisanie światła pod kątem efektu jaki wywołuje, stymulując narząd wzroku.

Tomasz Kubiak

Oko ludzkie funkcjonuje jako szczególnie detektor promieniowania elektromagnetycznego z zakresu widzialnego ($\lambda = 380\text{--}780\text{ nm}$). Receptory wzrokowe (pręciki oraz trzy rodzaje czopków) w zależności od typu posiadają odmienną czułość na różne barwy światła.¹ Dodatkowo należy pamiętać, iż obecne w gałce ocznej struktury odpowiedzialne za odbiór bodźców świetlnych oraz ich przekształcanie na sygnały elektryczne rozpoczynają jedynie proces widzenia.² Analiza impulsów nerwowych oraz interpretacja treści obrazów stanowi natomiast zadanie struktur mózgowych współdziałających z wyższymi obszarami korowymi.

Znajomość wielkości fizycznych charakteryzujących promieniowanie elektromagnetyczne w taki sposób, jak

postrzegane jest ono przez ludzkie oko, pozostaje raczej domeną specjalistów. Często spotkać możemy ich w miejscu nauki czy pracy, gdy posługując się luksomierzem, wykonują pomiary natężenia oświetlenia we wnętrzach pomieszczeń i oceniają zgodność zainstalowanej instalacji oświetleniowej z obowiązującymi normami oraz wytycznymi projektowymi. W praktyce podstawowa wiedza z zakresu fotometrii często okazuje się przydatna w życiu codziennym. Dlatego warto poświęcić chwilę na jej zgłębienie, w czym, mam nadzieję, pomoże ten artykuł.

Charakterystyka źródeł światła

We własnym domu każdy z nas stara się zapewnić sobie komfort oraz dobre samopoczucie poprzez odpowiedni dobór parametrów źródeł światła. Dawniej były to przede wszystkim tradycyjne żarówki żarnikowe³, później przez krótki czas, tzw. świetlówki kompaktowe CFL

¹ Pręciki są detektorami światła w widzeniu nocnym (skotopowym), nie pośredniczą w percepcji barw. Natomiast czopki pracują przy dobrym oświetleniu, czyli uczestniczą w widzeniu dziennym (fotopowym). Stan pośredni to widzenie zmierzchowe (mezopowe).

² Szersze informacje o procesie widzenia znaleźć można w artykule: T. Kubiak, *Fizyka u okulisty i optometrysty*, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 5 (2023), s. 4-13.

³ Tradycyjna żarówka ma postać bańki szklanej, która wypełniona jest mieszaniną gazów szlachetnych (istnieją też żarówki próżniowe). Pod wpływem przepływającego prądu elektrycznego umieszczone wewnątrz cienkie, zwinięte w spiralę włókno, czyli żarnik, wykonany z wolframu (metal ten posiada bardzo wysoką temperaturę topnienia $\approx 3420^\circ\text{C}$), rozgrzewa się oraz emituje światło. Niestety, tylko 2-5% energii dostarczonej do żarówki żarnikowej zamieniane jest w światło, reszta tracona jest głównie w postaci ciepła.

(ang. compact fluorescent lamp),⁴ zastąpione obecnie przez źródła LED (ang. light-emitting diode), które posiadają znacznie lepsze walory użytkowe.⁵

Aby właściwie wybrać żarówki LED odpowiednie do naszych potrzeb, powinniśmy zawsze przeanalizować informacje umieszczane przez producentów na opakowaniach. Uwagę należy zwrócić przede wszystkim na specjalne oznaczenia piktograficzne. Niestety, na pierwszy rzut oka część z nich może nie być zrozumiała dla przeciętnego konsumenta. Warto zatem spojrzeć na rys. 1, gdzie wyjaśnione zostało znaczenie najważniejszych symboli. Na jaki parametr kupujący najczęściej zwracają uwagę? Zazwyczaj jest to temperatura barwowa, wyrażana w kelwinach. Im wyższa jej wartość, tym emitowane światło wydaje się bielsze bądź nawet wpadające w kolor niebieski.

Większość z nas lubi przebywać i odpoczywać w pomieszczeniach oświetlonych światłem o barwie cieplej (2700-3300 K), które postrzegamy jako żółte a nawet lekko pomarańczowe. Czujemy się wówczas komfortowo. Zastosowanie światła o barwie neutralnej (3300-4500 K) okazuje się optymalne w miejscach, gdzie wymagana jest wyższa koncentracja.⁶ Z kolei światło o barwie chłodnej lub zimnej (4500-6500 K), wydaje się przybierać już odcień niebieskawy. Ułatwia pracę wymagającą dużej precyzji, ale często u osób postronnych powoduje również dyskomfort, przywołując na myśl oświetlenie w laboratoriach, gabinetach zabiegowych a nawet salach sekcyjnych. Należy jednak pamiętać, że odbierane wrażenia barwne zawsze pozostają w pewnej mierze subiektywne.⁷ Na fot. 1 przedstawiono 2-punktową lampę sufitową z zainstalowa-



Fot. 1. Dwupunktowa lampa sufitowa z zainstalowanymi (w celu porównania) żarówkami LED 5 W, emitującymi światło o odmiennych temperaturach barwowych: 4000 K (barwa neutralna) i 2700 K (barwa ciepła).

nymi dwoma żarówkami LED 5W, emitującymi światło o odmiennych temperaturach barwowych: 4000 K (barwa neutralna) i 2700 K (barwa ciepła). Choć różnica najlepiej widoczna jest, gdy patrzymy na te źródła gołym okiem, na zdjęciu również można ją z łatwością dostrzec.

Przy zakupie żarówek LED warto zwrócić uwagę, że jeden z piktogramów (CRI > 80 na rys. 1) dotyczy współczynnika oddawania barw (od ang. Colour Rendering Index). Wyraża się go liczbą z przedziału od 1 do 100, przy czym im wartość jest wyższa, tym kolory oświetlanych przez źródło przedmiotów są lepiej oddawane. Zatem dla wartości 100 barwne przedmioty wyglądałyby tak, jak oglądane w naturalnym świetle słonecznym.

Niektóre spośród symboli prezentowanych na żarówkach LED (patrz ponownie rys. 1) zawierają liczbę wraz

Tabela nr 1 Podstawowe wielkości fizyczne oraz jednostki stosowane w fotometrii.

Wielkość fizyczna	jednostka	wzór	informacja
Strumień świetlny Φ	lumen [lm]	$\Phi = I \cdot \Omega \left[\text{lm} = \text{cd} \cdot \text{sr} \right]$	Ilość energii przenoszona przez promieniowanie w jednostce czasu (moc światła oceniana na podstawie wywołanego wrażenia wzrokowego).
		$\Phi = I \cdot 4\pi \left[\text{lm} = \text{cd} \cdot \text{sr} \right]$	Dla kąta pełnego (dla sfery, czyli gdy źródło punktowe emituje równomiernie we wszystkich kierunkach).
Natężenie oświetlenia E	luks (lx)	$E = \frac{\Phi}{S} \left[\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lx} \right]$	Stosunek strumienia świetlnego Φ do pola powierzchni S (prostopadłej do kierunku tego strumienia).
Światłość I	kandela [cd]	$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \left[\frac{\text{lm}}{\text{sr}} = \text{cd} \right]$	Charakteryzuje wizualną jasność źródła światła. Stosunek strumienia świetlnego Φ wysyłanego przez źródło (w stożek o nieskończenie małym kącie rozwarcia Ω) do wartości kąta bryłowego Ω tego stożka.
Luminancja L	nit [nt]	$L = \frac{dI}{dS} \left[\frac{\text{cd}}{\text{m}^2} = \text{nt} \right]$	Określa światłość źródła przypadającą na jednostkę pola powierzchni świecącej.

⁴ Świetlówki kompaktowe stanowią rodzaj lampy fluorescencyjnej. Ich bańka w kształcie spirali albo podwójnej U-kształtnej rurki zawiera wymieszane z gazem szlachetnym pary rtęci. Pomiędzy umieszczonymi na obu końcach rurki wolframowymi elektrodami zachodzi wyładowanie elektryczne. Elektron-y z atomów Hg przenoszone są na wyższe poziomy energetyczne. Gdy powracają na niższy poziom emitowane jest promieniowanie ultrafioletowe ($\lambda \approx 254 \text{ nm}$). Wzbudza ono napylony na wewnętrzną powierzchnię bańki luminofor, który z kolei wysyła światło widzialne o określonej charakterystyce.

⁵ Żarówki wykonane w technologii LED bazują na umieszczonych w obudowie elementach półprzewodnikowych (np. z azotku galu GaN). Zawierają również radiator (odprowadza ciepło) oraz układ sterujący. Diody elektroluminescencyjne zamieniają energię elektryczną na promienistą w wyniku rekombinacji nośników ładunku w złączu p-n.

⁶ Niektóre źródła internetowe zwiększają zakres neutralnej barwy światła aż do 5300 K.

⁷ O receptorach wzrokowych i postrzeganiu barw przez człowieka przeczytać można w artykule: T. Kubiak, *Od biofizyki układu wzrokowego do złudzeń optycznych*, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 6 (2019), s. 4-10.



Rys. 1. Oznaczenia piktograficzne umieszczane na opakowaniach od źródeł światła LED.

z jednostką, np. 800 lumenów. Dlatego w tym miejscu warto przypomnieć wszystkim czytelnikom wielkości fizyczne stosowane w fotometrii oraz związane z nimi jednostki. Zamieszczono je w tabeli nr 1.

Osoby zaznajomione z układem SI kojarzą na pewno kandelę, czyli jedną z siedmiu jego podstawowych jednostek. W praktyce szkolnej a nawet akademickiej spotykamy się jednak z nią bardzo rzadko. Co ciekawe, zdarza się, iż uczniowie nie wiążą słowa „światłość” z wielkością fizyczną, a raczej przywołują je w kontekście symbolicznym, znanym z filozofii czy religii. Warto zatem edukować młode pokolenie w tej materii.

W życiu zdecydowanie częściej wykorzystujemy wspomniane już jednostki strumienia świetlnego, czyli lumeny. W prostym rozumieniu konsumenta im więcej lumenów, tym więcej światła daje żarówka, czyli pomieszczenie będzie lepiej oświetlone.⁸ Istotny jest także kąt świecenia (patrz ponownie piktogramy na rys. 1). Dla szerokiego kąta potrzebna jest bowiem nieco większa moc świetlna. Przy doborze żarówek można założyć, że na jeden metr kwadratowy powierzchni użytkowej powinno przypadać od 200 do 400 lumenów, przy czym wartość ta zależy od kształtu, wysokości pomieszczenia, koloru jego ścian oraz upodobań użytkowników.

Należy także pamiętać, iż w przypadku źródeł LED pobór mocy, podawany w watach na opakowaniu żarówki, przekłada się bezpośrednio na zużycie energii elektrycznej, czyli na wysokość rachunku, a nie na jakość oświetlenia. Zatem kupując żarówkę w technologii LED, musimy zwrócić uwagę, żeby przy danej mocy emitowała jak największy strumień świetlny (wyrażany, co już wiemy, w lumenach).⁹ W tym miejscu przydaje się kolejny parametr, czyli skuteczność świetlna η , określająca właśnie stosunek strumienia świetlnego Φ emitowanego przez źródło światła do pobieranej przez nie mocy P :

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right]$$

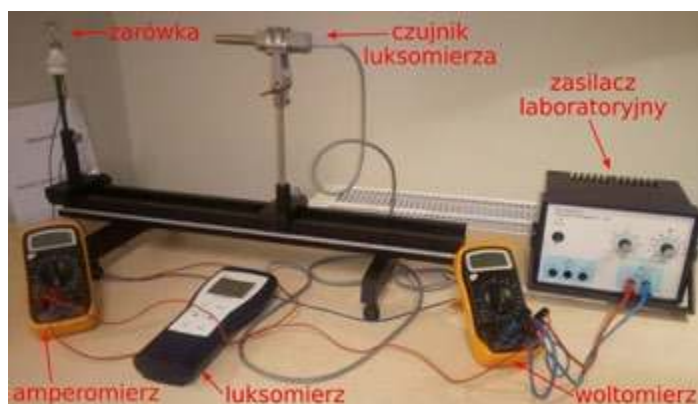
Tradycyjna żarówka żarnikowa o mocy 40 W emituje strumień świetlny około 415 lumenów, czyli jej skuteczność świetlna wynosi tylko około 10,4 [lm/W]. Diody LED cechuje natomiast zdecydowanie wyższa skuteczność świetlna 80-300 [lm/W], przy czym dokładna wartość zależna jest od producenta, a dokładniej od jakości źródła.

Eksperyment z fotometrii

Studenci pierwszego roku podczas zajęć w pracowni eksperymentu fizycznego lub w laboratorium biofizyki mają okazję w praktyce zetknąć się z pomiarami wielkości fizycznych związanych ze światłem widzialnym. Warto przedstawić wszystkim zainteresowanym jedno z prostszych doświadczeń, które w zasadzie można wykonać również w szkole średniej. Oprócz testowanej żarówki do jego realizacji wystarczy bowiem kilka przyrządów: luksumierz, ława optyczna, zasilacz laboratoryjny oraz dwa multimetry elektryczne (fot. 2). Potrzebne jest też oczywiście zaciemnione pomieszczenie.

W pierwszej kolejności należy zmontować układ elektryczny, pamiętając, aby amperomierz podłączyć szeregowo a woltomierz równolegle. Po ustawieniu odpowiednich zakresów wspomnianych mierników można przystąpić do właściwego eksperymentu. W pierwszej jego części z reguły wykonuje się pomiar natężenia oświetlenia E w funkcji odległości x . Położenie czujnika na ławie optycznej w stosunku do żarówki zmienia się zatem z określonym krokiem.

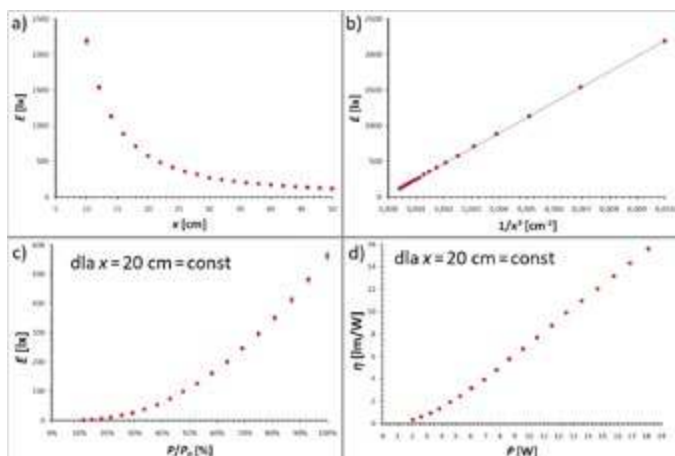
Rys. 2a) przedstawia przykładowy wykres E [lx] od x [cm] dla żarówki samochodowej o mocy 21 W (przy napięciu znamionowym 12V). Widać wyraźnie, że w mierzonym zakresie odległości (10-50 cm od źródła) badana zależność nie jest liniowa. Dlatego warto wykreślić przebieg zmian natężenia oświetlenia w funkcji odwrotności kwadratu odległości od źródła światła: $E = f(1/x^2)$. Jak



Fot. 2. Układ eksperymentalny do przeprowadzania prostych doświadczeń z fotometrii.

⁸ Do ustalania charakterystyki źródeł światła (np. pomiarów strumienia świetlnego czy temperatury barwowej) w laboratoriach używa się tzw. kuli Ulbrichta. Jej nazwa upamiętnia niemieckiego inżyniera Friedricha Richarda Ulbrichta (1849-1923), który przy projektowaniu oświetlenia stacji kolejowej w Dreźnie po raz pierwszy wykorzystał lumenomierz kulisty. Badane źródło światła umieszcza się wewnątrz pomalowanej na biało sfery kalkującej, a mierzone czujnikiem pomiarowym parametry porównuje ze wzorcem.

⁹ W zasadzie powinien nas interesować strumień świetlny z oprawy, a nie z wnętrza źródła.



Rys. 2. a) Wykresy otrzymane w rezultacie eksperymentów z halogenową żarówką samochodową (21 W, 12 V).

widać na rys. 2 b) po dodaniu linii trendu (przy zaznaczeniu opcji „liniowa”) otrzymamy bardzo dobre dopasowanie. Po wykonaniu tego doświadczenia i przeprowadzeniu analizy wyników młodzi adepci fizyki bez trudu dojdą do konkluzji, iż natężenie oświetlenia jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości ($E \sim 1/x^2$) między źródłem światła a oświetloną powierzchnią.

W drugiej części eksperymentu zazwyczaj wyznacza się sprawność świetlną żarówki, wykonując pomiary w zależności od pobieranej mocy. W takim przypadku czujnik lukso mierza umieszcza się w stałej odległości od źródła (np. 20 cm). Po wykonaniu pomiaru natężenia oświetlenia dla napięcia znamionowego (w naszym przypadku 12 V) w kolejnych krokach obniża się napięcie (np. każdorazowo o 0,5 V), rejestrując wskazania woltomierza, amperomierza oraz lukso mierza. Iloczyn napięcia U oraz natężenia I prądu elektrycznego przepływającego przez źródło pozwala obliczyć pobieraną moc ($P = U \cdot I$). Dzięki temu możliwe jest np. stworzenie wykresu zależności E od (P/P_0) , gdzie P_0 to moc przy napięciu znamionowym. Przykład ilustruje rys. 2c).

Wprawdzie halogenowa żarówka samochodowa nie stanowi punkowego źródła światła, ale na potrzeby prostego eksperymentu często dokonuje się takiego przybliżenia. Wspomniane postępowanie jest akceptowalne, gdy rozmiar źródła jest ponad 5 razy mniejszy niż jego odległość od detektora. Można wówczas oszacować skuteczność świetlną żarówki w funkcji pobieranej mocy: $\eta = f(P)$, co pokazuje wykres na rys. 2d). Warto wyjaśnić, że do obliczeń wykorzystano wzór:

$$\eta = \frac{\Phi}{P} = \frac{4\pi x^2 E}{U \cdot I}$$

Analiza wyników wskazuje, iż w przedstawionym eksperymencie skuteczność świetlna przy napięciu znamionowym wyniosła około 15,6 lm/W. Wg źródła¹⁰ żarówki halogenowe posiadają skuteczność świetlną około 12-26 lm/W, więc wynik, mimo zastosowania przybliżeń, wydaje się satysfakcjonujący.

Światło widzialne w zastosowaniach medycznych

Znajomość zagadnień związanych z fotometrią przyda się na pewno nie tylko inżynierom, ale również wszystkim osobom, które uczą się biofizyki a później pracują w zawodach medycznych. Mowa tu nie tylko o lekarzach, ale również fizjoterapeutach. Stali czytelnicy Fizyki w Szkole pamiętają zapewne, iż rozmaite czynniki fizyczne od wieków wykorzystuje się w celach leczniczych. Wywołują one bowiem pewne reakcje fizjologiczne, mogące pozytywnie oddziaływać na zdrowie człowieka. Już w starożytności stosowano np. helioterapię, bazującą na korzystnym wpływie bezpośredniej ekspozycji na światło słoneczne.

Współcześnie jedną z metod fizykoterapii jest tzw. światłolecznictwo. Używane są specjalne urządzenia, generujące promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu nadfioletu (200-380 nm), światła widzialnego (380-780 nm) oraz podczerwieni (780-15000 nm).¹¹ W kontekście niniejszego tekstu interesuje nas oczywiście światło widzialne, emitowane w gabinetach przez źródła sztuczne, czyli specjalne lampy. W zależności od ich typu natężenie oświetlenia w odległości 50 cm zawiera się w przedziale 2,5-10 tys. lx. Temperatura barwowa wynosi zazwyczaj 4000 K. Wskazaniem do zabiegu, trwającego zwykle od 0,5-2 h, jest m.in. konieczność zrównoważenia niedoborów światła w okresie jesienno-zimowym, tym samym polepszenie samopoczucia pacjenta i zmniejszenie u niego ryzyka depresji.

Czasami przeprowadza się również stymulację za pomocą barw. W tej tzw. chromoterapii (leczeniu kolorem) kluczowe są nakładane na lampę filtry barwne, pozwalające na wybór tylko określonych długości fali. Trzeba jednak pamiętać, że w tym przypadku ewentualny rezultat terapeutyczny wynika przede wszystkim z czynników psychologicznych (np. kolor niebieski pozwala uspokoić pacjenta, a czerwony go uaktywnić). Wiedza o biofizycznych podstawach oraz efektach tej formy terapii wciąż pozostaje jednak niepełna i wymaga dalszej weryfikacji naukowej.

dr Tomasz Kubiak

Akademia Nauk Stosowanych im. Hipolita Cegielskiego w Gnieźnie
oraz Wydział Fizyki UAM w Poznaniu

LITERATURA:

- [1] J. Schanda, The Concept of Colour Rendering Revisited, European Conference on Colour in Graphics, Imaging and Vision (CGIV), 2002, 37-41.
- [2] K. Linkowska-Świdzińska, T. Świdziński, Podstawy fotometrii i kolorimetrii [w:] Biofizyka, pod. red. F. Jaroszyka, PZWL Warszawa, 2008, s. 583-593.
- [3] Ł. Budziński, Kształtowanie parametrów fotometrycznych i kolorymetrycznych modułów oświetleniowych ze źródłami LED, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2021.
- [4] K. Rajecki, K. Zaremba, Oświetlenie w przemyśle w kontekście energooszczędności, Pomiary Automatyka Robotyka, 6, 2011, 45-51.
- [5] K. Łapsa, Wyznaczenie skuteczności świetlnej wybranych źródeł światła, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej, Poznań 2021.
- [6] Tablice fizyczno-astronomiczne pod red. W. Mizerskiego, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2005, s. 234-239.
- [7] P. Tabaka, Rzetelnie i rozważnie o zamiennikach klasycznych żarówek. Cz. I, Biuletyn Techniczno-Informacyjny Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich, 68(1), 2015, 12-20.
- [8] R. G. Calderhead, The photobiological basics behind light-emitting diode (LED) phototherapy, LASER THERAPY 16(2), 2007, 97-108.

¹⁰ E. Musiał, Przegląd elektrycznych źródeł światła. Główne właściwości i tendencje rozwojowe, Biul. SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 79, 2006, s. 3-66.

¹¹ Temat fototerapii podejmowany jest w artykule: T. Kubiak, *Od światłolecznictwa do elektroterapii, czyli podstawy wybranych metod fizykoterapii*, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 1 (2022), s. 4-11.

CREDO-Maze: promieniowanie kosmiczne – przyspieszać, albo nie przyspieszać, oto jest pytanie?

Tadeusz Wibig

Zanim odpowiemy na tytułowe pytanie, powiedzmy wyraźnie, że cząstki promieniowania kosmicznego docierają do granic ziemskiej atmosfery z różnymi prędkościami. Mają różne energie. Po Układzie Słonecznym blakają się pozostałości słonecznych protuberancji i Koronalnych Wyrzutów Materii. Tory tych cząstek zakrzywiają się w skomplikowanych międzyplanetarnych polach magnetycznych. Wydmuchuje je z Układu słoneczny wiatr. Fizyka tych zjawisk jest bardzo skomplikowana i nie znamy jej nawet do końca, ale tak czy inaczej jest to fizyka Układu Słonecznego, a nas jednak interesuje przede wszystkim to, co dzieje się dalej.

Określenie dolnej granicy energii (prędkości) tych cząstek jest zasadniczo pozbawione sensu, bo są wśród nich także i tak powolne, że jeśli nawet przebijają się przez ochronę, jaką stanowi pole magnetyczne Ziemi i zatrzymują się na pierwszej lepszej przeszkodzie tracąc całą swoją energię zderzając się z czymkolwiek. Ile ich jest i gdzie się tak zatrzymują, to oczywiście ciekawe, a nawet bardzo ciekawe, ale nie jest to zasadniczy punkt naszych zainteresowań. a my chcielibyśmy mówić o kosmosie w większej skali.

Słońce, jak wiemy (*Fizyka w Szkole*, 68/2,11, 2023) czasem jest bardziej aktywne, czasem mniej. Z grubsza zmienia się dość regularnie w cyklu jedenastoletnim. Aktywność Słońca przejawia się intensywnością wspomnianego już wiatru słonecznego. Gdy Słońce jest spokojne i wiatr ten wieje słabiej, ale wieje ciągle i wydmuchuje z przestrzeni Układu Słonecznego galaktyczne cząstki promieniowania kosmicznego o energiach mniejszych niż kilkaset MeV. Z pewnego, jądrowego punktu widzenia, to dużo. Jeśli porównać to na przykład z energią wiąza-

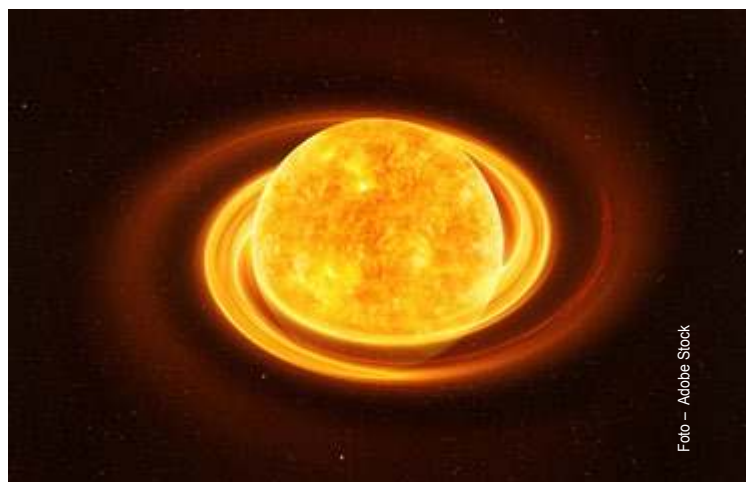
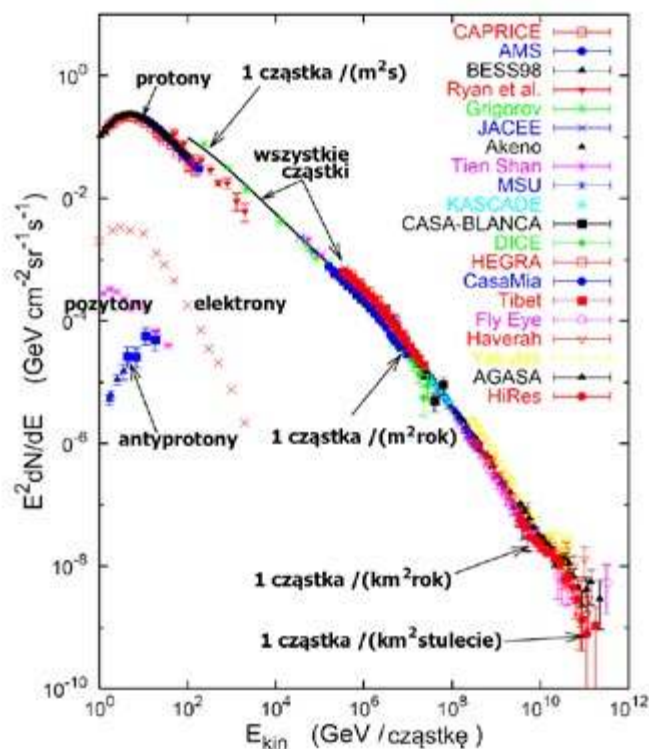


Foto – Adobe Stock

nia nukleonów w jądrach atomowych (bomby atomowe!) wynoszącą mniej niż 10 MeV. Energie uwalniane w reakcjach syntezy termojądrowej bywają z rzadka niewiele większe ($^2\text{H} + ^3\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + n + 17,6 \text{ MeV}$).

W laboratoriach fizyki jądrowej bada się rozmaite reakcje rozpadu nietrwałych pierwiastków, czy to żyjących tysiące i miliony lat znajdujących w skałach skorupy ziemskiej,



Rysunek 1: Widmo energetyczne promieniowania kosmicznego zmierzone przez różne eksperymenty. Można z niego odczytać, jak często dochodzą do Ziemi cząstki o określonych energiach.

Artykuł ten jest siódmym z serii poświęconej projektowi „Kosmos widziany z Łodzi” będącym realizacją szerokiej akcji udostępniania młodzieży nowoczesnej aparatury naukowej mającej w końcowym efekcie pokazać, a może i nauczyć młodych, ciekawych świata ludzi metod, jakimi posługuje się współczesna nauka w poszukiwaniu praw rządzących Wszechświatem. Dostarczane szkołom zestawy pomiarowe stają się istotnym rozwinięciem projektu CREDO (Cosmic Ray Extremely Distributed Observatory) i wszyscy, którzy przyłączą się do nas, staną się uczestnikami niezwyklej podróży w nieznanne zakamarki Kosmosu.

czy żyjących milionowe części sekundy pierwiastki wytwarzane sztucznie tylko w tych laboratoriach. W wyniku rozpadów emitowane są cząstki α , β i γ , czyli jądra helu, elektrony (i pozytony) i wysokoenergetyczne fotony. Wszystkie one unoszą energie sięgające najwyżej kilku MeV.

Krzyk rodzenia się atomów, czyli supernowe

Jedna z pierwszych hipotez o pochodzeniu promieniowania kosmicznego autorstwa Millikana znanego z pomiaru ładunku elektronu (Nobel w 1923) nazywała je krzykiem towarzyszącym rodzeniu się atomów we wnętrzach odległych gwiazd (*birth cries of new atoms*) i identyfikowała je z jądrowym promieniowaniem γ [1]. Hipoteza ta dość szybko upadła. Okazało się, że promieniowanie kosmiczne odchyła się w polu magnetycznym Ziemi, a więc tworzą je cząstki naładowane. No i energie w rozpadach nietrwałych pierwiastków były zdecydowanie zbyt małe. Trzeba było wymyślić coś bardziej oryginalnego.

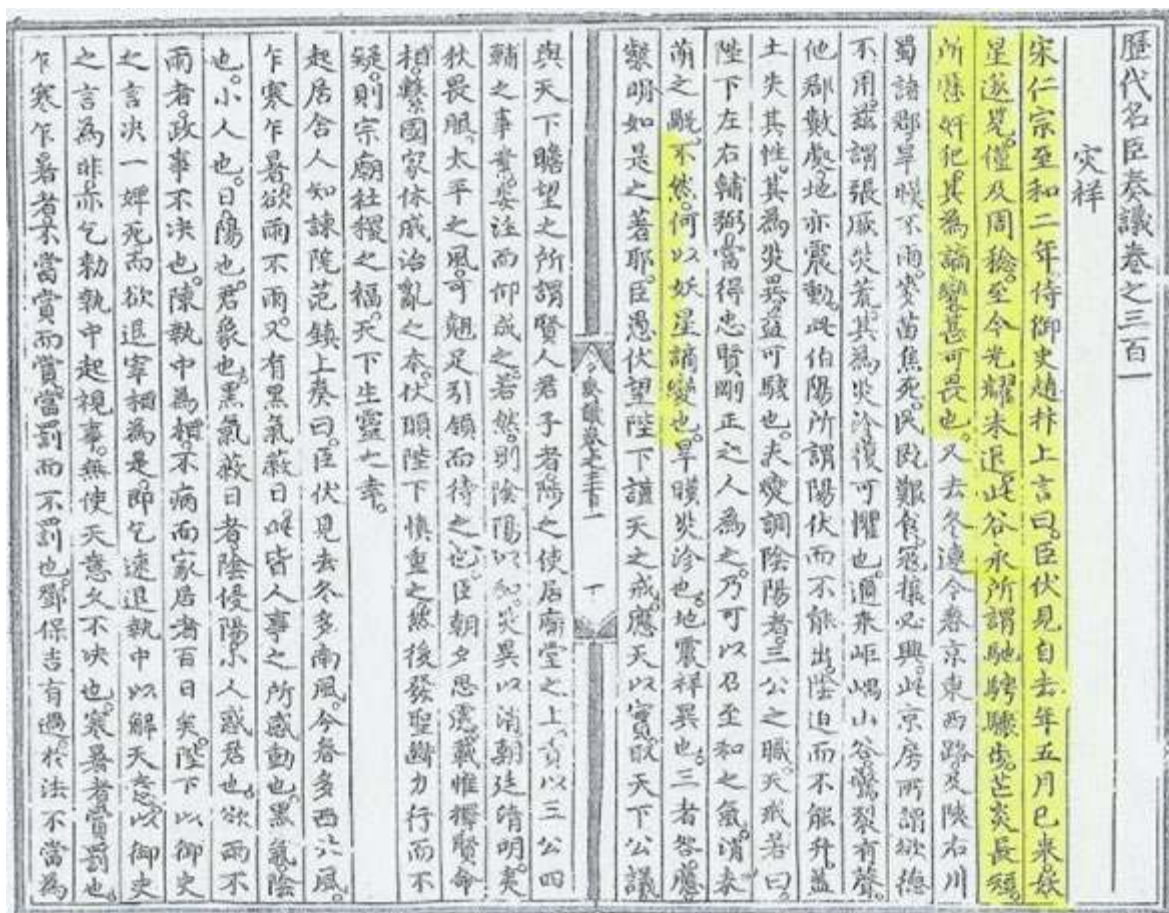
I tak się też stało. Akurat w tym czasie, na początku lat trzydziestych panowie Wilhelm Heinrich Walter Baade i Fritz Zwicky odkryli gwiazdy *supernowe* [2]. Słowo „odkryli” nie jest tu może właściwe. Może lepiej byłoby powiedzieć „wymyślili”, a może właściwie tylko nazwali tak pewien szczególnie rodzaj obiektów astronomicznych, nie byli bowiem wcale pierwszymi.

Już w drugim wieku naszej ery Chińczycy zauważyli pojawienie się na niebie widocznej nawet w dzień no-

wej gwiazdy. Co ważniejsze, napisali o tym w *Kronikach dynastii Han* (漢書). Dokładne informacje o położeniu „gwiazdy gościa” pozwoliły odnaleźć dziś i zbadać dokładnie rozszerzającą się ciągle mgławicę pozostałą po tej kosmicznej eksplozji. Nazywa się ona RWC185. Całkiem niedawno pokazano światu jej zdjęcie.

Ale i to może nie jest najstarsza wzmianka o wybuchającej gwiazdzie. Naukowcy z Indii odkryli w Kaszmirze petroglif, który wydaje się przedstawiać *supernową* i otaczające ją gwiazdy [3]. Sądzą oni, że rysunek ten pochodzi z 3600 r. p.n.e. Na pozór jest to zwykła scena polowania. Łucznik celuje w jelenia, który został już być może trafiony dzidą przez jego kolegę. Ale zupełnie wyraźnie widać na niebie dwa słońca. Twierdzenie, że jest to najstarszy znaleziony obrazek *supernowej* nie jest tak absolutnie pewne, ale do pewnego stopnia uzasadnione. Poza *supernową* z roku 185 chińscy kronikarze odnotowali też pojawienie się „gwiazd gości” na niebie w roku 386 w gwiazdozbiornie Strzelca, w 393 w Skorpionie. Warto jeszcze wspomnieć o *supernowej* z roku 1054, jaka wybuchła w gwiazdozbiornie Byka. Pozostałością po niej jest słynna *mgławica Krab* z kręcącym się w środku pulsarem.

Pierwszy dość szczegółowy opis *supernowej* w kręgu śródziemnomorskim, poczynił w komentarzach do dzieła Ptolemeusza *Tetrabiblos* egipski (arabski) medyk, astrolog i astronom Abu'l Hassan Ali ibn Radwan Al-Misri. Dotyczył on obiektu świecącego osiem razy jaśniej niż



Rysunek 2: Fragment „Kronik dynastii Han” z opisem supernowej z roku 185.



Rysunek 3: Obraz RWC185 poskładany z wyników obserwacji kosmicznych teleskopów rentgenowskich: Chandra, XMM-Newton i podczerwonych: Spitzer i WISE.

Wenus i dobrze widocznego za dnia, jaki pojawił się na niebie w roku 1006. Widzieli go i Chńczycy, i Japończycy, i Persowie i Egipcjanie, a może nawet i Indianie w Ameryce Północnej, co podejrzewają amerykańscy badacze rysunków naskalnych. Była to najpewniej najjaśniejsza supernowa kiedykolwiek widziana przez człowieka.

Dwie inne supernowe wpłynęły znacząco na rozwój nauki i astronomii pojawiły się w końcu wieku XVI i na początku XVII. Były to supernowe znane jako supernowa Tychona de Brahe i supernowa Johanna Keplera. Ciekawe, ale od tego czasu w naszej Galaktyce nie wybuchła już żadna supernowa, którą moglibyśmy zobaczyć. Może to i dobrze.

Tychon opisał swoją supernową w dziele *Stella Nova* miał na myśli oczywiście gwiazdę, której dotąd nie było, a potem zajaśniała niezwykle. Dziś nazwą *gwiazda nowa* nazywamy jednak zasadniczo inne obiekty różniące się od supernowej Tychona przede wszystkim skalą, a w szczególności fizyką i mechanizmami swego gwałtownego rozbłysku. Nowe niespodziewanie jaśnieją w ciągu kilku dni nawet o dziesięć wielkości gwiazdowych (wzrost jasności o 10 000 razy!). Wydaje się, że to dużo, ale supernowe nagle stają się jaśniejsze od całych galaktyk, w których się znajdują (czyli wzrost o jakieś 5000000000 razy!). Ich jasność rośnie o jakieś 20 wielkości gwiazdowych. Pro-



Rysunek 4: Głaz z Burzaham pokazujący (?) supernową z przed 5000 lat. Źródło: Indira Gandhi National Centre For Arts

cesy, które prowadzą do tak ekstremalnych eksplozji muszą być zasadniczo inne, niż to ma miejsce w przypadku zwykłych *gwiazd nowych*. W ich wybuchach wydzielą się energia 10^{44} dżuli. To tyle, ile wyświeciłoby nasze Słońce przez 10 miliardów lat (gdyby tyle świeciło).

Ale wróćmy do Baade'a i Zwicky'ego. Oszacowali oni, że wybuchająca supernowa odrzuca swoje zewnętrzne warstwy z prędkościami niemal relatywistycznymi. Zupełnie spokojnie może nadawać cząstkom materii energię kinetyczną odpowiadającą nawet 10% ich masy spoczynkowej (mc^2). To dla protonów jakieś 100 MeV.

Zwicky i Baader zsumowali energię wyzwalaną w wybuchach supernowych uwzględniając to, jak często się one zdarzają średnio w jednostce objętości i wyszło im, że bilans energii się zgadza. Wystarczy jej dla zapewnienia obserwowanego strumienia promieniowania kosmicznego ($0.003 \text{ erg/cm}^2/\text{sec}$).

Wiatry, obłoki i chaos w kosmosie

Oczywiście wiedza na temat, co i ile cząstek przychodzi do nas z kosmosu, jaką w 1934 roku posiadali Zwicky i Baade była znacznie skromniejsza niż nasza dziś. Nie mieli oni pojęcia o przedstawionym na Rys.1 widmie energetycznym promieniowania kosmicznego, ale stworzona przez nich teoria, że to właśnie supernowe są odpowiedzialne za produkcję promieniowania kosmicznego do pewnego stopnia obowiązuje do dziś. Jest tylko trochę inna. Właściwie to zupełnie inna.

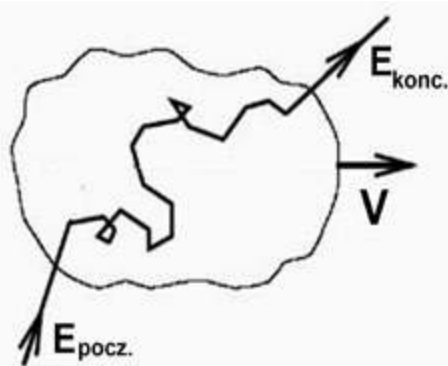
W końcu lat 40 kolejny genialny umysł Enrico Fermi zasugerował, że promieniowanie kosmiczne uzyskuje swoją energię nie w jakiś konkretnych źródłach, ale w czasie całej swojej podróży przez przestrzeń międzygwiezdną [4].

Przestrzeń ta nie jest wcale tak bardzo pusta, jak mogłoby się wydawać. Zwykle gwiazdy, nie mówiąc o *nowych* i *supernowych* wyrzucają z siebie w sposób w miarę ciągły wiatr gwiazdowy, a w ekstremalnych przypadkach gigantyczne ilości materii, o czym wspominaliśmy wyżej. Materia ta jest w dużym stopniu zjonizowana, opuszczając gwiazdy była bowiem bardzo gorąca. Materia zjonizowana, ładunki elektryczne przepływając z jednego miejsca w drugie, to nic innego jak elektryczny prąd i tak samo jak prąd w doświadczeniu Oersteda przepływy te wytwarzają wokół pole magnetyczne. Mogłoby ono odchylić igłę kompasu, gdyby taki akurat znajdował się w pobliżu. Pola te są niejako wzmrożone w materię.

Międzygwiezdne pole magnetyczne nie może łatwo tak sobie zaniknąć, gdyż, jak wiemy od czasów Faradaya, jakakolwiek jego zmiana spowodowałaby wyindukowanie w przestrzeni pola elektrycznego, a ono napędziłoby jony w tak złośliwy sposób, że dodatkowe prądy indukcyjne starałyby się zmusić pole magnetyczne do trwania w stanie, w jakim było, zanim postanowiło się zmienić.

Przestrzeń międzygwiezdną jest pełna obłoków magnetycznych poruszających się chaotycznie w wszystkich, losowych kierunkach. Istnieje teoria opisująca ich zachowanie, zderzenia, transformacje, oddziaływania, zmiany wielkości i wartości pola. Niezależnie od mechanizmów powstawania wiemy dość precyzyjnie, czego możemy

Rysunek 5 Mechanizm Fermiego drugiego rodzaju



spodziewać się po kompasie w kosmosie. Wiemy też jak zachowywać się będzie jakaś pojedyncza cząstka, którą „na próbę” wstrzykniemy z pewną energią początkową pomiędzy te poruszające się chaotycznie obłoki plazmy kosmicznej. Oczywiście wiemy to statystycznie, średnio.

Cząstka taka wpadając z prędkością zbliżoną do prędkości światła c (mówimy o cząstce promieniowania kosmicznego) w taki obłok, który także porusza się w przestrzeni ale oczywiście z mniejszą prędkością V i w którym istnieje silne pole magnetyczne zaczyna się w nim kręcić podlegając działaniu sił Lorentza. Rozpatrując jej ruch wewnątrz obłoku, biorąc pod uwagę występujące w nim niejednorodności pól możemy uznać, że jest zupełnie chaotyczny. Z fizycznego i matematycznego punktu widzenia możemy tu mówić o dyfuzji. Istotą mechanizmu zaproponowanego przez Fermiego jest to, że dyfuzja ta zachodzi w układzie odniesienia związanym z obłokiem. Po jakimś czasie oczywiście cząstka opuści obłok i możemy zapytać o to, jaka będzie teraz jej energia. Spotkanie „czołowe” między cząstką a obłokiem prowadzi do zwiększenia energii cząstki, spotkanie, w którym cząstka dogania obłok prowadzi do straty, ale w sumie średnio cząstka energię zyskuje, ponieważ spotkania czołowe są częstsze niż te drugie. Każda kolizja powoduje sumarycznie (po wycałkowaniu po kątach) względny przyrost energii cząstki rzędu (V/c) . Biorąc pod uwagę to, że zderzeń, w których cząstka uderza w nałatujący obłok od przodu jest więcej niż takich, gdy cząstka goni uciekający obłok i to dokładnie o (V/c) , to średni zysk energetyczny przy pojedynczej kolizji wynosi $(V/c)^2$. I ze względu na ten kwadrat nazwa tego procesu to: **przyspieszanie Fermiego drugiego rodzaju**.

$$\Delta E / E \sim \left(\frac{V}{c} \right)^2$$

Ktoś dociekliwy mógłby zapytać: jeśli istnieje proces drugiego rodzaju, to czy istnieje proces Fermiego pierwszego rodzaju?

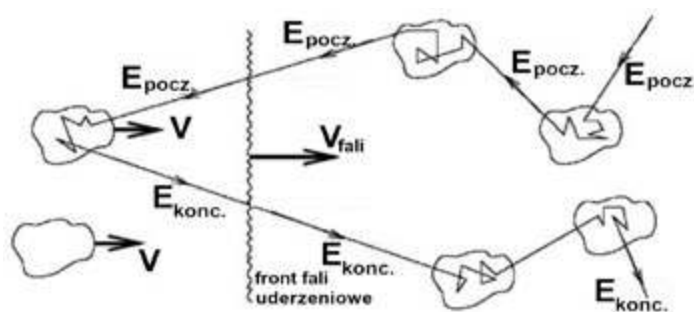
I oczywiście, istnieje. Ten bardziej efektywny mechanizm, proporcjonalny do pierwszej potęgi prędkości poruszania się magnetycznych niejednorodności, przypomina surfowanie po morskich falach, ale tu dotyczy przyspieszania na międzygwiazdnych falach uderzeniowych. Energetyczne gwałtowne procesy powodujące wyrzucenie w przestrzeń dużych ilości materii z wmożonym w nią polem magnetycznym są w skali astronomicznej częstym i dość powszechnym zjawiskiem.

Poza obłokami poruszającymi się z prędkościami niewielkimi mamy też do czynienia z rozprzestrzeniającymi się także zasadniczo chaotycznie frontami fal uderzeniowych, pozostałościach dawnych eksplozji. Fale takie charakteryzują się, że przed frontem mamy do czynienia z niewielką gęstością materii, typową dla przestrzeni międzygwiazdowej i typowymi wartościami pól magnetycznych, a zaraz za frontem i gęstość i pole gwałtownie wzrastają.

Cząstka promieniowania kosmicznego pojawiająca się na drodze fali uderzeniowej przechodzi z obszaru przed frontem przez front do obszaru za frontem. A tam w gwałtownych turbulencjach jest ciągle zawracana i zawracana, aż wreszcie zostaje wypchnięta z powrotem przed front fali. Ponieważ jednak front porusza się cały czas uzyskuje ona, tak jak w mechanizmie Fermiego drugiego rodzaju w zderzeniu czołowym, odrobinę energii proporcjonalnie do prędkości poruszania się fali uderzeniowej. Przed frontem napotyka ona też mniej gwałtowne, ale zawsze jakieś turbulencje, które mogą skierować ją ponownie w kierunku frontu fali i proces powtarza się. Za każdym razem względny zysk energetyczny jest proporcjonalny do V/c , a więc w sumie energia wzrasta proporcjonalnie do pierwszej potęgi prędkości no i mamy do czynienia z **przyspieszaniem Fermiego pierwszego rodzaju**.

$$\Delta E / E \sim \left(\frac{V}{c} \right)$$

W szczegółach wygląda to trochę bardziej skomplikowanie, ale idea jest mniej więcej taka jak to właśnie powiedzieliśmy i jak to pokazuje rysunek:



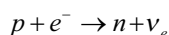
Rysunek 6: Mechanizm Fermiego pierwszego rodzaju.

Proces przyspieszania Fermiego pierwszego rodzaju ma sporo zalet. Dokładne rachunki pokazują, że odtwarza on nieźle potęgowy charakter widma energetycznego z Rys.1. Ponieważ cząstki mogą być uwięzione na froncie uderzeniowym fali dość skutecznie, mogą bardzo wiele razy przekraczać linię front i zyskiwać całkiem spore energie. Model ten ma oczywiście i problemy. Najważniejszym jest ten, że jeśli cząstki promieniowania kosmicznego uzyskają już odpowiednio wielkie energie, to nie sposób więzić je dłużej i uciekają one z obszarów frontowych. Ogranicza to z góry zakres możliwych do uzyskania energii. Rachunki pokazują, że ta graniczna energia nie może być raczej większa niż 1 PeV (10^{15} eV), a więc nie da się tymi mechanizmami wyjaśnić całej prawej części widma pokazanego na Rys.1.

A zatem trzeba wymyślić coś jeszcze innego.

Co pozostaje z gwiazd?

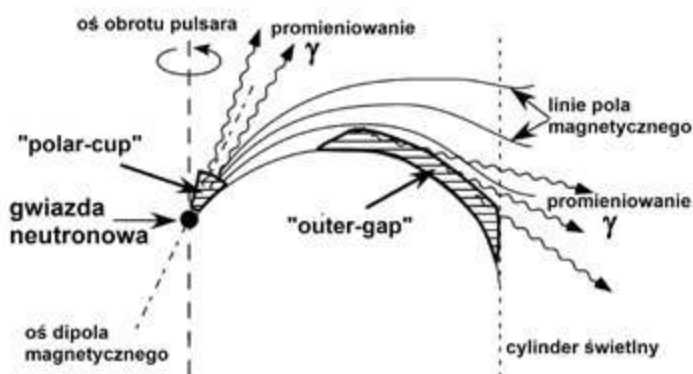
Pisząc wyżej o *supernowych* zaproponowanych jako końcowe fazy ewolucji masywnych gwiazd przez Baadego i Zwicky'ego skupiliśmy uwagę na materii odrzucanej w wybuchach, a nie wspomnieliśmy o tym, co też zostało z całej gwiazdy, jeśli w ogóle spodziewać się należy, że cokolwiek zostało się w ogóle. I właśnie Zwicky zaproponował, że po odrzuceniu warstw zewnętrznych, to, co pozostaje nie mogąc już wytwarzać energii w procesach spalania kolejnych, coraz cięższych pierwiastków musi się poddać sile grawitacji i zapaść się musi. Jeśli masa zapadającej gwiazdy będzie odpowiednio duża obecne w plazmie elektrony wepchnięte zostaną do wnętrza protonów



neutrino uciekną, a neutrony przestaną się już elektrostatycznie odpychać. Koniec tego zapadania nie będzie określony przez „sztywność” jąder atomowych i ich wzajemne kulombowskie odpychanie, a przez *zakaz Pauliego*, który zabrania dwu fermionom (a neutrony są fermionami) znajdować się w tym samym miejscu. Tak więc gwiazda o masie kilku mas Słońca przestanie się zapadać, gdy cała jej materia zamieni się w neutrony i taka neutronowa kulka osiągnie rozmiar jakiś 10 km. Łatwo przekonać się, że łyżeczka materii zaczerpniętej z takiej gwiazdy ważyłaby mniej więcej miliard ton.

Nie należy zapominać, że gwiazda nim wybuchła dysponowała jakimś polem magnetycznym. Część uleciała w przestrzeń z resztkami gwiazdy, ale część musiała się jakoś zachować i towarzyszyć pozostałościom w zapadaniu. Proces ten nie jest do końca wyjaśniony, ale niewątpliwie wraz z kurczeniem się powierzchni gwiazdy strumień pola magnetycznego przez nią wypływający w dużej części powinien się zachowywać, a więc natężenie pola musi rosnąć w miarę zapadania. I rośnie. Podobnie jak prędkość obrotowa kurczących się resztek, co jest oczywistą zasadą zachowania momentu pędu. Co ciekawsze w przypadku obiektów zwanych pulsarami oś dipola magnetycznego rotującej gwiazdy neutronowej nie pokrywa się z osią obrotu. No bo niby dlaczego by miała, skoro na naszej Ziemi jest tak samo.

Wyobraźmy sobie ekstremalnie szybko obracający się pulsar z okresem 1 ms i z ekstremalnie silnym polem magnetycznym, powiedzmy 10^9 T, jeśli ma zwykłą średnicę



Rysunek 7: Potencjalne obszary przyspieszania cząstek do dużych energii w pobliżu pulsara

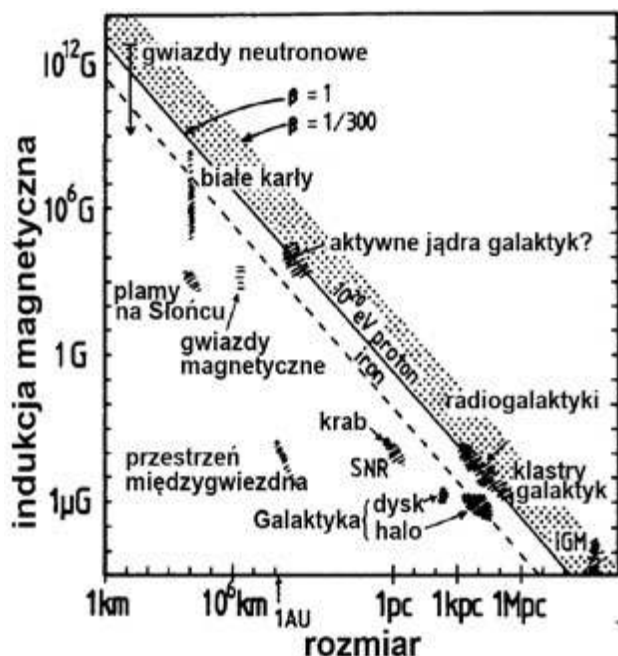
rzędu 10 km. Zmieniające się w czasie pole magnetyczne wytwarzałyby wokół pulsara pole elektryczne. Szacując jego wielkość okazałoby się, że różnica potencjałów pomiędzy biegunami, a równikiem wynosić może ponad 10^{20} V. Gdyby tak mieć rurę z próżnią w środku i wpuścić do niej na biegunie proton, to na równik dotarłby on z energią 10^{20} eV. Oczywiście nie ma nigdzie we Wszechświecie takich rur i właściwie nie ma i takich pulsarów, ale można pomyśleć, czy nie ma też mechanizmów, które by te różnice potencjałów, albo przynajmniej jakąś jej część wykorzystywały i jak duża mogłaby być ta część.

Wymyślono prawdopodobnie wiele różnych modeli uzyskiwania z pulsarów energii dla przyspieszania cząstek promieniowania kosmicznego. W obowiązującym dziś uznawanym powszechnie modelu rotującego pulsara rozważa się blisko jego powierzchni zasadniczo dwa obszary, w których mogłoby zachodzić przyspieszanie cząstek. Nazywa się je akceleratorem „czapy polarnej” (*polar-cup*) i drugi akceleratorem „dziury zewnętrznej” (*outer-gap*). Pierwszy znajduje się w pobliżu osi obrotu pulsara i jednocześnie tam, gdzie zbiegają się, linie pola magnetycznego, czyli w umownych biegunach magnetycznych pulsara. Tam też pole jest największe i jako, że bieguny „geograficzne” (trudno jest mówić o biegunach pulsarograficznych) i magnetyczne nie pokrywają się, w pobliżu powierzchni pulsara silne pole magnetyczne wiruje tam z wielką prędkością. Tym samym tamże indukowane są potężne pola elektryczne, które potencjalnie mogą przyspieszać naładowane cząstki, jeśli takie tam akurat trafiają. Drugi obszar jest dalej od pulsara i pojawia się w pobliżu powierzchni walca obrotowego skierowanego wzdłuż osi obrotu i o promieniu zdefiniowanym tak, że gdyby pole magnetyczne pulsara obracało się stale z tą samą prędkością kątową, to na powierzchni bocznej tego walca osiągałoby prędkość liniową równą prędkości światła ($v = \omega r$ i stąd nazwa *cylinder świetlny*), a dalej nawet większą. A to jest przecież niemożliwe! Na powierzchni tego walca muszą się dziać bardzo dziwne rzeczy, bo przecież pola zachować muszą ciągłość (i inne własności wynikające z równań Maxwella i parametrów otaczającej przestrzeni). Próbuje to zilustrować Rys. 7.

Teoria przyspieszania cząstek przez pulsary jest co najmniej tak skomplikowana jak teoria przyspieszania na falach uderzeniowych i nie podejmujemy się tu wyjaśnić jej bliżej. Bezpiecznie można mówić o przyspieszaniu do energii 1 TeV (10^{12} eV), niektórzy przyjmują za rozsądny limit 10^{15} eV, choć jest wiele prac, w których próbuje się osiągnąć najwyższe energie (10^{20} eV), ale wydaje się to raczej wątpliwe.

Z bilansem energetycznym ogólnie nie ma problemu. Energii w obiektach astrofizycznych, jak już wspomnieliśmy jest dość, lecz trudno jest znaleźć takie, które umożliwiłyby cząstkom promieniowania kosmicznego osiągnięcie energii sięgających prawego końca widna na Rys. 1, czyli 10^{20} eV, albo i nawet nieco więcej.

Problemem tym zajął się prawie półwieku temu Anthony Michael Hillas [5] Efektem jego rozważań stał się wykres znany *wykresem Hillasa*. Zaznaczone są na nim rozmaite ciekawe z naszego punktu widzenia obiekty



Rysunek 8: Wykres Hillasa

astrofizyczne, dla których określono typowe rozmiary przestrzenne (na osi odciętych) i typowe dla nich wartości ich pól magnetycznych (na osi rzędnych). Rozsądnym jest przyjęcie, że efektywna akceleracja cząstki o ładunku Z może nastąpić na dystansie L , jeśli pole magnetyczne B występujące w obszarze przyspieszania jest w stanie zmienić istotnie kierunek jej ruchu.

Jeśli pole magnetyczne wyrazić w μG (mikroGausach), odległości w megaparsekach, a energie w ZeV-ach ($1 \text{ ZeV} = 10^{21} \text{ eV}$) to warunek na przyspieszanie ma z grubsza taką prostą postać:

$$B_{\mu\text{G}} \times L_{\text{Mpc}} > E_{\text{ZeV}} / Z\beta$$

Na wykresie Hillasa zaznaczono prostą odpowiadającą protonom ($Z = 1$) o energii 0.1 ZeV . Wszystkie obiekty poniżej tej linii nie są w stanie tak zakręcić cząstką, aby przyspieszyć ją do 10^{20} eV . Przyspieszanie jąder żelaza jest oczywiście łatwiejsze (26 razy), ale też niewiele nam daje.

I w sumie pozostają nam jedynie aktywne jądra galaktyk i radiogalaktyki z obszarami intensywnej aktywności w postaci potężnych jetów widocznych w radiu. Możliwe jest też przyspieszanie w przestrzeni międzygalaktycznej (IGM), tylko trudno sobie to jakoś wyobrazić.

Musimy tu pominąć wiele ciekawych problemów związanych ze szczegółami propagacji cząstek z końca widma w przestrzeniach międzygalaktycznych. Opowiadanie o nich zasługuje na osobną historię.

Podsumowując

Musimy stwierdzić, że nie wiemy, jak przyspieszać jądra atomowe (protony) do energii zupełnie makroskopowych kilkudziesięciu dziesiąt¹.

Nie wiadomo kto, ale niewątpliwie był to bardzo sprytny człowiek pomyślał, że może wcale nie trzeba tu nic przyspieszać. To się nazywa myślenie niestandardowe.

¹ Rekordową energię cząstki promieniowania kosmicznego nazwanej Oh-My-God particle zarejestrowano na pustyni Utah w eksperymencie Fly's Eye w roku 1991 i było to $(3.2 \pm 0.9) \times 10^{20} \text{ eV}$, czyli $51 \pm 14 \text{ J}$.

Promieniowanie kosmiczne o energiach 10^{20} eV i więcej, może startować gdzieś daleko jako cząstki dużo mniej energetyczne i być przyspieszane i przyspieszane (Anglicy nazywają ten mechanizm *bottom-up*), ale może też pochodzić z jakiś nieznanych nam z ziemskich laboratoriów obiektów, w sumie też jakby cząstek, bardzo tajemniczych i bardzo masywnych, które powstały gdzieś i kiedyś, choćby w odległych epokach kosmologicznych, albo nawet na samym początku Wszechświata. Dlaczego nie? Czternaście z hakiem miliardów lat temu Wszechświat był niewyobrażalnie gorącą i gęstą zupą, w której gotowały się kwarki i wszystko inne, co tylko istniało i istnieć mogło. Możliwe, że fizyka dopuszcza istnienie egzotycznych bardzo ciężkich i długożyjących cząstek (choć nie upieram się przy słowie cząstka).

Teoretycy mówią o topologicznych solitonach, defektach kosmologicznych, mini czarnych dziurach, kosmicznych strunach, o ciemnej materii, WIMPach. Nie takie już rzeczy ludzie z wyobraźnią wymyślili, bo przecież „są diwiny na niebie i na ziemi, o których nie śniło się waszym filozofom”. A że nikt tego nie widział, to też żaden problem. Na pewno zdecydowana większość ich rozpadła się na lżejsze fragmenty. Ale może jednak nie rozpadły się wszystkie i przestrzeniach międzygalaktycznych wciąż jeszcze podróżują nieliczne relikty tamtych gorących czasów. Mają one, założymy, masy mierzone w skali Plancka $\sqrt{\hbar c/G} = 2.18 \times 10^{-8} \text{ kg}$ (co po pomnożeniu przez prędkość światła w kwadracie ($E = mc^2$!) dałoby trochę ponad 10^{19} eV), albo lepiej jeszcze energie wielkiej unifikacji (10^{25} eV), kiedy to siły elektromagnetyczne słabe i silne stają się jednością. I jak coś takiego rozpadnie się, spodziewać się można pojawienia się wśród produktów rozpadu także protonów z energiami z końca widma z Rys.1.

Mechanizm ten nazywa się *top-down* i jedynym jego problemem są te tajemnicze masywne cząstki, czymkolwiek by one nie były, których jeszcze nikt nie widział. I tak się akurat złożyło, że projekt CREDO, a w szczególności CREDO-Maze, jako najambitniejsze fizyczne zadanie stawia przed sobą ich poszukiwanie. Po to ustawiamy wszędzie, gdzie możemy, aparatury do rejestracji wielkich pęków atmosferycznych, aby złapać lecące przez nasz Układ Słoneczny produkty tych hipotetycznych rozpadów.

Tadeusz Wibig

Katedra Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Łódzkiego

Projekt „Kosmos widziany z Łodzi” jest dofinansowany ze środków budżetu Państwa (SONP/SN/516075/2021).

LITERATURA

- [1] R. A. Millikan i G. H. Cameron, *The Origin of the Cosmic Rays*, Physical Review Letters, **32**, 533 (1928).
- [2] W. Baade i F. Zwick, *On Super-Novae*, Proceedings of the National Academy of Sciences, **20** (5), 254 (1934); W. Baade i F. Zwick, *Cosmic Rays from Super-novae*, Proceedings of the National Academy of Sciences, **20** (5), 259 (1934).
- [3] H. Joglekar, M. N. Vahia i A. Sul, *Oldest Sky-Chart with Supernova Record*, Purattatva **41**, 207 (2011); A. Rathi, *5,000-Year Old Rock Art Found In India Is Likely The Oldest Depiction of a Supernova*, <https://qz.com/india/1171320/5000-year-old-rock-art-is-likely-the-oldest-depiction-of-a-supernova> (2018).
- [4] E. Fermi, *On the Origin of the Cosmic Radiation*, Phys. Rev. **75**, 1169 (1949).
- [5] A. M. Hillas, *The Origin of Ultra-High-Energy Cosmic Rays*, Ann. Rev. Astron. Astrophys. **22**, 425 (1984).

Rozwiązania równań ogólnej teorii względności

Maciej **Panczykowski**

Matematyka ogólnej teorii względności jest trudna i wyrafinowana. Co prawda, zrozumienie sensu fizycznego głównego równania tej teorii nie jest problemem dla młodego człowieka zainteresowanego fizyką, tak jak zrozumienie każdego kroku, który doprowadził do jego sformułowania. Zagadnienia te zostały już przeze mnie omówione w artykule „Podstawy ogólnej teorii względności” z numeru 6/2015 „Fizyki w Szkole”.

Cała trudność i złożoność matematyczna stają się widoczne wtedy, gdy to centralne równanie staramy się rozwiązywać. Jest ono równaniem tensorowym, które w ogólności sprowadza się do 6 równań różniczkowych cząstkowych nieliniowych.

Oto ono (dla przypomnienia):

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = (-8\pi G/c^4)T_{\mu\nu}$$

gdzie: $R_{\mu\nu}$ – tensor Ricciego, R – skalar Ricciego, $T_{\mu\nu}$ – tensor energii-pędu, $g_{\mu\nu}$ – tensor metryczny.

Rozwiązaniami tych równań są, omówione dalej, tensory metryczne, które w pełni determinują krzywizny różnych przestrzeni. Jednak, rozwiązania znane są tylko w przypadkach prostych lub cechujących się symetriami, która upraszczają równania. Zanim zapoznamy się z nimi, przedstawię krótkie wprowadzenie matematyczne.

W szkole uczymy się, że w płaskiej przestrzeni euklidesowej odległość między dwoma punktami jest długością odcinka łączącego te dwa punkty. Używamy w szkole układu współrzędnych kartezjańskich, które dla płaszczyzny są dwie: x, y , a także dwóch osi tych współrzędnych: osi X (odciętych) i osi Y (rzędnych) i są one do siebie prostopadłe.

Kwadrat odległości między dwoma punktami (Δs^2) wyznaczamy z różnicy współrzędnych x obydwu punktów (Δx), z różnicy ich współrzędnych y (Δy) i z twierdzenia Pitagorasa:

$$\Delta s^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$$



Dla nieskończenie małych odległości (ds) ten kwadrat ma postać:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$

Wprowadzimy teraz ciekawy obiekt matematyczny, który związany jest ze sposobem mierzenia odległości. Jest to tzw. **tensor metryczny**, który ma postać macierzy (tablicy liczb). Dla naszego przypadku powyżej ta macierz przedstawia się następująco:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Jest ona taka dlatego, że jedynki diagonalne (na przekątnej) reprezentują obecność w naszym wzorze na kwadrat odległości wyrazów $dx \cdot dx$ oraz $dy \cdot dy$. To znaczy, że wyrazy: dx^2 i dy^2 są po prostu mnożone przez jeden, a nie ma wyrazów mieszanych typu: $dx \cdot dy$ oraz $dy \cdot dx$.

W przypadku trójwymiarowej, płaskiej przestrzeni, kwadrat odległości między dwoma punktami we współrzędnych kartezjańskich wyznaczamy analogicznie:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$$

W tym przypadku tensor metryczny będzie miał postać:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Jednakże, dla **tej samej przestrzeni, ale innego układu współrzędnych** – krzywoliniowych, sferycznych (r, θ, ϕ), kwadrat odległości będzie obliczany w zupełnie inny sposób:

$$ds^2 = dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\phi^2$$

A tensor metryczny przyjmie postać:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & r^2 & 0 \\ 0 & 0 & r^2 \sin^2 \theta \end{pmatrix}$$

W przypadku płaskiej, niezakrzywionej czasoprzestrzeni szczególnej teorii względności, odległością między zdarzeniami jest tak zwany interwał, którego kwadrat oblicza się w sposób następujący:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2$$

A oto odpowiedni tensor metryczny (zwróćmy uwagę na minus jeden, pochodzący od współrzędnej ct):

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

To wprowadzenie matematyczne zakończę zdaniem, które jest ważne, by zrozumieć ten artykuł i nie pomylić się w rozumieniu ogólnej teorii względności:

W przypadku przestrzeni płaskich, zawsze istnieje układ współrzędnych, w którym wszystkie składowe tensora metrycznego są stałymi. W przypadku przestrzeni zakrzywionych – takiego układu współrzędnych nie da się znaleźć.

Dla płaskiej przestrzeni 3D najwygodniejszy jest układ współrzędnych kartezjańskich. W dalszej części artykułu omówię przykłady fizycznych przestrzeni zakrzywionych, dla których wygodniej będzie mi użyć układu współrzędnych krzywoliniowych, sferycznych (r, θ, φ).

Metryka Schwarzschilda jest metryką zakrzywionej czasoprzestrzeni wokół sferycznie symetrycznej masy (np. gwiazdy lub czarnej dziury). Spełnia ona główne równanie ogólnej teorii względności, a została odkryta przez niemieckiego fizyka – Karla Schwarzschilda w tym samym roku, w którym Albert Einstein sformułował tę teorię (1915). Schwarzschild wkrótce po swoim odkryciu i jego publikacji (1916) poszedł na wojnę (I Wojna Światowa), której nie przeżył wskutek choroby.

Oto metryka Schwarzschilda w pełnej krasie:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2 - \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) c^2 dt^2$$

gdzie: M – masa sferycznego obiektu, G – stała grawitacyjna, c – prędkość światła w próżni.

Zauważmy, że dla $M = 0$ (brak materii) i dla $r = \infty$ (nieskończona odległość od masy) nasza metryka redukuje się do:

$$ds^2 = dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2 - c^2 dt^2$$

i jest to nic innego jak metryka płaskiej czasoprzestrzeni, ale we współrzędnych sferycznych.

Warto też wiedzieć, że dla $r = 0$ i dla $r = 2GM/c^2$ metryka Schwarzschilda ma tak zwane **osobliwości**, czyli nie jest określona ze względu na pojawiające się nieskończoności. W pierwszym przypadku (środek masy) osobliwość jest rzeczywista, a w drugim tylko współrzędnościowa, co

znaczy, że problem znika przy zastosowaniu innego układu współrzędnych.

Jeszcze ciekawsza, ale znacznie bardziej skomplikowana jest **metryka Kerra**, która definiuje zakrzywioną czasoprzestrzeń wokół wirującej czarnej dziury lub gwiazdy. Nie jest ona sferycznie symetryczna, bo w przeciwieństwie do metryki Schwarzschilda przy jej współrzędnych kątowych pojawiają się inne wyrażenia niż r^2 i $r^2 \sin^2 \theta$.

Metrykę tę odkrył nowozelandzki matematyk Roy Kerr w 1963 roku. Oto ona:

$$ds^2 = \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 + \Sigma d\theta^2 + (r^2 + a^2 + \frac{2GMra^2}{\Sigma c^2} \sin^2 \theta) \sin^2 \theta d\varphi^2 - \frac{4GMra \sin^2 \theta}{\Sigma c^2} c dt d\varphi - \left(1 - \frac{2GMr}{\Sigma c^2}\right) c^2 dt^2$$

gdzie:

$a = J/Mc$ (parametr Kerra)

M – masa obiektu, J – moment pędu obiektu, c – prędkość światła w próżni

$\Sigma = r^2 + a^2 \cos^2 \theta$

$\Delta = r^2 - (2GMr/c^2) + a^2$

Warto zauważyć, że gdy $J = 0$ (obiekt nie wiruje), wtedy $a = 0$ i wskutek tego cała ta robiąca wrażenie zawiloscia metryka redukuje się do metryki Schwarzschilda.

Fascynująca jest metryka jednorodnej i izotropowej czasoprzestrzeni (to znaczy takiej, która jest taka sama w każdym punkcie i żaden kierunek nie jest wyróżniony) wypełnionej materią o takiej samej gęstości w każdym miejscu. Może ona w przybliżeniu determinować czasoprzestrzeń Wszechświata, a przybliżenie jest dlatego, że w rzeczywistym Wszechświecie materia nie ma stałej gęstości w całej przestrzeni, tylko są jej skupiska – galaktyki i prawie puste przestrzenie między nimi. Przyjmuje się więc pewne uśrednienie.

Najwyższy czas przedstawić **metrykę Robertsona-Walkera** rozszerzającego się (ale także kurczącego się) Wszechświata:

$$ds^2 = a^2(t) \left[\frac{1}{1 - kr^2} dr^2 + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2 \right] - c^2 dt^2$$

Czynnik $a^2(t)$ jest funkcją czasu (bo nasz Wszechświat się rozszerza) i jego wartość wskazuje jak duża jest przestrzeń Wszechświata w danym czasie t .

Parametr „ k ” może przyjmować trzy wartości:

–1 dla Wszechświata otwartego, nieskończenie dużego,

0 dla Wszechświata płaskiego (pomimo niezerowej gęstości materii),

+1 dla Wszechświata zamkniętego, o skończonej objętości.

Powyżej wymieniłem 3 możliwości. W jakim zatem Wszechświecie żyjemy? Wszechświat byłby płaski dla tak zwanej **gęstości krytycznej** równej:

$$\rho_{crit} = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

gdzie: H – **stała Hubble’a** mierząca szybkość rozszerzania się Wszechświata.

Dokończenie na str. 19

Żywoty fizyków

Antoine Cesar Becquerel

(1788 – 1878),

Alexandre-Edmond Becquerel

(1820 – 1891)

i Antoine Henri Becquerel

(1852 – 1908).

Tadeusz Wibig

Ten ostatni znany pod imieniem Henri jako czwarty fizyk w historii został laureatem Nagrody Nobla, „w uznaniu niezwykłych zasług, jakie oddał przez odkrycie radioaktywności naturalnej” (w tym samym roku Nagrodę tę otrzymali Piotr i Maria Curie „w uznaniu ich zasług, jakie oddali poprzez wspólne badania nad zjawiskiem promieniotwórczości odkrytym przez profesora Henri Becquerela”).

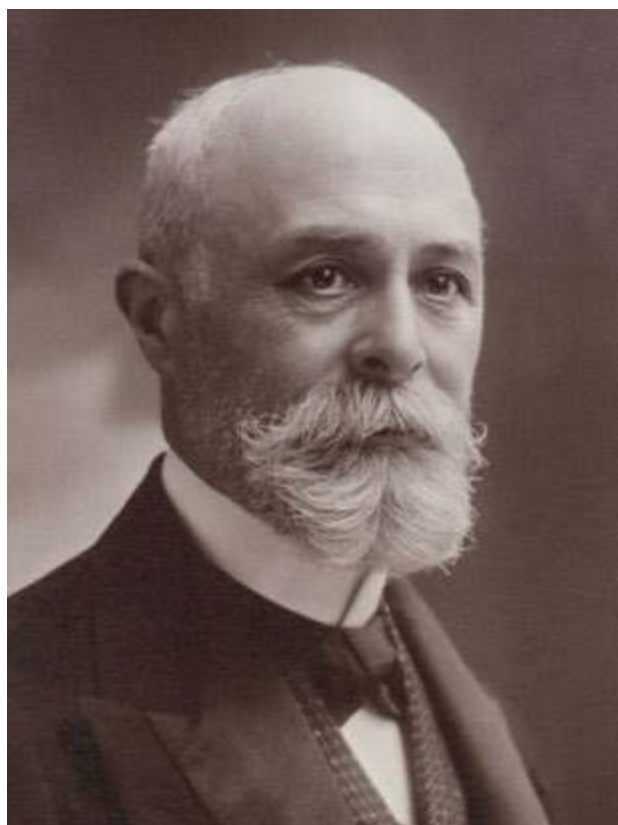
Historia odkrycia Becquerela jest bardzo ciekawa i pouczająca, ale ponieważ wszyscy ją znają i powtarzają w dyskusjach o roli przypadkowości w pracy naukowej, nie będziemy o tym mówić.

Właściwie w ogóle nie będziemy mówić więcej o Henri Becquerelu. Moglibyśmy natomiast wspomnieć przy okazji o Francuzie o złożonym nazwisku **Claude Félix Abel Niépce de Saint-Victor**, który, gdyby miał nieco więcej fizycznej wiedzy, intuicji, a może i szczęścia i nie miałby nic ciekawszego do roboty, odkryłby naturalną promieniotwórczość 40 lat przez Becquerelem.

Był on badaczem procesów związanych z utrwalaniem rzeczywistości na obrazkach, czyli, jakbyśmy to dziś powiedzieli: fotografią. Warto zaznaczyć w tym miejscu, że wynalazcą fotografii i autorem pierwszej fotografii w ogóle (*Point de vue du Gras* – 1827) był jego młodszy kuzyn **Joseph Niépce**, który później przybrał imię Nicéphore.

Claude Niépce de Saint-Victor sporządzał zawiesziny soli uranu w białku kurzych jaj i nasyczał nimi papier, który po wysuszeniu (w ciemności) naświetlał przez wiele minut/godzin światłem słonecznym. Po potraktowaniu go potem (także w ciemnościach) roztworem azotanu srebra można było zobaczyć pozytywny obraz tego, co się właśnie „sfotografowało”.

Z punktu widzenia odkrywania radioaktywności najważniejsze jest to, że Claude Niépce de Saint-Victor zauważył, że jeśli roztwór soli uranu zostanie użyty do namalowania jakiegoś wzoru na kartonie i karton ten zostanie następnie dociśnięty, lub nawet tylko zbliżony na centymetr, czy dwa do arkusza, który został nasączony wcześniej chlorkiem srebra, obraz namalowanego wzoru zostanie nań przeniesiony i odtworzony w chlorku srebra. Fizyka jądrowa mogłaby zacząć się o dziesięciolecie wcześniej, gdyby Claude Niépce de Saint-Victor właściwie tę obser-



Portret Antoine Henri Becquerela wykonany przez fotografia Paula Nadara ok. 1905 roku. Źródło – https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portrait_of_Antoine-Henri_Becquerel.jpg

wację zinterpretował. Brakowało mu do tego oczywiście wiedzy, którą Henri Becquerel posiadał, a której Claude Niépce de Saint-Victor mieć nie mógł, bo ona wtedy po prostu jeszcze nie istniała. A wiedzę tę Becquerel w dużej części zawdzięczał wychowaniu w rodzinie o głębokich naukowych korzeniach, choć niektórzy twierdzą, że odziedziczył ją w genach po własnym ojcu i dziadku.

Zacznijmy od tego ostatniego: dziadek Becquerela, **Antoine Cesar Becquerel** po zakończeniu kariery wojskowej w stopniu kapitana w roku 1815 zajął się fizyką. Akurat wtedy modne stało się w naukowym świecie badanie zjawiska *pyroelektryczności*. Wcześniej, co najmniej od połowy XVII wieku, wiadomo było, że niektóre kryształy, jeśli je ogrzać, wykazują elektryczną polaryzację przyciągając drobne pyłki. Antoine Becquerel badał, jak w podgrzewanych metalach i złączach różnych metali generuje się siła elektromotoryczna. Aby precyzyjnie mierzyć małe prądy, wynalazł on galwanometr różnicowy. Na namagnesowaną igłą działało w nim pole tworzone w dwóch cewkach, przez które płynęły różnymi drogami prądy generowane przez to samo źródło, a to pozwalało porównywać bardzo mało różniące się od siebie prądy niezależnie od kłopotliwych wahań napięcia baterii. Przy użyciu swojego galwanometru zbadał on, jak zależy opór przewodników od jego wymiarów: długości i przekroju poprzecznego. Pechowo opublikował swoje wyniki rok po Georgu Simonie Ohmie (*Fizyka w Szkole* 61/3 32, 2016) i mamy dziś prawo Ohma, a nie Becquerela (Antoine Cesara).

Wykorzystując różnicową metodę Becquerela **Sir Charles Wheatstone** skonstruował znany z podręczników elektryczności *mostek Wheatstone’a*, przyrząd do

dokładnego wyznaczania oporu elektrycznego różnych rzeczy. Warto też wspomnieć, że Antoine Cesar w 1829 roku wynalazł stałoprądowe ogniwo elektrochemiczne, które to później niejaki **John Frederic Daniell** rozwinął w znane dziś powszechnie *ogniwo Daniella*.

Antoine Cesar Bequerel został doceniony przez Royal Society. Przyznano mu w roku 1837 (wspólnie z Daniellem) medal Copleya.

Ale najważniejszym osiągnięciem Antoine'a Cesara Bequerela był jego syn **Alexandre-Edmond Becquerel** znany pod imieniem Edmond. Był on nie tylko ojcem Henri Becquerela, ale i fizykiem. Największego swojego odkrycia dokonał pracując w laboratorium swojego ojca, gdy miał zaledwie lat 19. Oddziaływanie światła na rozmaite substancje stanowiło podstawy rozwijającej się ciągle sztuki fotografowania świata. Edmond jak i jego ojciec eksperymentował z solami srebra (głównie z AgCl, AgBr), którymi pokrywał platynowe płytki przed wystawieniem ich na światło słoneczne. Nie wiadomo dlaczego umieścił tak spreparowane elektrody w naczyniu z elektrolitem i podłączył do galwanometru. Jak sam napisał w roku 1839 w *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de L'Academie des Sciences* **9**, 561 zaobserwował „*wytwarzanie prądu elektrycznego, gdy dwie płytki platyny lub złota zanurzone w roztworze kwaśnym, obojętnym lub zasadowym są wystawione w nierównomierny sposób na promieniowanie słoneczne*.”

Dalsze prace w tym kierunku doprowadziły ostatecznie do paneli fotowoltaicznych na dachach naszych domów i na satelitach krążących nad naszymi głowami i farm solarnych mnożących się szybko dla ratowania naszej płonącej planety.

A to był dopiero początek naukowej działalności Edmonda. Była ona zasadniczo stale związana ze światłem. Badał materiały fotograficzne naświetlane światłem

w różnych kolorach. W roku 1848 wykonał kolorowe fotografie widma słonecznego. Fotografował też widma łuku elektrycznego i studiował zjawiska fosforescencji konstruując w 1856 roku sprytny przyrząd do pomiaru czasu wyświecania wzbudzonych cząsteczek z dokładnością przewyższającą 1 ms.

Swoje osiągnięcia podsumował w opublikowanych w latach 1867/68 dwóch tomach dzieła *La lumière, ses causes et ses effets* (Światło, przyczyny i skutki).

Ostatnie z wielkich i zapomnianych odkryć Edmonda Becquerela związane jest z elektrycznością (i światłem, oczywiście). Zaobserwował on zjawisko, które nazywamy dziś termoemisją. Opisał to pracy *Reserches sur la conductibilité électrique des gaz à des températures élevées* (Badania przewodności elektrycznej gazów w wysokich temperaturach). *Comptes Rendus* **37**, 20 (1853). On sam nie przywiązywał do niego zapewne wielkiej wagi, nie wydawało się ani ważne, ani praktyczne i przez świat naukowy przeszło bez echa. Ponownie odkrył je **Frederick Guthrie**, o którym też się dziś raczej nie pamięta, bo wszyscy mówiąc o termoemisji mają na myśli **Thomasa Edisona** z jego żarówką, w której bańce umieścił dodatkową elektrodę i tak wynalazł diodę próżniową. A tak naprawdę to diodę opatentował i wykorzystał praktycznie dopiero **John Ambrose Fleming** w 1905 roku.

Becquerel funkcjonuje w układzie SI jako jednostka radioaktywności: bekerel. Definicja jest prosta:

1 Bq (1 bekerel) to jeden radioaktywny rozpad na sekundę

Jeden bekerel to niewiele. Na przykład każdy banan zawiera potas, w tym izotop radioaktywny ^{40}K i jeden średni banan przejawia sam z siebie aktywność około 15 Bq. Każdy z nas też ma w sobie potas i nawet, jak śpimy, jesteśmy aktywni i to na poziomie kilku tysięcy bekereli.

Doświadczenie domowe:

Stała słoneczna

A. Potrzebne materiały

1. Ogrodowa lampka solarna (< 5 PLN) (albo gotowe ogniwo solarne kupione w sklepie <10 PLN)
2. Miernik uniwersalny
3. Dwa kabelki + 2 wtyczki bananowe do połączenia ogniwa z miernikiem
4. Taśma izolacyjna
5. Słoneczny, bezchmurny dzień

B. Narzędzia: lutownica, linijka, wkrętak i szczypce, ew. młotek do dekompozycji lampki

C. Kolejność czynności

1. Zdemonstrować lampkę.
2. Odlutować kabelki łączące ogniwo z płytka drukowaną.
3. Wyjąć z obudowy lampki ogniwo słoneczne (z kabelkami).
4. Przylutować do tych kabelków dłuższe kabelki z przymocowanymi do nich wtyczkami bananowymi.
5. Przy użyciu taśmy izolacyjnej zabezpieczyć kabelki.
6. Podłączyć kabelki do miernika uniwersalnego.



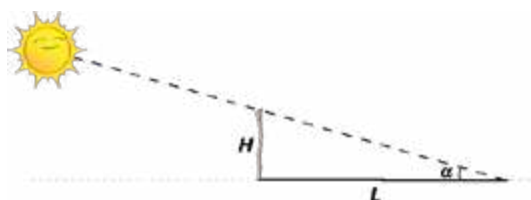
7. Poczekać na dzień, w którym prognozowana jest pogoda bezchmurna i słoneczna. Najlepszy do przeprowadzenia doświadczenia jest okres przesilenia letniego, gdy słońce wznosi się najwyżej.
8. Pomiar zaczynać najwcześniej, jak to tylko możliwe. Dla ustalenia uwagi o pełnej godzinie.
9. Ustawiamy miernik na pomiar natężenia prądu stałego, na zakres 20 lub 200 mA.
10. Kierujemy ogniwo prostopadłe do kierunku na słońce.
11. Obserwujemy wskazania miernika i lekko przechylając ogniwo staramy się osiągnąć maksymalną wartość natężenia prądu (I).
12. Zapisujemy sobie tę wartość i godzinę pomiaru.
13. Zmieniamy pokrętkę miernika na pomiar napięcia prądu stałego. Mierzmy napięcie przy położeniu ogniwa zbliżonym do tego z punktu 11 (U).
14. wyznaczamy *absolutnie największą możliwą moc* naszego ogniwa mnożąc maksymalne natężenie prądu (zwarcia) przez maksymalną wartość napięcie (przy zerowym obciążeniu)

$$P = IU$$

Trzeba pamiętać, że natężenie i napięcie mierzyliśmy w różnych warunkach, w różnych układach, a więc obliczona moc nie jest mocą wydzielaną w żadnym realnym odbiorniku i dlatego nazwaliśmy ją „*mocą absolutnie największą możliwą*”. Jak się ma to do realnej mocy ogniwa powiemy za chwilę.

15. Wyznaczamy wysokość słońca nad horyzontem; możemy to zrobić na dwa sposoby:

- a) wbijamy pionowo wyrównaną poziomą powierzchnię w patyk,
- b) mierzymy długość jego części wystającej nad ziemię H ,



- c) mierzymy długość cienia patyka L ,
- d) wyznaczamy sinus kąta alfa:

$$\sin \alpha = \frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}}$$

- a) zaglądamy do Internetu,
- b) w wyszukiwarce wpisujemy hasło np. „wysokość słońca kalkulator” albo jakieś podobne (u mnie pojawiła się na przykład strona <https://darekk.com/sun/solar-position-calculator>),
- c) podajemy współrzędne naszego punktu obserwacji (mamy dla ułatwienia wybór większych miast w Polsce, możemy z niego skorzystać wybierając nam najbliższe),
- d) podajemy datę i godzinę i klikamy na odpowiedni przycisk,
- e) w okienku pojawia się wartość kąta wzniesienia (elewacji) α ,
- f) liczymy jego sinus ($\sin \alpha$).

16. Robimy sobie godzinę przerwy, a następnie powtarzamy czynności od punktu 10 i tak do wieczora.
17. Po całym dniu obserwacji mamy tabelkę zawierającą: godzinę, *absolutnie największa możliwa* moc i sinus elewacji.

Możemy dane te analizować na wiele sposobów:

Można narysować wykres mocy (*absolutnie największej możliwej*) w funkcji godziny obserwacji i wykres sinusa kąta elewacji ($\sin \alpha$) także w funkcji godziny. Dobierając odpowiednio skale na obu wykresach można spróbować porównać je jakościowo, co zrobiliśmy na pierwszym rysunku z serią naszych pomiarów dokonanych w końcu sierpnia.

Można też narysować wykres mocy (*absolutnie największej możliwej*) ogniwa w funkcji kąta elewacji zachowując odpowiednie skale, tak jak zrobiliśmy to z naszymi danymi na rysunku drugim.

Można ekstrapolować nasze wyniki do kąta zenitu (elewacja $\alpha = 90^\circ$), czyli oszacować, jaka byłaby wartość mocy (*absolutnie największej możliwej*) naszego ogniwa, gdyby słońce świeciło pionowo (co przecież nigdy się w Polsce nie zdarzy). Taką moc skorygowaną do mocy realnej ogniwa podają zwykle producenci i nazywa się to z angielska *peak power*.

W naszym przypadku z wykresu możemy odczytać, że *absolutnie największa możliwa* maksymalna moc (nieskorygowane *peak power*) naszego ogniwa z lampki ogrodowej wynosi jakieś 55 mW.

I teraz pora uwzględnić współczynnik urealnijający naszą *absolutnie największą możliwą* moc do prawdziwej mocy ogniwa. Procedura doświadczenia polega tu na tym, aby zmierzyć tak prąd, jak i napięcie jednocześnie (wtedy moc jest rzeczywiście równa UI) obciążając ogniwo jakimś zmiennym oporem. Przy oporze małym, jak i przy bardzo wielkim, spada napięcie, albo natężenie, a zatem spada i moc jako ich iloczyn. Gdzieś musi być więc moc realnie najwyższa i doświadczenia pokazują, że jest ona z grubsza pomiędzy 2/3 i 1/2 naszej mocy *absolutnie największej możliwej*. Biorąc to pod uwagę możemy powiedzieć, że moc maksymalna (*peak power*) naszego ogrodowego ogniwa to około 30 mW.

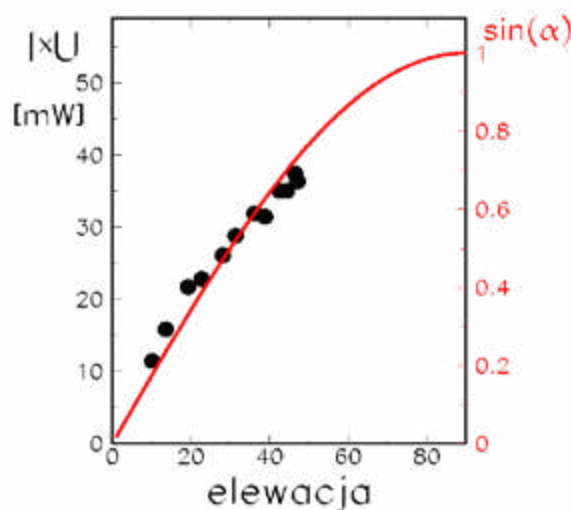
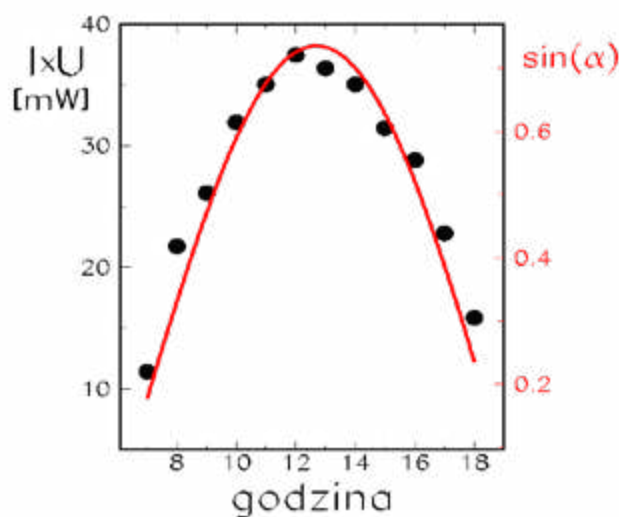
Powierzchnia ogniwa daje się prosto wyznaczyć przy użyciu linijki. W naszym wypadku otrzymaliśmy $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} = 4 \text{ cm}^2 = 0.0004 \text{ m}^2$.

Gdyby nasze ogniwo miało powierzchnię 1 metra kwadratowego (gdybyśmy połączyli równolegle 2500 takich małych ogniw) to osiągnęlibyśmy moc ($0.03 \text{ W} \times 2500$) $\sim 70 \text{ W}$.

Nie jest to szczególnie dużo, zwłaszcza, jeśli się weźmie pod uwagę, że Słońce dostarcza do Ziemi strumień energii 1361 W na każdy metr kwadratowy powierzchni ustawionej prostopadle do kierunku na Słońce. Wielkość

ta nazywa się **stałą słoneczną**. Uwzględnienie pochłaniania w atmosferze zmniejsza tę ilość do około 1000 W/m^2 na poziomie morza (gdy słońce jest w zenicie).

Przy uwzględnieniu tego, że niebo może nie było w czasie naszych pomiarów absolutnie pozbawione wysokich niewidocznych niemal chmur, sprawność naszego ogródkowego ogniwa wynosi najpewniej nieco mniej niż jakieś 10%.



Rozwiązania równań ogólnej teorii względności

Dokończenie ze str. 15

Wartość stałej Hubble'a nie jest znana dokładnie, więc nie wiemy ściśle jaką wartość ma gęstość krytyczna, aby móc ją porównać z całkowitą gęstością wszelkiej materii-energii mierzoną przez astronomów, również z dużą dozą niepewności. Wszechświat byłby zamknięty dla gęstości wyższej niż krytyczna, a otwarty – dla niższej. Jest to nadal kosmologiczny znak zapytania.

DODATEK:

Na koniec tego artykułu – kilka zdań na temat fal grawitacyjnych. Centralne równanie ogólnej teorii względności można też zapisać w innej postaci:

$$R_{\mu\nu} = (-8\pi G/c^4)[T_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}T]$$

gdzie: $R_{\mu\nu}$ – tensor Ricciego, T – skalar tensora energii-pędu, $T_{\mu\nu}$ – tensor energii-pędu.

Piszę to dlatego, by pokazać, że w próżni, czyli tam, gdzie nie ma materii, a może rozchodzić się fala, cała prawa strona równa się zero (gdyż $T_{\mu\nu} = 0$ i $T = 0$). Wtedy równanie przybiera prostą postać:

$$R_{\mu\nu} = 0$$

Jeśli przyjmiemy, że fala grawitacyjna ma niewielką amplitudę, możemy do tego równania podstawić metrykę płaskiej czasoprzestrzeni ($\eta_{\mu\nu}$) plus drobna poprawka reprezentująca drobne jej zaburzenie ($h_{\mu\nu}$):

$$\eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$$

Tensor Ricciego $R_{\mu\nu}$ zależy od drugich pochodnych metryki, więc zaniedbując niewielkie wyrazy nieliniowe i przy odpowiednich współrzędnych otrzymujemy równanie falowe:

$$\nabla^2 h_{\mu\nu} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 h_{\mu\nu}}{\partial t^2} = 0$$

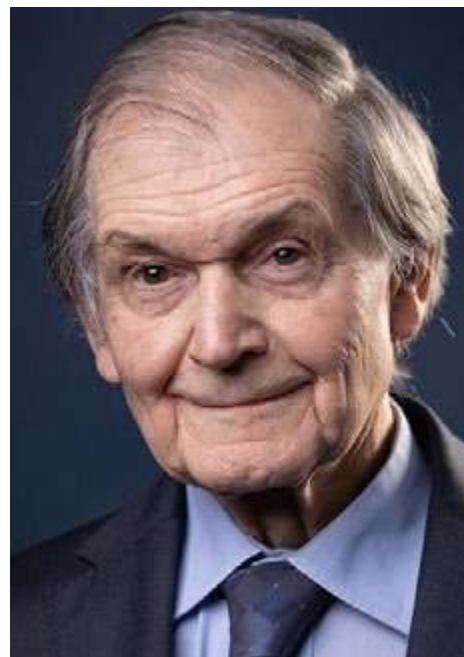
Po dodaniu przykładowego rozwiązania tego równania do metryki płaskiej czasoprzestrzeni otrzymujemy metrykę wynikową:

$$ds^2 = [1 + f(z-ct)]dx^2 + [1 - f(z-ct)]dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2$$

Zaburzenie ma kształt fali poruszającej się wzdłuż osi „z” z prędkością światła. Dotyczy ono zmian odległości między ustalonymi punktami wzdłuż osi „x” i „y” w taki sposób, że zwiększenie odległości wzdłuż jednej osi następuje razem ze zmniejszeniem odległości wzdłuż osi drugiej (różne znaki przy $f(z-ct)$). Jako że zmiany następują wzdłuż osi prostopadłych do kierunku ruchu, to mówimy, fala grawitacyjna jest falą poprzeczną.

Roger Penrose, fizyk noblista – oryginalny popularyzator nauki

W dotychczasowych artykułach Autora o nowoczesnej popularyzacji nauki zaprezentowano dorobek popularyzatorski takich wielkich fizyków, jak Albert Einstein i Stephen Hawking, natomiast obecnie został dołączony jeszcze jeden światowej sławy fizyk Roger Penrose, noblista o oryginalnych talentach popularyzatorskich, ale mniej rozreklamowany.



Rys. 1. Sir Roger Penrose, źródło: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2020/penrose/facts/>

Edward Rydygier

Sir Roger Penrose (ur. 8.08.1931 r.), znany brytyjski kosmolog teoretyk, laureat Nagrody Nobla z 2020 r., profesor Uniwersytetu Oksfordzkiego, jest autorem szeregu książek dla szerszego grona czytelników, m.in. *Nowy umysł cesarza*, *Droga do rzeczywistości*, *Cienie umysłu*. Wygłosił wiele wykładów popularnonaukowych, m.in. w londyńskim Royal Institution. Wielokrotnie przyjeżdżał z wykładami do Polski.

Roger Penrose jest związany z polską nauką. Jest członkiem Polskiego Towarzystwa Relatywistycznego, a od 1994 roku jest zagranicznym członkiem Polskiej Akademii Nauk. Został odznaczony Krzyżem Komandorskim Orderu Zasługi RP za wybitne osiągnięcia naukowe w dziedzinie fizyki oraz za rozwijanie polsko-brytyjskiej współpracy naukowej. W 2005 roku Penrose uzyskał tytuł doktora *honoris causa* Uniwersytetu Warszawskiego.

Nobel 2020 z fizyki

Roger Penrose otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki w 2020 roku za to, że wykazał dzięki opracowanemu przez siebie modelowi matematycznemu, że powstawanie

czarnych dziur, a także Wielki Wybuch, można wyznaczyć z ogólnej teorii względności Alberta Einsteina (1879-1955). Roger Penrose wraz ze Stephenem Hawkingiem udowodnił twierdzenie o osobliwościach w ogólnej teorii względności. Twierdzenie to jest również nazywane twierdzeniem Hawkinga–Penrose’a. Pracę nad nim rozpoczął jednak Penrose, potem dołączył do niego słynny brytyjski fizyk teoretyk Stephen Hawking (1942-2018).

Roger Penrose – popularyzator nauki

Roger Penrose jest oryginalnym popularyzatorem nauki. Jest autorem wielu książek popularnonaukowych, m.in. wspomnianej wyżej książki *Nowy umysł cesarza*, ale także takich pozycji, jak *Droga do rzeczywistości*, *Cienie umysłu*. Jego otwarte wykłady popularyzatorskie charakteryzują się oryginalnym przekazem wiedzy, gdyż przedstawiają związki fizyki z innymi naukami, biologią, informatyką, astronomią, filozofią, a także ukazują wpływ nauki na życie codziennie i odwrotnie.

Taki oryginalny charakter przekazu miały wykłady otwarte Penrose’a na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. W roku 2005 ogłoszonym

Światowym Rokiem Fizyki (w Niemczech nazwanym Rokiem Einsteina) wziął udział w międzynarodowej konferencji pt. „Foton – pierwsze sto lat i przyszłość” w dniach 30 sierpnia – 8 września w Warszawie i Kazimierzu Dolnym nad Wisłą w związku z setną rocznicą odkrycia przez Alberta Einsteina cząstki światła – fotonu. Konferencji towarzyszyły dwie wystawy na Wydziale Fizyki UW: *Maria Skłodowska-Curie i jej czasy* oraz *Albert Einstein i fizycy polscy*.

Przy okazji udziału w konferencji poświęconej fotonowi, 30 sierpnia 2005 r. Penrose wygłosił na Wydziale Fizyki UW (w starej, historycznej siedzibie przy ul. Hożej 69) wykład *Moda, wiara i fantazja w nowoczesnych teoriach fizycznych*. Wykład Penrose’a poprzedził wrześniowy XXXVIII Zjazd Fizyków Polskich w Warszawie. Następny wykład na UW wygłosił dopiero po 10-ciu latach w dniu 8 grudnia 2016 r. na Wydziale Fizyki (w nowej siedzibie w kampusie przy ul. Pasteura 5). Był to wykład z serii *Zapytaj fizyka* zatytułowany *Fashion, Faith, and Fantasy in the New Physics of the Universe* (Moda, wiara i fantazja w nowej fizyce Wszechświata). Wykłady *Zapytaj fizyka* wygłaszane są przez znanych naukowców i popularyzatorów nauki, a odbywają się one mniej

więcej raz na miesiąc na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

Rok wcześniej 19 listopada (2015) w ramach cyklu wykładów *Drogi do rzeczywistości* w Centrum Nauki Kopernik w Warszawie Penrose wygłosił wykład na *The reality* (Rzeczywistość). Odwiedził także Kraków, gdzie w dniu 6 grudnia 2016 roku w Centrum Badań Interdyscyplinarnych przy Uniwersytecie Jagiellońskim wygłosił wykład z ulubionego przez siebie cyklu *Fashion, Faith, and Fantasy in the New Physics of the Universe*. W wykładach dowodził, że moda, wiara i fantazja, choć w fizyce czasami okazują się owocne, zdają się wieść na manowce współczesnych uczonych zajmujących się teorią strun, mechaniką kwantową i kosmologią.

Wg uczonego kosmologiczna teoria strun oddaliła się od fizycznej rzeczywistości ze względu na rozszerzenie opisu przestrzeni o sześć dodatkowych wymiarów (przestrzeń 10-wymiarowa). Ten radykalny krok zyskał jednak tak dużą popularność, że teoria strun została zaakceptowana przez ogół fizyków zwykle skłonnych do sceptycyzmu. Z kolei spektakularne sukcesy mechaniki kwantowej w wyjaśnianiu zjawisk Wszechświata na poziomie atomowym doprowadziły do przyjęcia niezachwianej wiary w to, że musi mieć ona zastosowanie również do znacznie bardziej masywnych obiektów.

Tymczasem, w opinii Penrose'a, potrzebne są głębokie zmiany w tej teorii. Według niego kosmologia, odwołująca się do rozmaitych fantazyjnych idei dotyczących początku

wszechświata, zupełnie pomija pewne kluczowe zagadnienia. Profesor Penrose nie kryje, że elementy mody, wiary i fantazji wywarły również wpływ na jego własne koncepcje.

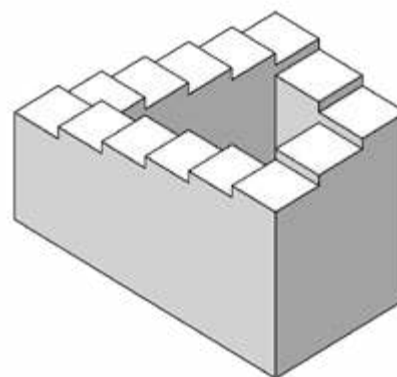
Na podstawie pomysłów Rogera Penrose'a powstało kilka znanych grafik M. C. Eschera (1898-1972), holenderskiego malarza i grafika, twórcy obrazów inspirowanych matematyką, które często przedstawiają iluzje optyczne.

Badania interdyscyplinarne

Oprócz wybitnych osiągnięć w dziedzinie fizyki teoretycznej Penrose zajmuje się także badaniami z pogranicza nauk (informatyki, kogniistyki, biologii, medycyny, neurofizjologii, a także filozofii), których wyniki przedstawił w takich książkach, jak: *Nowy umysł cesarza*, *Cienie umysłu*, *Makroświat, mikroświat i ludzki umysł*. Krytykując komputerową sztuczną inteligencję doszedł do wniosku, że do wyjaśnienia istnienia świadomości konieczne jest odwołanie się do zjawisk występujących na poziomie kwantowym w mózgu. Wspólnie z amerykańskim anestezjologiem (i neurofizjologiem) Stuartem Hameroffem (ur. 1947 r.) opracował kwantową teorię świadomości nazwaną Zsynchronizowaną (skoordynowaną) obiektywną redukcją (*Orch-OR* od ang. *Orchestrated Objective Reduction*).

W 1989 roku opublikował osobliwą książkę popularnonaukową *The Emperor's New Mind. Concerning Computers, Minds, and Laws of Physics* (Nowy umysł cesarza. O komputerach, umyśle i prawach fizyki), gdzie na blisko 500 stronach dowodził, że stworzenie sztucznej inteligencji dorównującej ludzkiej jest wykluczone. Książka wywołała niezwykle gorące dyskusje wśród naukowców. Chociaż w 1995 roku nakładem PWN została opublikowana jej polska wersja w tłum. Piotra Amsterdamskiego (a wydanie 2 w 1996 r.), to jednak w Polsce te spory nie znalazły zrozumienia.

W odpowiedzi krytykom Penrose wydał w 1994 roku obszerną pracę *Shadows of the Mind. A Search for the Missing Science of Conscious-*



Rys. 3. Schody Penrose'a, źródło Wikipedia

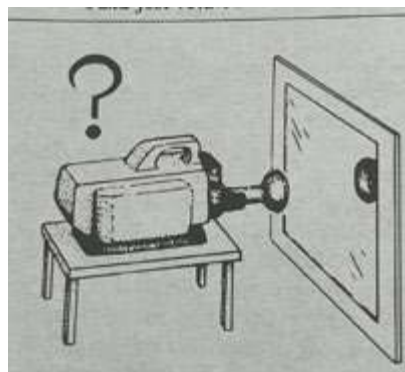


Rys. 4. Trójkąt Penrose'a, źródło: Wikipedia

ness (Cienie umysłu. Poszukiwanie naukowej teorii świadomości, Wydawnictwo ZYSK I S-KA, 2001). Trzy lata później ukazała się praca zbiorowa *The Large, the Small and the Human Mind* (Makroświat, mikroświat i ludzki umysł, Wydawnictwo Prószyński i S-ka, 1997), gdzie w pierwszej części jeszcze raz skróto przedstawia swoje koncepcje, druga część zawiera głosy polemiczne, a w trzeciej odpowiada na przedstawione zarzuty.

Mózg a sztuczna inteligencja

Idee Penrose'a dotyczące funkcjonowania mózgu, roli świadomości i możliwości stworzenia sztucznej inteligencji (ang. *Artificial Intelligence*, w skrócie AI) bazują głównie na dokonaniach współczesnej matematyki i fizyki, ale odnoszą się również do osiągnięć biologii i medycyny, w tym do neurofizjologii. Penrose odwołuje się także do kwestii ściśle filozoficznych. Niezwykle szybki rozwój technologii informatycznych sprawił, że komputery stały się wszechobecne. Coraz więcej zadań jest powierzanych udoskonalonym komputerom zaopatrzonym w programy wysokiego



Rys. 2. Rysunek Penrose'a ilustrujący pytanie, czy kamera jest samoświadoma? Źródło: R. Penrose, „Nowy umysł cesarza”

poziomu. Można powiedzieć, że życie współczesnego człowieka zależy od szybkości procesorów i od pojemności twardych dysków.

Niemal powszechnym jest przekonanie, że jest tylko kwestią czasu stworzenie maszyny, która nie tylko będzie rozwiązywać problemy według ustalonego z góry schematu, lecz, że będzie te schematy doskonalić i rozwijać, czyli będzie działać tak jak istota rozumna. Wielu uczonych jest skłonnych nawet przypisać świadomość podobną do ludzkiej takim obdarzonym sztuczną inteligencją komputerom. Według zwolenników silnej sztucznej inteligencji (*strong AI*) ludzki mózg jest porównywany z bardzo rozbudowanym układem licznych biologicznych procesorów i komórek pamięci.

Tymczasem Penrose dowodzi, że kluczowym dla całości dyskusji jest stwierdzenie, że proces myślowy nie może być porównywalny z operacjami wykonywanymi przez komputery. Twórcze myślenie wymaga rozumienia całości rozważanej sytuacji, zatem szczegółowa analiza jej poszczególnych elementów jest niewystarczająca. Dla ilustracji rozważył zadanie szachowe, które nawet mało wprawny gracz potrafi prawidłowo i szybko rozwiązać. Komputer natomiast, może wybrać po długiej analizie nawet błędne posunięcie. Chodzi o to, że gracz zrozumiałszy sytuację na szachownicy, nie musi już rozważać wszystkich możliwych sekwencji ruchów, aby dokonać skutecznego posunięcia.

W krytyce sztucznej inteligencji oparł się na fundamentalnym twierdzeniu udowodnionym jeszcze w latach 30' przez austriacko-amerykańskiego matematyka, fizyka teoretyka i filozofa Kurta Goedla (1906-1978) o istnieniu nierozstrzygalnych twierdzeń w dedukcyjnych systemach aksjomatycznych zawierających arytmetykę liczb naturalnych. Goedel sformułował twierdzenie (o niezupełności i niesprzeczności), z którego wynika, że procedury obliczeniowe wykonywane zgodnie z dowolnie złożonym, ale zadaniem z góry schematem (algorytmem) nie wyczerpują metod matematycznego dowodzenia twierdzeń. Oznacza to, że ludzka wiedza jest głębsza niż ta, którą może uzyskać komputer.

Penrose szczegółowo analizował ograniczenia wynikające ze stosowania charakterystycznych dla maszyn liczących metod indukcyjnych i doszedł do wniosku, że rozumienie, a tym bardziej świadomość istoty myślącej, nie jest wynikiem prowadzonych obliczeń, lecz ma charakter nieobliczeniowy. W podrozdziale „Niealgorytmiczny charakter procedury matematycznego wglądu” tak pisze:

„Świadomość wpływa na ocenę prawdy w niealgorytmiczny sposób, częściowo pod wpływem rozważań na temat twierdzenia Goedla. Świadomość działa w sposób niealgorytmiczny w trakcie formułowania sądów matematycznych, czyli w dziedzinie, w której rachunki i reguły dowodzenia odgrywają zasadniczą rolę. Taki niealgorytmiczny element jest kluczowy dla działania świadomości również w innych (niematematycznych) okolicznościach. (...) Matematycznej prawdy nie można ustalić posługując się tylko algorytmem. Wierzę również, że nasza świadomość odgrywa kluczową rolę w procesie rozumienia prawd matematycznych. Musimy wiedzieć, iż dowód matematyczny jest prawdziwy, aby uwierzyć w jego poprawność. To widzenie jest istotą świadomości: występuje ono zawsze, ilekroć bezpośrednio postrzegamy prawdę matematyczną. Gdy przekonujemy się, że twierdzenie Goedla jest prawdziwe, nie tylko to widzimy, ale jednocześnie dostrzegamy niealgorytmiczny charakter procesu widzenia” (R. Penrose, *Nowy umysł cesarza*, PWN, wyd. 2, 1996).

Mechanika kwantowa do rewizji

Penrose nie ogranicza się do odpowiedzi na pytanie, czy sztuczna inteligencja prowadzi do powstania świadomości, lecz docieka również, czym w ogóle jest świadomość. Twierdzi on, że procesy myślenia zachodzące w mózgu mogą być rozumiane jedynie na gruncie mechaniki kwantowej. Jest to bardzo oryginalne stanowisko, gdyż teoria kwantów odnosi się do obiektów mikroskopowych, a mózg człowieka należy do makroświata i dlatego Penrose uważa, że mechanika kwantowa stosowana z powodzeniem do opisu atomów,

cząsteczek i wielu zjawisk w mikroświecie wymaga rewizji.

Teoria kwantowa prowadzi do licznych paradoksów. Do najbardziej znanych należy tzw. „kot Schroedingera” (ang. *Schroedinger's Cat*), który w pewnych sytuacjach nie jest ani żywy, ani martwy, lecz znajduje się w stanie będącym mieszkanką życia i śmierci. Większość fizyków uważa paradoksy teorii kwantowej za problem pozorny, gdyż ideą tej teorii jest właśnie opis sytuacji sprzecznych ze zdrowym rozsądkiem. Einstein, który początkowo był sceptyczny wobec teorii kwantów (por. znane powiedzenie uczonego *Bóg nie gra w kości*) sądził, że obecność paradoksów jest spowodowana niepełnością współczesnej mechaniki kwantowej. Pogląd ten podziela i Penrose, a ponadto dowodzi, że paradoksy mechaniki kwantowej pokona nowa teoria kwantowej grawitacji (zwana teorią CQG od *Correct Quantum Gravity*).

Grawitacja kwantowa to grawitacja opisana z zastosowaniem formalizmu mechaniki kwantowej. Kwantowa teoria grawitacji zunifikowałaby mechanikę kwantową (wraz z elektromagnetyzmem, oddziaływaniami silnym i słabym) z ogólną teorią względności opisującą oddziaływania grawitacyjne. Dotychczas siła grawitacji jest jedynym oddziaływaniem występującym w przyrodzie, które daje się opisać tylko w sposób klasyczny, niekwantowy.

Kosmologowie przypuszczają, że przy powstaniu Wszechświata i w jego wczesnym rozwoju odgrywały rolę prawa kwantowej grawitacji, ale do dzisiaj nie udało się sformułować w całości spójnej teorii grawitacji kwantowej, która przewidywałaby zjawiska weryfikowalne doświadczalnie. Penrose jest zwolennikiem tego poglądu, co więcej twierdzi, że właśnie grawitacja, określająca strukturę czasu i przestrzeni, pozwoli wnikać w trudno uchwytną kwantową rzeczywistość.

Gdzie jest źródło świadomości?

Penrose uważa, że można odnaleźć obszary mózgu, w których zachodzą zjawiska kwantowe warunkujące funkcjonowanie świadomości.

Analizując układ nerwowy człowieka, ale też jednokomórkowego pantofelka, doszedł do wniosku, że siedliskiem świadomości mogą być tzw. „mikrotubule”, struktury białkowe w neuronach, odpowiedzialne za kształt komórki, jej poruszanie się i podział, regulują także przepływy sygnałów w sieci neuronów. Odwołuje się tutaj do doświadczalnych badań neurofizjologicznych, ale również obserwacji, że u ludzi cierpiących na zaburzenia świadomości, np. doświadczonych chorobą Alzheimera, stwierdzono uszkodzenia mikrotubul.

Współpracownik Penrose’a przy badaniach nad kwantową teorią świadomości Stewart Hameroff podczas badań nad znieczuleniem chorych na raka zainteresował się rolą mikrotubul w podziale komórek, co skłoniło go do spekulacji, że steruje nimi jakaś forma obliczeń. Zasugerowało mu to również, że rozwiązanie problemu świadomości może polegać na zrozumieniu działania mikrotubul w komórkach mózgowych, gdzie zachodzą operacje na poziomie molekularnym i submolekularnym. Hameroff argumentował, że to mikrotubule mogą być podstawowymi jednostkami przetwarzania, a nie same neurony. Roger Penrose niezależnie badał fizyczne podstawy świadomości, a wyniki badań zawarł w opublikowanej w 1989 roku książce *The Emperor's New Mind* (Nowy umysł cesarza), gdzie tak pisał:

„Czy jednak mechanika kwantowa nie odgrywa bardziej bezpośredniej roli w działaniu mózgu? W rzeczywistości znamy jeden przypadek, w którym oddziaływanie na poziomie jednego kwantu ma znaczenie dla aktywności neuronów. Jest tak w przy-

padku siatkówki (Pamiętajmy, że siatkówka jest częścią mózgu!). Skoro istnieją w organizmie ludzkim neurony, do pobudzenia których wystarcza pojedyncze zdarzenie kwantowe, to można chyba zapytać, czy takie komórki istnieją również w głównej części ludzkiego mózgu. Pobudzenie wszystkich dotychczas zbadanych komórek wymaga przekroczenia pewnego progu, do czego potrzebna jest duża liczba kwantów. Można jednak spekulować, iż gdzieś w głębi mózgu istnieją komórki czule na pojedyncze kwanty. Jeśli okaże się, że tak jest w istocie, będzie to dowód, iż mechanika kwantowa odgrywa ważną rolę w działaniu mózgu. (...) Wyobrażam sobie, że gdy już odkryjemy CQG, to korzystając z niej uda nam się wyjaśnić problem świadomości” (R. Penrose, *Nowy umysł cesarza*, PWN, wyd. 2, 1996).

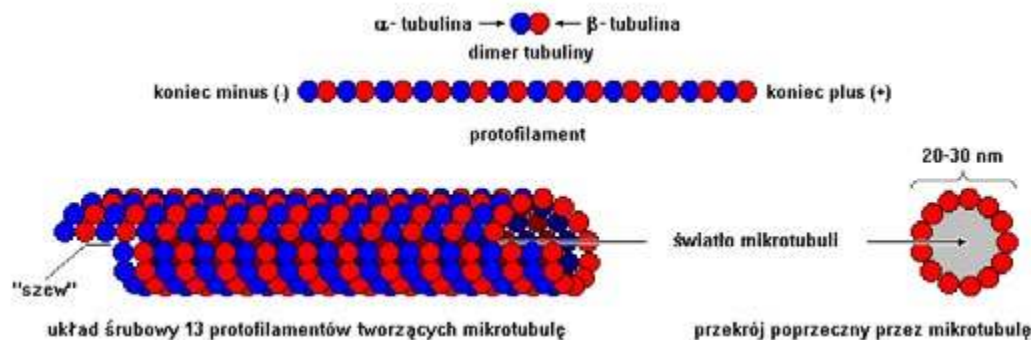
Stuart Hameroff zainspirował się książką Penrose’a i postanowił skontaktować się z jej autorem w sprawie swoich własnych teorii na temat mechanizmu znieczulenia i tego, w jaki sposób wpływa ono na świadomość poprzez działanie na mikrotubule nerwowe. Učení spotkali się w 1992 roku w Oxfordzie i wtedy Hameroff zasugerował Penrose’owi, że mikrotubule są obiektami, gdzie możliwe jest powstanie mechanizmu kwantowego w mózgu.

Penrose’a zainteresowały matematyczne cechy sieci mikrotubul i przez następne dwa lata obaj współpracowali przy formułowaniu modelu skoordynowanej obiektywnej redukcji (Orch-OR). W następstwie tej współpracy opublikował w 1994 roku drugą książkę o świadomości *Shadows of the Mind* (Cienie umysłu).

Należy jednak podkreślić, że teoria Orch-OR jest teorią kontrowersyjną, gdyż postuluje, że świadomość powstaje na poziomie kwantowym wewnątrz neuronów (nie jest produktem połączeń neuronowych) i odwołuje się do bardzo szerokiego obszaru nauki, do biologii molekularnej, neurofizjologii, farmakologii, teorii informacji kwantowej i grawitacji kwantowej, a także filozofii.

Poglądy Rogera Penrose’a na strukturę oraz funkcjonowanie ludzkiego umysłu, które przedstawił w *Nowym umyśle cesarza*, a później rozwinął w *Cieniach umysłu*, spowodowały lawinę polemik ze strony wielu światowej klasy ekspertów z różnych dziedzin wiedzy. Spora część tej krytyki została zamieszczona na łamach elektronicznego interdyscyplinarnego czasopisma *Psyche*, które poświęcone jest szeroko rozumianym badaniom nad świadomością. Do dyskusji włączyli się światowej sławy specjaliści z wielu dziedzin nauki, które w swoich dociekaniach wykorzystał Penrose. Byłem świadkiem takiej dyskusji, gdyż w 2005 roku po wykładzie Penrose’a na Wydziale Fizyki UW wręczyłem mu książkę psychologa społecznego z UW prof. Zbigniewa Zaborowskiego *Teoria treści i form samoświadomości* (Wyd. Akademickie „Żak”, 2000, w jęz. polskim, ale z obszernym kilkustronicowym streszczeniem w jęz. ang.). Współpracowałem wówczas z prof. Zaborowskim jako konsultant ds. modelowania matematycznego.

Prof. Zbigniew Zaborowski (1926-2006) był krytyczny wobec koncepcji świadomości Penrose’a, a szczególnie wiązania jej ze strukturami



Rys. 5. Schemat budowy mikrotubuli, źródło: Wikipedia

fizycznymi w mózgu. Przede wszystkim zwrócił uwagę na rozróżnienie między świadomością (ang. *consciousness*) a samoświadomością (ang. *self-awareness*). Człowieka charakteryzuje samoświadomość, czyli świadomość samego siebie, zdawanie sobie sprawy z doświadczanych aktualnie doznań, emocji, potrzeb, myśli, swoich możliwości czy ograniczeń, autokoncentracja uwagi. Prof. Zaborowski uważał, że problematyka samoświadomości sytuuje się na granicy psychologii i filozofii, jest trudna i złożona, ale nie ma związków z neurofizjologią. Samoświadomość stanowi pole badawcze psychologii społecznej i psychologii osobowości, dlatego stanowiła też obszar badawczy prof. Zaborowskiego od wielu lat. Prof. Zaborowski uważał, że:

„Samoświadomość stanowi proces przetwarzania informacji o własnej osobie, który nakłada się na różne przeżycia poznawcze, emocjonalne i motywacyjne, i dzięki ich wyrażeniu i intensyfikacji oddziałuje na zachowanie” (Z. Zaborowski, *Człowiek, jego świat i życie. Próba integracji*, Wyd. Akademickie „Żak”, 2002).

Stworzona przez Zaborowskiego teoria treści i form samoświadomości (CF od ang. *Contents and Forms*) przez specjalistów amerykańskich była oceniana jako spełniająca wymogi ogólnej teorii psychologicznej. Teoria CF ma rozległe implikacje i zastosowania w dziedzinie motywacji, emocji, tożsamości, struktury ja, stosunków międzyludzkich, wsparcia społecznego.

Bardzo możliwe, że Penrose na skutek krytyki prof. Zaborowskiego zaprzestał lansowania swojej kontrowersyjnej kwantowej teorii samoświa-

domości. Wygłaszając swój drugi wykład na Wydziale Fizyki UW w 2016 roku nie wspominał wcale o swojej teorii świadomości, a skupił się na zagadnieniach kosmologicznych.

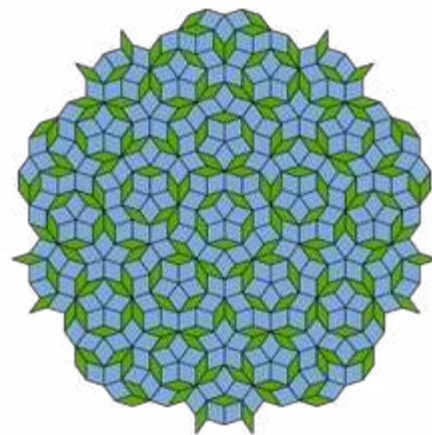
Model Hameroffa i Penrose’a spotkał się ze sceptycyzmem ze strony znanych specjalistów z wielu dyscyplin. Rick Grush i Patricia Churchland, filozofowie umysłu i neurofizjolog z Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego, argumentowali, że dowody fizjologiczne wskazują, że świadomość w żadnym przypadku nie zależy bezpośrednio od właściwości mikrotubul. W 2000 roku amerykański fizyk i kosmolog, profesor z Massachusetts Institute of Technology, Max Tegmark (ur. 1967 r.) obliczył, że stany kwantowe w mikrotubulach przestałyby zachodzić po stu biliardowych części sekundy, czyli zbyt krótko, aby mieć jakiegokolwiek znaczenie dla procesów neuronowych (M. Tegmark, *Our Mathematical Universe*, 2014). Christof Koch (amerykański neurobiolog, ur. 1956 r.) i Klaus Hepp (szwajcarski fizyk teoretyk, ur. 1936 r.) stwierdzili, że spójność kwantowa nie odgrywa lub nie musi odgrywać żadnej większej roli w neurofizjologii. W 2022 r. grupa włoskich fizyków przeprowadziła kilka eksperymentów, które nie dostarczyły dowodów na poparcie modelu świadomości związanego z grawitacją kwantowego zapadnięcia się, osłabiając tym samym możliwość kwantowego wyjaśnienia świadomości.

Oprócz fizyki i kosmologii Penrose zajmuje się matematyką i geometrią. Znany jest parkietaż Penrose’a (ang. *tessellation, tiling*), który pokrywa płaszczyznę w sposób nieokresowy za pomocą jedynie dwu rodzajów „kafelków”. Okazało się, że ten sposób podziału płaszczyzny występuje w naturze w postaci kwazikrystalłów.

Prof. Penrose zajmuje się również filozofią nauki i filozofią umysłu. Bronił idei platonizmu matematycznego oraz nieobliczalności ludzkiego rozumowania.

Podsumowanie

Przedstawiony dorobek popularyzatorski i interdyscyplinarny prof. Rogera Penrose’a jest wartościowy dla dydaktyki fizyki, gdyż ukazuje postać naukowca jako twórcą jed-



Rys. 7. Parkietaż Penrose, źródło: Wikipedia

nostkę, podejmującą się różnorodnych, trudnych zagadnień badawczych i to nie tylko w przedmiotowej dziedzinie, ale też w obszarach innych nauk. W swojej działalności nie ogranicza się tylko do publikacji wyników badań własnych w specjalistycznych czasopismach naukowych, lecz przybliża szerokiemu kręgowi czytelników stan obecny nauki włączając najnowsze odkrycia, przy czym rozważa ich wpływ na zmiany cywilizacyjne.

Zastanawiające jest, dlaczego Penrose otrzymał Nagrodę Nobla w tak zaawansowanym wieku (89 lat!). Ale prof. Hawking, mimo że za życia uważany był za geniusza, w ogóle nie otrzymał tej zaszczytnej Nagrody. Śledząc historię przyznawania Nobla z fizyki przypuszcza się, że Komitet Noblowski niechętnie nagradza fizyków teoretyków. Podobnie prof. Peter Higgs (1929-2024) otrzymał Nagrodę Nobla na stare lata (w wieku 84 lat), mimo wybitnych osiągnięć w dziedzinie fizyki cząstek elementarnych (odkrycie bozonu Higgsa). Bardzo możliwe, że na zwleknięcie z przyznaniem Nagrody Nobla wpłynęły kontrowersyjne badania Penrose w zakresie świadomości i lansowanie przez niego kwantowej teorii świadomości wraz z anestezjologiem Hameroffem, który przez krytyków jego działalności uważany jest za psychotronika. W historii nauki bywały przypadki usilnego lansowania przez naukowców błędnych teorii, a także badań pseudonaukowych.

Dr Edward Rydygier

Autor fizyk jądrowy, dr nauk technicznych, posiada tytuł Fizyka Europejskiego (EurPhys), jest aktywistą Sekcji Nauczycielskiej PTF. Interesuje się nowoczesną popularyzacją fizyki i wykorzystaniem mediów w edukacji i popularyzacji nauki



Rys. 6. Stewart Hameroff i Roger Penrose. Źródło: portal University of Arizona

Problemy z jednostkami

Na początku tego roku miałem wątpliwą przyjemność wzięcia udziału w konsultacjach dotyczących zmian w programie nauczania.

Jerzy Kuczyński

Przyjemność była wątpliwa, bo rzucało się w oczy, że proponowane zmiany były nieprzemyślane a wydało mi się, że zasada wybierania haseł do usunięcia (zmiany były dokonywane pod hasłem „odchudzenia programu”) sprowadzała się do wyrzucenia z programu nauczania fizyki treści nieco trudniejszych przy pozostawieniu tych łatwiej przyswajalnych. Oczywiście powinno być dokładnie na odwrót. Można usunąć to co przyszedł dorosły w razie potrzeby sam może opanować a trzeba pozostawić to do czego nauczania się potrzebna jest pomoc nauczyciela.

Równoległe do usuwania pewnych treści z programu ministerstwo powinno zadbać o obszerny i stale uzupełniany i łatwo dostępny zestaw materiałów do uzupełniania wiedzy. Konieczność uzupełniania wynika z tego, że obecny uczeń poczuje braki w swoim wykształceniu za kilka, kilkanaście lat, kiedy wiedza ulegnie

pewnym zmianom. W rzeczywistości program szkolny powinien ograniczyć się do przekazania uczniom tych elementów wiedzy, które są niezbędne by samodzielnie rozumieć teksty naukowe (na pewnym poziomie!). Oczywiście to najtrudniejsze elementy programu szkolnego. Trudne i dla większości uczniów mało ciekawe. Ale nie bez powodu szkoła jest obowiązkowa¹!

Jednym z takich „mało ciekawych” elementów fizyki są jednostki i ich przeliczanie. Tak jakoś mi trafiło, że ten problem jest dla mnie dość fascynujący i jednym z powodów mojej irytacji przy zapoznawaniu się z propozycjami zmian w programie fizyki było to, że proponowano usunięcie tego zagadnienia a które uważam na niezbędne. Po pierwsze jest przydatne w prawie wszystkich zawodach. Nawet literaturoznawca od czasu do czasu musi jakieś jednostki przeliczać (np. strony w książce na znaki drukarskie). Dla handlowca², lekarza lub inżyniera przeliczanie wielkości podanych w różnych jednostkach to codzienność. A już najgorzej z urzędnikami, dla których

¹ Warto zwrócić uwagę na to, że zarówno ciekawe jak i bezpośrednio przydatne w życiu elementy wiedzy są nauczane i to na koszt uczących się. Przykładem są wszelkiego rodzaju kursy np. językowe czy „na prawo jazdy”. Mimo oczywistej przydatności a nawet niezbędności nauczanych tam umiejętności nie ma żadnego powodu „wyważania otwartych drzwi” i dopłacania do tej części „systemu oświaty”.

² Np. zawartości towaru w różnych opakowaniach.

mylenie jednostek oznacza ogromne szkody... dla nas wszystkich³. Dlatego przeliczanie jednostek uważam za jeden z najważniejszych elementów edukacji szkolnej.

Zaraz po napisaniu co myślę o zmianach w programie szkolnym zacząłem pisać tekst o jednostkach. Ponieważ pisałem głównie „sobie a muzom” miałem ambicje napisania czegoś interesującego. Konkretnie chciałem napisać o związkach dawnych systemów jednostek ze współczesnymi ideami teorii pola.

Nie jest to zbyt powszechnie znane i może nie jest zbyt ważne, ale dawniej ludzie „w jednostki” wkładali różne rzeczy takie jak np. fracht czy marżę handlową⁴. To ostatnie miało, dla współczesnego człowieka, dość nieoczekiwane konsekwencje. Np. „objętość” towarów sypkich (mąka, kasza) mierzono w korcach, gdzie ważne były, dla nas nieistotne wielkości, takie jak wysokość i średnica ceberka stanowiącego wzorzec korca.

Otóż kupowano i sprzedawano na te same ceberki i za tą samą cenę, ale kupiec kupował od producenta „z czubem” a sprzedawał „pod strychulec” czyli na płasko – marżę handlową stanowił „czub” oczywiście większy dla szerszego a płytszego ceberka. Istotny był nawet sposób sypania – sypanie z większej wysokości ubija materiał. Ale to już raczej „wyższa szkoła jednostek” dla mnie ciekawa, ale dla ucznia pewnie niezrozumiała. Może dlatego tekstu nie dokończyłem.

Jednak ostatnio problem mi się przypomniał i to na zupełnie elementarnym poziomie. Otóż w „Polityce”, czyli wydawałoby się dość rzetelnym piśmie, omawiając ostatnią powódź (nr 40 s. 60) autor użył sformułowania „opady powyżej 200 mm na metr kwadratowy. Kiedyś tak czasem mówiły „pogodynki”⁵, ale to co w mowie można uznać za przejęzyczenie to w piśmie, zwłaszcza mającym ambicje „opiniotwórczego” jest niedopuszczalne. A rzecz jest zupełnie oczywista. W języku polskim słowo „na” oznacza dzielenie. Intuicyjnie jest jasne, że np. 30 litrów na m² oznacza, że na powierzchnię metra kwadratowego spadły dwa 15 litrowe wiadra deszczu. Nietrudno to przeliczyć na milimetry. Litr to 10⁻³ m³ więc 10⁻³ m³/m² = 10⁻³ m = 1 mm. Sens tego rachunku jest oczywisty – litr wody rozlany na metrze kwadratowym to jezioro o głębokości 1 mm, czyli jak mówią meteorolodzy 1 mm słupa (wody). A więc milimetry i litry na metr kwadratowy to to samo.



Milimetr na metr kwadratowy to oczywiście 10⁻³ m⁻¹. Ta wielkość w układzie SI nazywa się milidioptrią nie ma nic wspólnego z opadami a służy do pomiaru zdolności skupiającej układów optycznych. Popeliłem tu pewne dość istotne z nadużycie, które warto wyjaśnić. Otóż miano wielkości fizycznej nie jest jednoznacznie związane z sensem fizycznym i co istotniejsze niektóre matematyczne działania nie zmieniające wielkości można uznać za zmieniające jej fizyczny sens. Rozszerzanie i skracanie ułamka opisującego jednostkę w pewien sposób zmienia sens tej jednostki. Jeżeli rozszerzymy dioptrię przez m² to uzyskamy m²/m³. Dla oficera ładunkowego statku jest to czytelną jednostką tego, ile jakiegoś towaru mierzonego w metrach kwadratowych (np. tafli szkła) zmieści się w danej przestrzeni ładunkowej statku. Rachunki prowadzące do wyznaczania jednostek są, jak wiemy zupełnie elementarne i jak dotychczas były obecne w szkolnych podręcznikach. Inna sprawa czy przykładano do nich wystarczającą wagę. A jak widać problem jest w praktyce bardzo istotny!

Warto się zastanowić nad tym jak wybierać wielkości mające określać „ilości opisujące świat”. Otóż ogólnie rzecz biorąc rozsądnie jest wybierać wielkości zachowywane i używać takich jednostek tych wielkości by uzyskane liczby były intuicyjnie zrozumiałe, czyli były możliwie niewielkie. Dlatego mówiąc o budżecie Państwa używamy miliardów a na nasze codzienne potrzeby finansowe tylko tysięcy. Problem wyboru właściwej wielkości i jej jednostki dobrze ilustruje handel drewnem. Ilość

³ Znakomitym przykładem jest coś co można nazwać problemem „3 sekund”. I w Internecie wmawiają nam (policja?), że mamy jechać samochodem w takiej odległości od pojazdu poprzedzającego by dojechać po trzech sekundach do miejsca, gdzie w tej chwili widzimy ten pojazd. W rzeczywistości przepis Kodeksu mówi, że mamy jechać w odległości w metrach równej połowie prędkości w km/h. Można się zgodzić, że to mało zgrabne sformułowanie, ale dość praktyczne – jeżeli jedziemy 60 km/h to mamy być w odległości 30 m od pojazdu poprzedzającego. Przeliczenie to na czas jazdy to problem dla siódmoklasisty – trzeba podzielić odległość przez prędkość. A więc $t = s/v$, czyli $30 \text{ m} / (60 \text{ km/h}) = 1,8 \text{ s}$. W konkretnym przypadku siódmoklasista powinien sobie poradzić. Trochę gorzej w ogólnym przypadku, ale i tu uczeń nie jest całkiem bez szans i rachunek może przebiegać tak $t = (1/2) \cdot \text{m} / (\text{km/h}) = 1/2 \text{ m} \cdot (3600 \text{ s} / 1000 \text{ m}) = 1,8 \text{ s}$ czyli czas jest ten sam dla dowolnej prędkości. Rachunek wskazuje, że „powiadamiający nas o obowiązującym prawie” oszukują ilościowo prawie dwukrotnie. Mam nadzieję, że za wielu kierowców nie dostało na podstawie tej interpretacji mandatów i punktów karnych.

⁴ W XVIII w Londynie cena „ceberka” węgla z Newcastle, czyli tzw. węgla morskiego, była ta sama co w porcie załadunku. Ceberki też był taki a sam fracht był zawarty w innym sposobie załadunku ceberka. Zbliżone rozwiązania dotyczyły innych towarów i to podobno na całym świecie. Wkładanie „marży” w jednostkę było dość powszechne i częściowo wynikało z ideologii (z biblijnego zakazu lichwy). Stąd inne jednostki przy sprzedaży i zakupie, zwłaszcza gdy obie czynności zachodziły w różnych miejscach! Ze współczesnego punktu widzenia takie postępowanie to nic innego jak „cechowanie lokalne” czyli podstawa nowoczesnej teorii pola. Jak widać dawne sposoby mierzenia i handlowania mogą być niezłym wstępem do współczesnej fizyki. Polecam książkę „Miary i ludzie” W. Kuli. Podobne w kwestii samych jednostek polecam A. Weintra „Jednostki miar wczoraj i dziś” gdzie znajdziemy wyczerpujący opis większości jednostek używanych w ostatnich wiekach i współcześnie.

⁵ Ale już tak nie mówią. Pewnie ktoś im to wytłumaczył. Natomiast dalej mówią, że „barometry wskażą ...”. Oczywiście nie wskażą, bo podawane ciśnienie jest zwykle zredukowane do pewnych standardowych wysokości, najczęściej do poziomu morza.

drewna opisujemy objętością i używamy do tego celu metrów sześciennych. Warto zastanowić się, dlaczego nie handlujemy drewnem w tonach i kilogramach tak jak to robimy w przypadku węgla. Otóż przyczyną jest higroskopijność drewna. Ta sama ilość drewna po dłuższym pobycie w wilgotnym otoczeniu zyskuje na masie. A w suchym pomieszczeniu potrafi stracić znaczną część swojej masy. Objętość zmienia się znacznie mniej⁶. Dlatego do pomiaru ilości drewna wolimy używać objętości niż masy.

Warto też zwrócić uwagę na to, że z zasady preferujemy prostotę pomiaru i często na jej rzecz rezygnujemy z dokładności. Np. handlując drewnem opałowym używamy „metra przestrzennego” czyli ilości drewna jaką daje się ułożyć w skrzyni o określonych wymiarach. W przypadku drewna opałowego oznacza to ułożenie z większą lub mniejszą ilością luk i godzimy się nawet na kilkunastoprocentową niepewność pomiaru. Warto zauważyć, że podobnie zachowujemy się na stacjach paliw. Do pomiaru używamy objętości, mimo że zawartość energii w paliwie zależy od masy. Benzyna wykazuje kilku procentową rozszerzalność termiczną więc kupując „na litry” zgadzamy się z taką tolerancją.

Zdarza się, że z tego typu własności jednostek wykorzystuje się do oszukiwania. Dobrym tego przypadkiem jest wykorzystywanie do oceny mocy bomb jądrowych tzw. kiloton TNT. Otóż trotyl traktowany jako paliwo jest b. słaby. Konkretnie ma nieco ponad 4 MJ/kg podczas gdy np. benzyna to 42-44 MJ/kg. Stąd, gdy uda się zmusić do wybuchu paliwo węglowodorowe to efekt jest „teoretycznie” 10 krotnie większy od wybuchu trotylu. Powód jest oczywisty – chemiczne materiały wybuchowe zawierają wszystkie składniki potrzebne do reakcji a paliwo trzeba dopiero mieszać z powietrzem by wybuchło.

W rzeczywistości to co powoduje, że trotyl jest „mocnym materiałem wybuchowym” nie jest zawartość energii chemicznej a ilość wydzielonych gazów i tempo spalania. A więc problemem jest taki sposób mieszania paliwa z powietrzem by dynamika spalania była zbliżona

do trotylowej, co wcale nie jest łatwe. Podobnie skutek wybuchu bomby jądrowej jest nieporównanie słabszy od wybuchu jej analogu trotylowego. Znowu oczywiście nie biorąc pod uwagę innych czynników takich jak np. promieniowanie jonizujące.

Dzisiaj (początek października) przeczytałem o użyciu na Ukrainie „najpotężniejszej niejądrowej bomby”. Chodzi o coś co kiedyś nazwano bombą paliwowo – powietrzną a teraz termobaryczną. Wspomniana bomba ODBA-9000 odpowiada energetycznie 44 tonom TNT. Warto ocenić jej realną moc⁷. Uważa się⁸, że promień zniszczeń spowodowany wybuchem jest 20 krotnie większy od promienia wybuchającego materiału. W b. dużej bombie termobarycznej (czyli paliwowej) wybuchający materiał ma średnicę ponad 20 metrów (bomba najpierw uwalnia paliwo by mieszać je z powietrzem a dopiero potem inicjuje wybuch mieszanki) co da kilkaset metrów średnicy obszaru zniszczeń. Przy okazji warto zauważyć, że taki obszar zniszczeń odpowiada kilotonowej bombie jądrowej. A więc skutki wybuchu kilkudziesięciu ton materiału chemicznego odpowiadałoby kilkuset tonom „jądrowym”. Jak widać zgrabnie dobierając jednostki, w tym przypadku kilotony TNT, można przy względnie poprawnym rachunku można całkiem sporo wmówić odbiorcy informacji.

Dla mnie konkluzja jest oczywista. Jednostki są bardzo istotną częścią wiedzy o naszym świecie. I nawet nie wchodząc w subtelności dawnej „metrologii” warto, przynajmniej na elementarnym, poziomie upowszechnić reguły dotyczące przeliczania jednostek. Raz po to by rozumieć świat. Po drugie by utrudnić oszukiwanie, bo właśnie w jednostkach tkwią, jeżeli nie największe to na pewno duże możliwości oszukiwania. I w końcu tego typu rachunki są dość proste i nawet ucznia szkoły podstawowej można tego nauczyć, przyzwyczajając go do ilościowego podejścia do rzeczywistości. A w końcu właśnie to podejście jest istotą fizyki.

Jerzy Kuczyński
Akademia Śląska

⁶ Co nie znaczy, że zmiany objętości drewna czasem nie są istotne. Np. drewniana łódź przechowywana zimą w hangarze najczęściej zwodowana wiosną cieknie a nawet tonie. Nie trwa to zbyt długo – drewno pęcznieje i łódź przestaje cieknąć.

⁷ Przy okazji podano, prawdopodobnie z powodu pomylenia metrów z metrami kwadratowymi, absurdalnie małą powierzchnię obszaru zniszczeń tej bomby odpowiadającą promieniowi około 13 metrów.

⁸ Z. Mendięgra „Arsenal Belony”, Wydawnictwo MON, W-Wa 1977 s. 244.



Dydaktyka kognitywistyczna

Jeden z pierwszych komentarzy do poprzedniego artykułu [1] mówił, oprócz tego, że tekst był bardzo krytyczny (celowo, zazwyczaj nasza krytyka, dość uprzejma, bywa niezauważana, przez co nie odnosi skutku), że brakowało konkluzji. Rzeczywiście – za komentarz dziękujemy. Jakaż miałyby być konkluzja artykułu krytykującego treści nauczania fizyki w polskiej szkole? Toż przecież chodzi o Fizykę, jako o naukę przez duże „F”! Bynajmniej – nie o fizykę, ale o jej nauczanie a właściwie treści.

Grzegorz Karwasz, Katarzyna Wyborska

Treści to fizyka, nieprawdaż? Tak, ale pozostaje „nauczanie”. Co, a właściwie kogo my mamy nauczać? Fizykę, czy ucznia? I to jest sedno rewolucji, zwanej kognitywistyczną – celem nauczania nie są treści, ale *nauczanie ucznia* (gra słów w języku polskim). Posuwając się do granic prowokacji: nieważna jest fizyka, ważne, czy to *nauczanie* fizyki wytworzy w umyśle (i charakterze) młodego człowieka te cechy, które *jemu*, a przez niego i całemu *społeczeństwu* będą przydatne. Chodzi więc o kształtowanie umysłu. A po łacinie *cogito* to „myślę”. Kognitywistyka to zespół różnorodnych gałęzi nauk, mających za przedmiot umysł. Dydaktyka też się w kognitywistykę wpisuje.

Konstruktywizm, jak sama nazwa wskazuje zajmuje się konstruowaniem wiedzy w umyśle młodego człowieka – bardziej procesem, niż wynikiem. W tej definicji pojawia się jeszcze jedno słowo kluczowe: „umysł”. Fizyka, w pierwszym znaczeniu, tym sformułowanym przez starożytnych Greków – to natura, ta która nas otacza. W drugim znaczeniu, tym niezbyt lubianym – szkolny przedmiot. Ale jak wieża Eiffla jest obiektem a jej zdjęcie jedynie przedstawieniem, tak w umyśle młodego człowieka zagnieżdża się nie fizyka jako nauka ze swoimi osiągnięciami i pytaniami, ale *obraz* tej fizyki. Przedmiotem kognitywizmu jest badanie tego obrazu – niewidzialnej konstrukcji w umyśle ucznia. Jednym z twórców kognitywizmu jako dziedziny nauki, nie tylko dydaktyki, był syn emigrantów z Polski, Jerome Bruner (1915-2016).

Jerome Bruner tak pisał pod koniec swej twórczości: „Rewolucja kognitywistyczna, tak jak była ona wirtualnie pomyślana, wymagała, aby psychologia połączyła swoje siły z antropologią i lingwistyką, filozofią i historią, a nawet z naukami prawnymi. Nie dziwi i nie jest to przypadkowe, że Centrum Studiów Kognitywnych na Harvardzie miało wśród członków *filozofa, intelektualnego historyka i lingwistę*. To była znacznie głębsza rewolucja [niż samo odrzucenie behawioryzmu]. Jej celem było odkrycie i opisanie formalne znaczeń, jakie istoty ludzkie wytwarzają w procesie zderzenia ze światem, a następnie zaproponowanie hipotez, jakie procesy nadawania znaczeń zaszły. Była zogniskowana na aktywności symbolicznej, jakie istoty ludzkie wykorzystują w konstruowaniu i nadawaniu sensu nie tylko światu, ale samym sobie.”

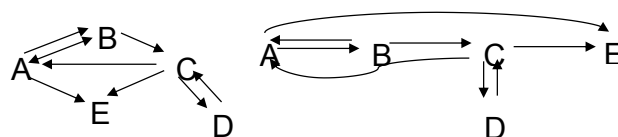
Innymi słowy, rewolucja kognitywistyczna to rozwinięcie koncepcji poznawczych Immanuela Kanta (1724-1804), fizyka i kosmologa (napisał podręcznik geografii i sformułował hipotezę powstania Układu Słonecznego z mgławicy proto-planetarnej), a drugiej połowie swojego życia – filozofa. Kant jest autorem tzw. rewolucji kopernikańskiej w teorii poznania: poznajemy nie świat, taki jak on jest („sam w sobie”) ale taki, jaki sobie wyobrażamy. Poznajemy świat poprzez nasze koncepcje. Kiedy widzimy obiekt na czterech nogach z drewnianym „błatem”, to uznajemy to za stół, chociaż może to być stylizowana rzeźba, choćby psa.

Kognitywiści, głównie psychologowie, po latach mechanistycznego badania człowieka przez behawiorystów – jako przedmiotu machinalnie odpowiadającego na bodźce, wracają do koncepcji człowieka jako podmiotu aktywnie tworzącego w swoim umyśle wyobrażenia o świecie, w tym o naturze, czyli Fizyce.

Jerome Bruner tak pisał o „Poszukiwaniu teorii nauczania” [2] (przypatrzmy fragmenty). „Rozwój umysłowy jest uzależniony od systematycznego oraz okolicznościowego kontaktu między wychowawcą a uczniem. Teoria nauczania musi określać sposoby nadawania dowolnemu zasobowi wiedzy takiej struktury, która czyniłaby tę wiedzę najłatwiej przyswajalną dla ucznia. [...] Wartość struktury zależy od tego, czy posiada zdolność *upraszczania informacji*, tworzenia nowych twierdzeń oraz rozszerzania operatywności danego zasobu wiedzy; struktura musi być zawsze dostosowana do *sytuacji ucznia i jego uzdolnień*.”

Matematyka to nasz szósty zmysł

Jerome Bruner zaczynał pracę jako nauczyciel matematyki. I, podobnie jak my w pierwszym artykule [1], zauważył poznawcze zalety matematyki od jej „sadystrycznych” aspektów. Matematyka stawia, co prawda, zadania skomplikowane, ale oferuje niezwykle narzędzia



Rys. 1. Najpierw rysujemy połączenia tak, jak je opisuje treść zadania. Potem, rozciągamy graf jak apteczną gumkę. Wynik jest prosty: należy lecieć przez Boston i Concord. Ale uwaga! Elmira to pułapka: nie wróćmy w ciągu tego samego dnia.

do ich rozwiązywania, a te z kolei, służą do wielu innych zagadnień. Jako przykład podaje Bruner planowanie podróży samolotem między pięcioma miastami. Miasta to Albany, Boston, Concord, Danbury i Elmira, a dostępne połączenia w ciągu jednego dnia to loty: 1) z Bostonu do Concord, 2) z Danbury do Concord, 3) z Albany do Bostonu, 4) z Concord do Elmiry, 5) z Albany do Elmiry, 6) z Concord do Danbury, 7) z Bostonu do Albany, 8) z Concord do Albany. Jak należy zaplanować podróż, aby w ciągu jednego dnia dolecieć z Albany do Danbury i wrócić?

Tak sformułowane zadanie przywołuje nasz krytyczny rysunek z pierwszego artykułu. Ale matematyka, a w szczególności tzw. grafy, tworzą z tej łamigłówki zagadnienie banalnie proste, nawet dla przedszkolaka. Rys. 1 pokazuje sposób rozwiązania.

Pisze dalej Jerome Bruner. „Zapoznanie uczącego z poszczególnymi dziedzinami wiedzy nie powinno polegać na wbijaniu mu do głowy ich wyników. [...] Celem uczenia danego przedmiotu nie ma być produkowanie *małych chodzących encyklopedii*, lecz doprowadzenie do tego, by uczeń zaczął samodzielnie myśleć w sposób matematyczny.”

Przytaczaliśmy już słowa polskiego dydaktyka Zbigniewa Pietrasieńskiego (1926-2010): „Myślenie jest warunkiem uczenia się, ale i jego najważniejszym wynikiem”. Każdy szkolny przedmiot może myślenie wyzwalać, niezależnie czy to fizyka czy język angielski.

Powstawanie słowa

Wśród kognitywistów istotną rolę odgrywają specjaliści od języka, jako sposobu porozumiewania się. Fizyk, matematyk i filozof Gottfried Leibniz (1646-1716) napisał: „Języka jest zwierciadłem duszy”. Dopiero niedawno, w 2014 roku, nowoczesne metody mapowania sygnałów w mózgu, korzystające z nadprzewodzących magnesów, pozwoliły na lokalizację słów w mózgu człowieka. Wcześniej, na podstawie badania wojennych inwalidów z I wojny światowej, lokalizowano obszary w mózgu jako „płat ciemieniowy odpowiedzialny za widzenie” itd. Nieco jak w dawnym dowcipie, o radzieckim uczonym: „Po oderwaniu szóstej nogi mucha oślepnęła”. Pisał inny fizyk, dominikanin, Stanley Jaki (1924-2009): „Gdzie jest myśl w mózgu człowieka? Wszędzie i nigdzie.”

Artykuł z renomowanego czasopisma „Nature” z 27.04.2016 odpowiada na pytanie: „Gdzie dokładnie są słowa w Twojej głowie?” [3]. Naukowcy stworzyli interaktywną mapę, która pokazuje, które obszary mózgu reagują na słyszenie różnych słów. Mapa pokazuje, w jaki sposób język rozprzestrzenia się w korze mózgowej i na obu półkulach, pokazując grupy słów zlokalizowane razem według znaczenia. Piękny interaktywny model pozwala nam zgłębić skomplikowaną organizację ogromnych słowników w naszych głowach.

Okazuje się, że to samo słowo jest magazynowane w kilku kopiach. I tak angielskie „top” sąsiaduje z nazwami wierzchołków gór, z innymi słowami na „t”, a także ze słowami opisującymi modę i modelki („top model”). Wreszcie rozumiemy, dlaczego czasem tak długo szukamy w „naszej głowie” imienia krewnego, nazwy miasta,



Rys. 2. Mapa mózgu, z lokalizacją słów. Wygenerowane przez AI.

nazwiska autora twierdzenia fizycznego. A rozumiejąc, że „jednostajny” i „jednostajnie” różnią się od siebie jak przymiotnik od przysłówka (a nie pamiętamy, że „miot” to rzeczownik a „słowo” oznacza czasownik), to może lepiej te dwa rodzaje ruchów umiejscowić w części dźwiękowej – ruchowej mózgu? „Jak stuka kulka po poziomym stole?” „Równomiernie, prawda?” „A na pochyłym stole – co robi? Przyspiesza, prawda?”

Nietrudno znaleźć podobne przykłady wśród dzieci (uczniów) dookoła nas. Trzyletnie dziecko, które od urodzenia znosi obecność psa w domu i od rodziców nauczyło się go określać przez onomatopcję, taki dialog: – Nina, powiedz „konik”. – Konek. – Powiedz „Maja”. – Maja. – Powiedz „Lili”. – Lili. – Powiedz „piesek”. – Hau, hau! Nic, w stosunkowo mało operatywnym umyśle dziecka nie jest w stanie zmienić kolokacji słowa „piesek.” Jest to umiejscowienie znaczeniowe a nie fonetyczne.

„Dydaktycy” fizyki, jak już pisaliśmy, nazywają te (uzasadnione) kolokacje pre-koncepcjami, i próbują z nimi walczyć jak Don Kichot z wiatrakami. Bez sensu. „Hau, hau” trzyletniej Niny, przekonanie ucznia, że bez działania sił ciała zatrzymują się, i obserwacja studenta, że sól „wytapia” dziury w lodzie są przejawem ekonomii umysłu, czytaj: racjonalności. Pre-koncepcje eliminujemy nie stwierdzeniem „dwójka, siadaj!” ale pokazaniem, jak po minimalnie pochylonym stole kulka stacza się ze stałą prędkością: pre-koncepcja zostaje uzupełniona, w nowej komórce mózgu, o obserwację realną zjawiska fizycznego. Lód nie topi się pod „wpływem” soli, ale mieszanina wody i soli (jak na przykład woda morska) ma niższą temperaturę zamarzania niż czysta woda. Wyjaśniamy obserwowane zjawiska sięgając do innych, alternatywnych zasobów istniejących w umyśle studenta.

Dydaktyczna wskazówka jest jasna: im więcej wytworzymy w umyśle ucznia możliwych skojarzeń, nawet zabawnych czy absurdalnych, tym większa szansa, że powstała wiedza będzie *operatywna*, to znaczy zostanie użyta w określonej potrzebie. Zresztą, Gell-Man też sobie zażartował, nazywając trzy składniki protonu kwarkami, czyli twarożkami. A my (GK i dr T. Wróblewski

Proton (uud)

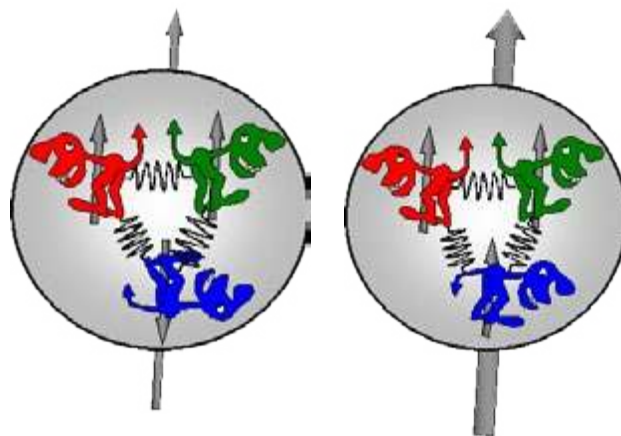
Izospin=1/2
Masa $m=938.27231 \pm 0.00028$ MeV (=1836 mas elektronu*)
Moment elektryczny $D=(-3,7 \pm 6,3) \cdot 10^{-23}$ ecm
Moment magnetyczny $\mu=2,792847386 \pm 0,000000066 \mu_B$
Czas życia $\tau=1,6 \cdot 10^{25}$ lat (wiek Wszechświata $\approx 14,5 \cdot 10^9$ lat)

Neutron (udd)

Izospin=1/2
Masa $m=939.56563 \pm 0.00028$ MeV (nieco więcej niż proton)
Moment elektryczny $D < 12 \cdot 10^{-26}$ ecm
Moment magnetyczny $\mu=-1,91304275 \pm 0,000000456 \mu_B$
Ładunek elektryczny $q=(-0,4 \pm 1,1) \cdot 10^{-21}$ e (czytaj: zero!)
Czas życia $\tau=888,65 \pm 3,5$ s (= kwadrans akademicki!)

Barion $\Delta^+(uud)$

Izospin=3/2
Masa $m=1230-1234$ MeV (tak mniej więcej)



Rys. 3. Zabawowe przedstawienie protonu i barionu delta jako złożenia dwóch kwarków up (ogonem do góry) i jednego down. Barion delta ma spin 3/2 i nieco większą masę niż proton [4].

z Akademii Pomorskiej w Słupsku) nadaliśmy im fizjonomię kolorowych piesków. Co pozwala nam na pokazanie nie tylko protonu i neutronu, ale i barionu delta, nieco cięższego i o większym spinie, rys. 3.

Procesy poznawcze są bardzo, bardzo skomplikowane. Nawet w przypadku elementarnych operacji, jak czytanie czy słuchanie. Pokazujemy to cytując inną, niedawną pracę [5], o dysleksji.

Modne są ostatnio (a moda ta, niestety, przyszła z Zachodu) tzw. deficyty kognitywne (albo „potrzeby specjalne”): dysleksja, dyskalkulia itd. O ile, nasza filozofia dydaktyczna darzy każdego ucznia najwyższym szacunkiem, przejście do porządku dziennego nad tymi odmiennościami poznawczymi jest – dla ucznia, krzywdzące. Jest potrzebny nie tyle nauczyciel dodatkowy, co zrozumienie, że nie wszyscy muszą, w dzisiejszym świecie, umieć wszystko. A czytanie, szczególnie „na głos” jest kognitywnie operacją bardzo skomplikowaną i nie-naturalną.

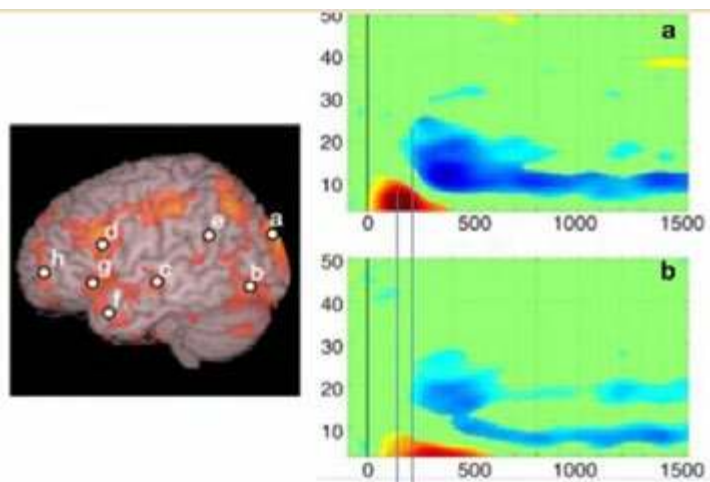
Pokazuje to rys. 4. Co więcej, niedawne badania pokazały, że dysleksja nie polega na niedostatecznie szybkiej interakcji sygnałów. Wręcz przeciwnie, w normalnym czytaniu między zobaczeniem tekstu a jego zrozumieniem musi upłynąć jakieś 20 ms. W dysleksji brak jest tego opóźnienia. Stąd terapia dysleksji, zaproponowana przez wybitnego neuro-pedagoga włoskiego, prof. Piera Crispianiego, polega na uczeniu rytmiki, na przykład w wylczankach „ene due rabe, połknął bocian żabę”. Jeśli dzieci w wieku 5 lat nie uczestniczą w tego rodzaju zabawach, w wieku 7 lat mogą wykazywać dysleksję.

Embodiment

Słowem bardzo modnym ostatnio, również w dydaktyce, jest „embodiment”, co powinniśmy przetłumaczyć jako „ucieleśnienie” albo „wcielenie”. Koncepcja wywodzi się z obserwacji, że poznajemy świat nie tylko umysłem, ale również zmysłami – a raczej na odwrót: zmysłami, a umysł tylko wrażenie porządkuje i uogólnia. Mówimy, że ktoś jest „wzrokowcem” a inny „słuchowcem”. Inni muszą przedmiotu dotknąć, aby go zrozumieć. Sam Newton, jako dziecko, zamiast pilnować krów, strugał przedmioty z drewna – wózki, młyny, wiatraki. Skandalem w całej parafii Grantham było drewniane koło, jak dzisiaj w klatkach dla chomików, a biegająca w niej mysz napędzała model wiatraka. Jak pisze biograf Newtona [6], nieco z desperacji wysłano Izaaka do szkół.

Podział na wzrokowców, dotykowców (i „myślowców”) nie jest to jedynie kwestią wrodzonych zdolności, ale też treningu. Wniosek dla naszej dydaktyki? Poszukiwać dla każdej wiadomości różnych sposobów przekazu, tak, aby wykorzystać wszystkie możliwości percepcyjne poszczególnych uczniów.

Ale embodiment można rozszerzyć – tak aby uczeń czuł prawa fizyki całym ciałem. W Muzeum Nauki w Trydencie, dla pokazania pojęcia ciśnienia, zamontowano łóżko fakira – z kilkuset gwoździami (a właściwie końcówkami krzyżowych śrubokrętów). A obok – łóżko



Rys. 4. Skomplikowana sekwencja czasowo-przestrzenna czytania jednego słowa: aktywują się różne obszary mózgu, w ściśle określonych interakcjach. Źródło: Kristen Pammer [5].



Fot. 5. Embodiment, czyli doznawanie praw fizyki na własnym ciele. (a) Kiedy tracimy równowagę? Gdzie wówczas znajduje się środek ciężkości waszego kolegi? (b) Wiszący ptak, czyli podparty w środku ciężkości. Nie polecamy tego doświadczenia. Foto: Maria Karwasz, Tuchola, styczeń 2009.

z kilkunastoma, gładkim kulami. Zapewniam Czytelnika, że ani jedno ani drugie nie jest specjalnie wygodne.

Jak pokazać zagadnienie środka ciężkości. W „Fizyce zabawek” przedstawiamy kilka eksponatów, począwszy od misia na linie i bujającego się ptaka [7]. Ale narrację zaczynamy od zagadnienia statyczności osoby. Wybieramy więc odważnego ucznia, ustawiamy go bokiem do klasy, prosimy go zamknięcie oczu i powoli pozwalamy mu wychylać się do przodu (asekurując, jak na fot. 5a). Klasa ma obserwować, kiedy kolega straci statyczność. „Kiedy środek jego brzucha wychylił się poza czubek stóp, prawda?”. „Wiszący ptak”, fot. 5b, nie jest doświadczeniem, które rekomendujemy: trzeba ucznia podpierać na biodrach, tak aby nie uszkodzić delikatnych narządów wewnętrznych.

W doświadczeniach ze spadającymi piłeczkami i zjeżdżającymi po równi wózkami prosimy wybraną dziewczynkę, aby określiła, z zamkniętymi oczyma, co trzyma w dłoniach (fot. 6a). Ale, zgodnie z zasadami hyper-konstruktywizmu (o tym nieco dalej), nie zadajemy pytania „czy się te dwa wózki/ piłeczki różnią” ale pytanie brzmi „I co?” Badacz sam musi zadać pytanie: który wózek jest cięższy? Jak wielokrotnie podkreślamy, osiągnięciem Ko-

pernika nie jest jedynie odkrycie rzeczywistego ruchu planet, ale też postawienie pytań: na przykład, dlaczego woda nie spływa z kuli ziemskiej (jak by to było w przypadku globusa). Na pytanie odpowiedział dopiero Newton: siła grawitacji na kuli działa w kierunku jej środka.

„Schodzące kaczki”, jak podkreślamy w opisie na stronie „Fizyka zabawek”, są anti-dydaktyczne. Ruch po pochylonej równi, ale jednostajny. Aby nie było wątpliwości (i jako „cross-check experiment” pozwalamy stoczyć się swobodnie kulce. Dlaczego kaczka schodzi ruchem jednostajnym: klik, klak, klik, klak, jak bijące serce? I znów namacalne sprawdzanie fizyki, fot. 6b. Kolejna uczennica i kolejne pytanie: jakie stopy ma kaczka? Szorstkie. Tak! w przypadku tarcia ruch staje się jednostajny.

Przypominamy jeszcze jedną zasadę naszej dydaktyki kognitywistycznej: każdy przekaz musi zabawny, dydaktycznie oczywisty, ale naukowo zagadkowy. Kaczki schodzą ruchem jednostajnym jedynie, kiedy kąt równi jest odpowiedni i odpowiednie tarcie. Po równi wyłożonej śliską folią kaczki zjeżdżają jak narciarze po śniegu. Komplikując problem: w każdym kroku kaczki, kwant traconej energii potencjalnej zamienia się odpowiednią porcją pracy dyssypacyjnej siły tarcia, a w efekcie – ciepła. A doświadczenie musimy zakończyć dowcipem: wszyscy, proszę, prawa noga na stół. I sprawdzamy, jaka jest podeszwa waszego buta. Szorstka, prawda? I warto zrobić całej uśmiechniętej klasie zdjęcie z butami na ławkach.

Pisaliśmy już, że we włoskim przedszkolu trzyletnie dzieci rączkami sprawdzają album z próbkami miękkiego futerka, śliskiej folii i papieru ściernego. A w kolejnym semestrze – sprawdzają, jak zimny jest lód. Nauczanie przez dotykanie.

W doświadczeniach ze szklanką wody pod kloszem próżniowym, przekaz dydaktyczny kończy się zazwyczaj na stwierdzeniu: woda pod zmniejszonym ciśnieniem wrze nawet w temperaturze pokojowej. Ale bogactwo tego doświadczenia jest znacznie bardziej obfite. Aby je odnaleźć, szukamy „w głowie”: jak woda wrze w garnku na gazowym palniku, to pobiera mnóstwo ciepła, prawda? 540 cal/g w temperaturze 100° C. Skąd woda w szklance bierze ciepło, aby wrzeć? Sama od siebie. Innymi słowy,



Fot. 6. Poznawanie przez dotykanie. (a) Czym się te dwa wózki różnią? (b) Kaczor czy kaczka będą szybsi na równi? Foto: Maria Karwasz, Gorzów, 2014.

rozumowanie wskazuje, że temperatura wody po „zgotowaniu” pod kloszem próżniowym powinna się obniżyć. I stąd kolejny, „namacalny” żart. Delikatnie, dwoma palcami za brzeg, wyjmujemy szklankę spod klosza, stawiamy na stole, i jak się sprawdza gorące żelazko – zanurzamy na moment palec wskazujący w wodzie. Oj! gorące! Tak by wynikało z codziennego doświadczenia – wrząca woda jest gorąca. Trzymając nadal szklankę za jej brzeg, prosimy odważnego ucznia o zanurzenie palca. Zazwyczaj dopiero trzeci uczeń przyzna, że woda jest zimna. Więc na koniec, w funkcji ludycznej popijamy łyk: „rzeczywiście, zimna!”

I kolejne porady „kuchenne” kognitywistycznej sekwencji: ponownie tej samej wody nie uda się do wrzenia doprowadzić. Jest ona chłodniejsza niż przed „zgotowaniem”. A ponieważ nigdy nie wiadomo, czy pompa próżniowa zapewni dostatecznie niskie ciśnienie, warto wlać do szklanki wodę letnią a nie zimną. Różne zmysły, różne emocje, różne wiadomości składają się na całość przekazu.

Przekaz holistyczny

Powyższe przykłady doskonale ilustrują, jak nauczanie holistyczne w połączeniu z podejściem kognitywistycznym może prowadzić do głębszego zrozumienia procesów zachodzących w świecie. Innowacyjna edukacja, oparta na integracji emocji, eksperymentów praktycznych oraz refleksji naukowej, pozwala uczniom nie tylko poznawać teoretyczne zagadnienia, ale również doświadczyć ich na „własnej skórze”. Taka wielozmysłowa i całościowa metoda prowadzi do bardziej angażującego i efektywnego przyswajania wiedzy. Radość, śmiech i zaciekawienie to emocje, które mogą znacząco wpływać na jakość nauczania i zachęcają do samodzielnego poznawania praw fizyki, fot. 7. Pozytywne emocje nie tylko uprzyjemniają lekcje, ale także ułatwiają zapamiętywanie informacji oraz sprzyjają głębszemu ich przetwarzaniu. Nauczyciele, którzy wprowadzają elementy humoru czy zdziwienia, pobudzają ciekawość uczniów i motywują ich do aktywnego uczestnictwa w procesie nauki. Takie podejście nie tylko zwiększa efektywność przyswajania wiedzy, ale także sprawia,

że nauka staje się przygodą, a nie nudnym obowiązkiem. Emocje pełnią rolę filtra w procesie edukacji, wpływając na to, które informacje zostaną przyswojone i zapamiętane. Nie można oddzielić emocji od procesów poznawczych i uczenia się, ponieważ to właśnie uczucia decydują o tym, jak informacje są rozumiane i zapisywane w pamięci.

Wyzwania XXI wieku pokazują, że współczesny nauczyciel musi nie tylko posiadać specjalistyczną wiedzę, ale również wykazywać się umiejętnościami dydaktycznymi i psychologicznymi. Kluczowym elementem nauczania holistycznego, które wywodzi się z greckiego słowa *holos* (oznaczającego „całość”), jest łączenie wiedzy z różnych dziedzin w spójną, wieloaspektową całość. W tym kontekście kognitywizm odgrywa istotną rolę, ponieważ promuje zrozumienie procesów poznawczych ucznia, takich jak percepcja, pamięć i myślenie, które są podstawą efektywnego uczenia się. Nauczyciel musi być elastyczny, rozwijać swoje kompetencje i stosować holistyczne metody nauczania, aby skutecznie odpowiadać na zróżnicowane potrzeby uczniów i zmieniające się warunki edukacyjne.

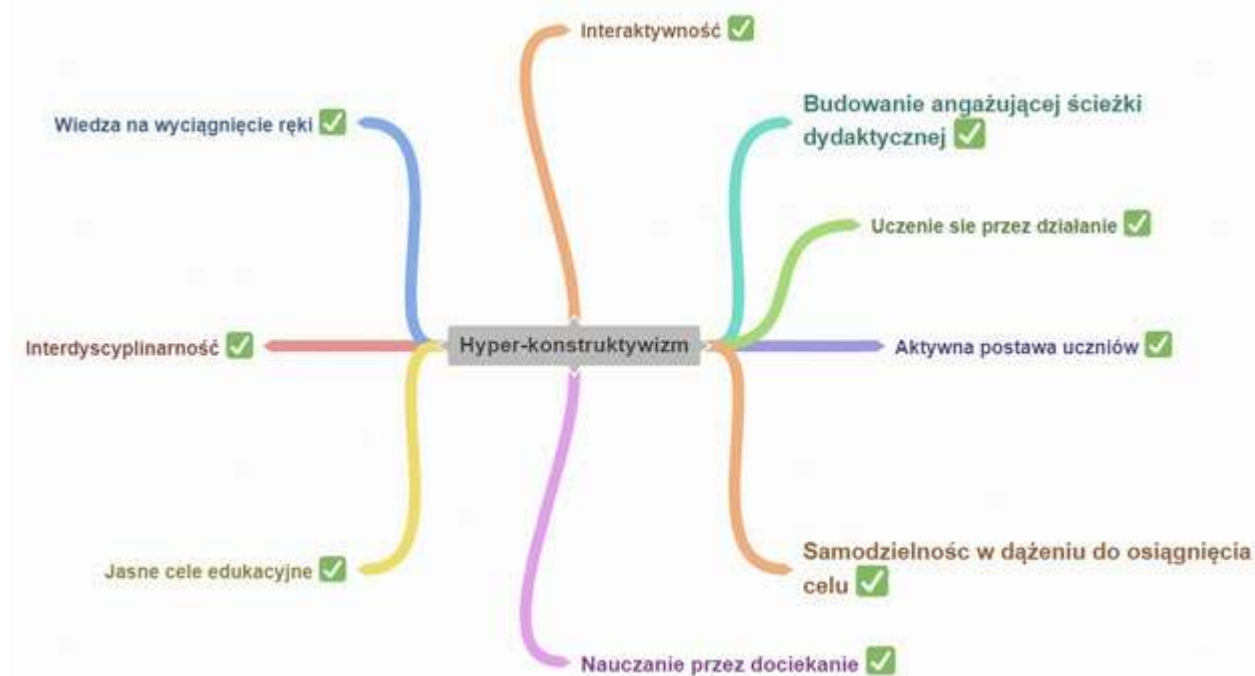
John Dewey, jeden z czołowych myślicieli edukacji progresywnej twierdził, że nauczanie oderwane od praktyki jest ograniczające, a kluczowym celem edukacji powinno być rozwijanie twórczego myślenia i kreatywności uczniów. Metody oparte na aktywności uczniów, takie jak nauczanie przez realizację projektów, praca w grupie, wspierają ich rozwój intelektualny i emocjonalny, pozwalając na lepsze zrozumienie związku między teorią a praktyką.

Holistyczne podejście do nauczania zakłada, że wiedza przekazywana w szkole powinna być zintegrowana z doświadczeniami uczniów. Nauczyciel powinien umożliwić im łączenie nowej wiedzy z tym, co już znają. Przykładowo, gdy uczniowie widzą, że wiedza matematyczna pomaga zrozumieć, jak zarządzać budżetem domowym, a zasady fizyki wyjaśniają procesy i zjawiska zachodzące w przyrodzie, nauka staje się bardziej angażująca i osadzona w ich codziennym życiu.

Metoda projektowa, praca w grupie, pozwala uczniom samodzielnie kierować procesem uczenia się. Kładzie nacisk na współpracę, planowanie działań w grupie i wspólne



Fot. 7. Zuzanna z radością eksperymentuje, ucząc się przez odkrywanie (a) Interaktywne ekspozyty i różnorodne aktywności w Centrum Nowoczesności Młyn Wiedzy w Toruniu umożliwiają samodzielne odkrywanie fascynującego świata wody i jej właściwości. (b) Emocjonalne zaangażowanie wspiera proces myślenia i rozwija umiejętności rozwiązywania problemów. Foto: KW.



Rysunek 8. Hyper-konstruktywizm – zasady. Rysunek: KW i Coggle.it

rozwiązywanie problemów. Dzięki interdyscyplinarnemu charakterowi, projekty integrują wiedzę z różnych dziedzin, co przygotowuje uczniów do wyzwań współczesnego świata. Rozwijają nie tylko umiejętności analityczne, ale także kompetencje społeczne, takie jak współpraca, komunikacja oraz poczucie własnej wartości. Takie podejście pozwala uczniom zrozumieć, że świat nie składa się z oderwanych od siebie faktów, lecz złożonej sieci powiązań, które można rozpatrywać z różnych perspektyw.

Dzisiejszy, szybko zmieniający się świat, w którym technologia, społeczne realia i globalne wyzwania stale ewoluują, umiejętność adaptacji, kreatywności i współpracy są kluczowe. Szkoła, stosując aktywne metody nauczania, nie tylko rozwija te kompetencje, ale również angażuje uczniów na poziomie poznawczym i emocjonalnym. Dzięki temu proces edukacji staje się bardziej efektywny, a uczniowie lepiej przygotowani do życia w złożonym, wieloaspektowym świecie.

Takie podejście doskonale wpisuje się w koncepcję hyper-konstruktywizmu, która promuje odwołanie się do istniejącej wiedzy odbiorców oraz skłonienie uczniów do refleksji nad wiedzą już posiadaną i wykorzystania swoich zasobów poznawczych do konstruowania dalszej wie-

dzy przy wsparciu nauczyciela. Tę różnorodność działań, interaktywnych, własnoręcznych, interdyscyplinarnych, pozornie spontanicznych ale w subtelny sposób kierowanych przez wyznaczony scenariusz lub nauczyciela nazywamy nad-konstruktywizmem, rys. 8.

Konstruktywizm i kognitywizm wchodzą do praktyki nauczania bardzo powoli, a jeszcze wolniej do oficjalnych zaleceń dydaktycznych. Już kilkanaście lat temu Unia Europejska wprowadziła hasło „inquiry-based teaching”, czyli nauczanie oparte na zadawaniu pytań. Ale, włoskie przysłowie mówi: „Tra dire e il fare c'è in mezzo il mare” (Pomiędzy powiedzieć a zrobić rozciąga się całe morze). Może i tak.

LITERATURA

- [1] G. Karwasz, K. Wyborska, *Dydaktyka dydaktyczna*, Fizyka w Szkole, 3/2024, str. 26
- [2] J. Bruner, *W poszukiwaniu teorii nauczania*, PIW, Warszawa, 1974, str. 63-65
- [3] *The brain dictionary*, Nature, 29/04/2016, <https://www.youtube.com/watch?v=k61nJkx5aDQ>
- [4] G. Karwasz, *Proton i spółka*, Na Ścieżkach Fizyki Współczesnej https://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/proton2a.html
- [5] K. Pammer, *Temporal sampling in vision and the implications for dyslexia*, Frontiers in Human Neuroscience, 17/02/2014
- [6] Rob Iliffe, Newton. *A Very Short Introduction*, Oxford, 2007.
- [7] G. Karwasz i in. *Fizyka zabawek*, <https://dydaktyka.fizyka.umk.pl/zabawki/>

W następnych wydaniach polecamy m.in.

- Obalamy mity, czyli biofizyka kontra legendy miejskie
- Czym jest lewitacja magnetyczna?
- Żywoty fizyków – Hans Christian Oersted

Precyzyjna waga jubilerska jako waga magnetyczna?

Do dokładnego wyznaczania przenikalności magnetycznej dia- i paramagnetyków używa się precyzyjnych wag, produkowanych przez nieliczne firmy na świecie. Ceny tych przyrządów są porównywalne z ceną przeciętnego samochodu. Może jednak do rozpoznawania właściwości magnetycznych materiałów użyć znacznie tańszej wagi jubilerskiej?

Małgorzata Szymaszek
Stanisław Bednarek

Zewnętrzne pole magnetyczne, przyłożone do dowolnej substancji oddziałuje na elektrony poruszające się w jej atomach i na ich momenty magnetyczne [1]. Skutkiem tego każda substancja wykazuje właściwości magnetyczne. Problem polega na tym, że w przypadku wielu substan-

cji te właściwości są bardzo słabe. Dlatego do ich zauważenia są konieczne odpowiednio silne pola magnetyczne, co w warunkach szkolnych stwarza duży problem. Tak właśnie dzieje się z substancjami dia- i paramagnetycznymi. Jest jednak prosty sposób na rozwiązanie tego problemu i został on opisany w niniejszym artykule.

Budowa układu doświadczalnego jest pokazana na rys. 1. Podstawowym jego elementem jest elektroniczna waga jubilerska o dokładności 0,001 g, albo 0,01 g. Takie wagi mają zakres ważenia 0-100 g, albo 0-50 g i można je kupić w sklepach z artykułami elektronicznymi lub przez Internet.

Żeby zabezpieczyć stalowe elementy wagi przed działaniem pola magnetycznego, na jej szalce należy ustawić rurkę o wysokości ok. 10 cm, wykonaną z dowolnego materiału nieferromagnetycznego. Wystarczy rurka zwinięta z kartki papieru i sklejana taśmą klejącą. Może być też rolka od papieru toaletowego. Od góry na rurkę trzeba nałożyć kawałek folii polietylenowej, np. z cienkiej torebki od produktów spożywczych, tzw. zrywki i przymocować ją taśmą klejącą, owiniętą wokół rurki. Powierzchnia folii powinna być pozioma, płaska i lekko naprężona. Oddziaływanie takiej folii z polem magnetycznym w przeprowadzanych doświadczeniach jest niezauważalne i dlatego można ją wykorzystać, jako wygodne miejsce do układania próbek badanych substancji.

Do doświadczeń będzie potrzebny jeszcze, co najmniej jeden magnes neodymowy w kształcie walca

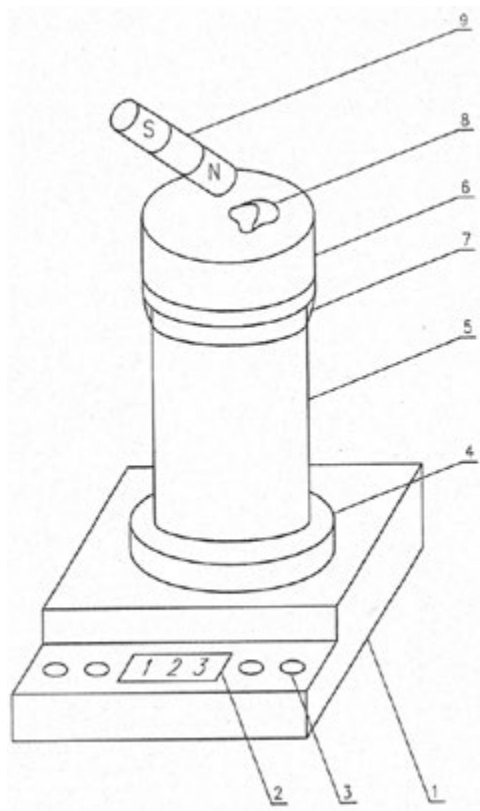
o średnicy ok. 10 mm i wysokości 10-15 mm. Lepiej jednak mieć kilka takich magnesów i połączyć je ze sobą biegunami różnoimiennymi, tworząc w ten sposób dłuższy magnes walcowy, który wytworzy silniejsze pole magnetyczne.

Posługując się magnesami neodymowymi należy zachować ostrożność. Potencjalne niebezpieczeństwa to: możliwość przycięnięcia skóry palców, pęknięcie magnesów podczas ich zderzenia ze sobą lub ze stalowymi przedmiotami i niepożądane namagnesowanie przypadkowych przedmiotów, np. zegarków, narzędzi oraz zakłócenia pracy implantów medycznych, wyposażonych w układy elektroniczne, np. kardiostymulatorów.

Ponieważ wagi elektroniczne mają szereg dodatkowych funkcji, które w każdym modelu działają nieco inaczej, to konieczne jest zapoznanie się z instrukcją jego użytkowania. Dzięki temu będzie można uniknąć błędów obsługi i sprawnie wykonać doświadczenie.

Kolejny krok polega na sprawdzeniu, czy po zbliżeniu do folii jednego z końców magnesu wskazania wagi nie ulegają zmianie. Gdyby było inaczej, wówczas należy wymienić folię na cieńszą. Dopiero po tym na folii można umieszczać próbki badanych substancji, zbliżać do nich jeden z biegunów magnesu i odczytywać zmianę wskazań wagi.

Optymalne rozmiary próbek dla podanej średnicy magnesu neodymowego wynoszą 5-10 mm. Próbki wykonane z substancji paramagnetycznych będą wciągane w obszar silniejszego pola, istniejący bliżej



Rys. 1. Budowa układu doświadczalnego, 1 – waga jubilerska, 2 – wyświetlacz, 3 – przycisk włącznika, 4 – szalka, 5 – rurka, 6 – cienka folia polietylenowa, 7 – taśma klejąca, 8 – próbka badanej substancji, 9 – magnes neodymowy.



Fot. 1. Wygląd zewnętrznego układu doświadczalnego.

bieguna, czyli końca magnesu. Siła przyciągania tych próbek będzie zwrócona ku górze, czyli przeciwnie do ich ciężaru i dlatego wskazania wagi powinny zmaleć.

W przypadku próbek wykonanych z substancji diamagnetycznych będzie odwrotnie. Przykłady substancji dia- i paramagnetycznych są podane w tablicach fizycznych lub chemicznych [2, 3]. Żeby uzyskać optymalne efekty, biegun magnesu powinien znajdować jak najbliżej powierzchni próbki. Trzeba jednak uważać, żeby nie dotknąć magnesem powierzchni próbki i nie zakłócić przez to wskazań wagi. Próbka powinna być w całości w najsilniejszym i jednocześnie najbardziej niejednorodnym polu magnetycznym, które zależy od kształtu używanego magnesu. W praktyce oznacza to, że wyraźniejszy efekt zachodzi, gdy do próbki jest zbliżona krawędź końcowej powierzchni magnesu, ponieważ w tym obszarze pole magnetyczne jest bardziej niejednorodne.

Składowa siła dF_x , działająca w kierunku wybranej osi prostokątnego układu współrzędnych, np. Ox

na element próbki o przekroju poprzecznym dS i długości dx , umieszczony w polu magnetycznym o natężeniu H i niejednorodności pola, czyli jego gradiencie dH/dx wyraża się wzorem [4, 5]

$$F_x = \mu_0(\mu_r - 1)H \frac{dH}{dx} dS dx,$$

w którym $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (Vs)/(Am) i oznacza przenikalność magnetyczną próżni, natomiast μ_r jest przenikalnością względną materiału próbki.

W niektórych tablicach zamiast μ_r jest podawana wielkość $\chi = (\mu_r - 1)$, nazywana podatnością magnetyczną. Są też, tablice, zwłaszcza chemiczne, w których zamiast wielkości względnych są podawane wartości podatności lub przenikalności na jednostkę masy (gram, albo mol), pomnożone przez wartość μ_0 [2, 6]. W każdych tablicach te wielkości są ujemne dla dia-, a dodatnie dla paramagnetyków. Niestety, wartości względne tych wielkości zawierają się w granicach 10^{-5} - 10^{-6} dla paramagnetyków, zaś dla diamagnetyków zakres ten jest 10^{-6} - 10^{-7} . Właśnie dlatego siły oddziaływania tych substancji z polem magnetycznym mają małe wartości, a doświadczenia są trudne do wykonania.

Trzeba też zwrócić uwagę na to, że próbki niektórych materiałów dostępnych w codziennym użytku, które z wyglądu i pochodzenia zostaną zaliczone do diamagnetyków, m.in. kawałki grafitu z ołówków, w doświadczeniu okażą się paramagnetykami. Jest to wynikiem domieszek dodawanych podczas produkcji lub zanieczyszczenia próbek.

Wypadkową siłę, działającą na próbkę można obliczyć po napisaniu analogicznych wzorów dla pozostałych składowych F_y , F_z i ich scałkowaniu po objętości próbki. Na szczęście w szkole nie musimy tego robić, bo efekt całkowania jest obserwowany w postaci zmiany wskazań wagi jubilerskiej. Dla podanych w tym artykule parametrów układu doświadczalnego obserwowane zmiany wskazań wagi jubilerskiej wynosiły od kilku do kilkudziesięciu miligramów. Tym zmianom odpowiadają siły oddziaływania magnetycznego w granicach 10^{-5} - 10^{-4} N.

Chociaż dla diamagnetyków wartości sił oddziaływania magnetycznego są zwykle bardzo małe w porównaniu z ciężarem próbek, to jednak mając dostęp do odpowiednio silnych pól magnetycznych, można spowodować, że siły te będą równe ciężarowi próbki. Wtedy próbka umieszczona w polu magnetycznym będzie lewitowała.

Spektakularny efekt tego typu uzyskali Andriej Gejm i Michael Berry. W polu magnetycznym o indukcji 16 T, wytwarzanym przez specjalną cewkę zasilaną prądem o dużym natężeniu (tzw. magnes Bittera), umieścili zieloną żabkę, która zaczęła lewitować [7, 8]. Żabka przeżyła, a eksperyment został zauważony i wyróżniony w 2000 r. Ig Noblem. Jest to nagroda przyznawana za najbardziej kuriozalne i pomysłowe eksperymenty, nazywana też „anty-Noblem” lub „niegodziwym Noblem”. Niektórzy laureaci obrażają się za to lub ogłaszają protesty. Wspomniani panowie przyjęli to jednak ze spokojem, zaś Andriej Gejm otrzymał wspólnie z Konstantinem Nowosiołowem nagrodę Nobla w 2010 r. za odkrycie grafenu.

Małgorzata Szymaszek
Akademickie Liceum Ogólnokształcące
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

Stanisław Bednarek
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Uniwersytetu Łódzkiego

Literatura

- [1] S. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, część 3, Elektryczność i magnetyzm, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1972.
- [2] W. M. Haynes, red., CRC Handbook of Chemistry and Physics A Ready-Reference Book of Chemical and Physical Data, Taylor and Francis Group, New York 2015.
- [3] W. Mizerski, Tablice fizyczne i astronomiczne, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2013.
- [4] J. Kuryłowicz, Badania materiałów magnetycznych, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1966.
- [5] M. Nałęcz, J. Jaworski, Miernictwo magnetyczne, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1968.
- [6] M. Pękała, Eksperymentalne metody magnetochemii, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2013.
- [7] <https://www.rp.pl/nauka/art14961131-eksperymentator-z-lewitujaca-zaba-od-ignobla-do-nobla-z-fizyki>, [dostęp: 20.08 2024 r.].
- [8] <https://efizyka.net.pl/lewitacja-magnetyczna>, [dostęp: 20.08 2024 r.].

Wykorzystanie funkcji fragmentarycznych do opisu ruchu na lekcjach fizyki

Jolanta Sokołowska
Andrzej Sokołowski

Wykresy funkcji fragmentarycznych (nazywanych również kłamrowymi lub odcinkowymi) są szeroko stosowane w fizyce, jednak ich matematyczne podstawy zwykle nie są omawiane na lekcjach fizyki czy w podręcznikach. Umiejętność napisania funkcji odcinkowej dla danego ruchu ułatwia jego zrozumienie, poprzez przenoszenie właściwości ruchu na jego reprezentację matematyczną.

Lekcja ta ma formę laboratorium opartego na symulacji fizycznej. Lekcja może być przeprowadzona na dowolnych kursach fizyki z zastrzeżeniem, że uczniowie znają matematyczne podstawy funkcji odcinkowych. Aby upewnić się, że uczniowie posiadają niezbędne zaplecze matematyczne, potrzebny jest krótki przegląd. Prezentujemy uczniom pytania, a następnie analizujemy ich odpowiedzi.

Przed przystąpieniem do pracy nad formułowaniem funkcji odcinkowej do opisu ruchu, studenci muszą być zaznajomieni z procesem przekształcania wielkości używanych w kinematyce (takich jak stała prędkość i położenie początkowe) na funkcje algebraiczne, tym bardziej że techniki analizy funkcji na zajęciach z przedmiotów ścisłych i matematyki nie są ze sobą spójne¹.

Matematyczne podstawy funkcji fragmentarycznych

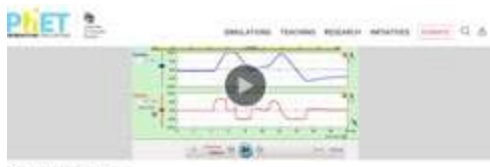
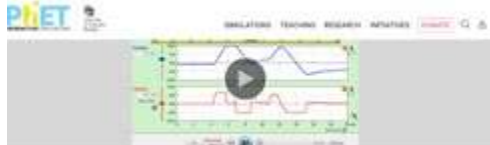
Dominującym narzędziem matematycznym na lekcjach przedmiotów ścisłych są wzory; np. $d = vt$, $F = ma$, lub $F = \frac{Gm_1m_2}{d^2}$. Ponadto często nie używa się na fizyce pojęć takich jak wielkości zależnych, niezależnych lub stałych oraz nie uwzględnia się ich roli w formułowaniu funkcji.

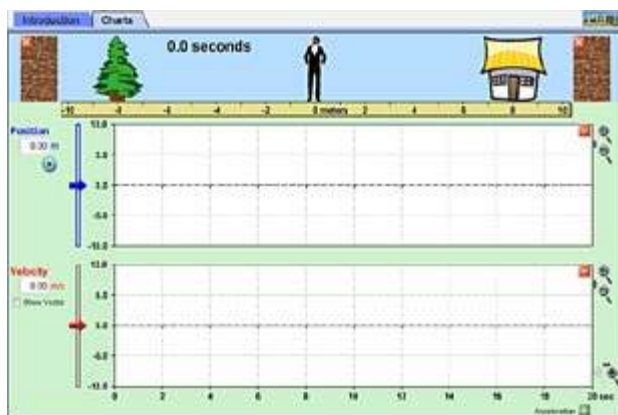
Ćwiczenie, które jest opisane poniżej, skupia się na interpretacji prędkości i położenia przy użyciu funkcji liniowych. Przy omawianiu tych konceptów posłużymy się symulacją komputerową *Idący człowiek/Moving Man* (dostępną na stronie² <http://phet.colorado.edu/en/simulation/moving-man>). Wszystkie rysunki za zaczerpnięte z <http://phet.colorado.edu>. Aby otworzyć symulację:

- Klikniemy na *Wprowadzenie* by zapoznać się z graficzną interpretacją ćwiczenia oraz podstawowymi parametrami ruchu (położenie/position, oraz prędkość/velocity).
- *Wykresy/Charts* zawierają grafikę idącego mężczyzny oraz generowane tym ruchem wykresy położenia/position, prędkości/velocity oraz przyspieszenia/acceleration względem czasu.

W poniższych zadaniach uczniowie łączą związki między kinematyką a reprezentacjami algebraicznymi oraz konstruują funkcje położenia dla ruchu jednostajnego.

Tabela 1. Instrukcje jak aktywować symulację

• Nacisnąć na link http://phet.colorado.edu/en/simulation/moving-man	 The Moving Man
• Nacisnąć w dowolnym miejscu górnej części strony symulacji.	
• Nacisnąć na CheerpJ Browser lub Download Legacy Java Version a następnie PHET Java Simulation.	
Symulacja zawiera dwie opcje do wykonania doświadczenia pokazane w lewym górnym rogu ekranu: <i>Wprowadzenie/Introduction</i> oraz <i>Wykresy/Charts</i>.	



Rys. 1. Graficzny obraz symulacji.

Konceptualne powiązanie ruchu z algebraicznym przedstawieniem

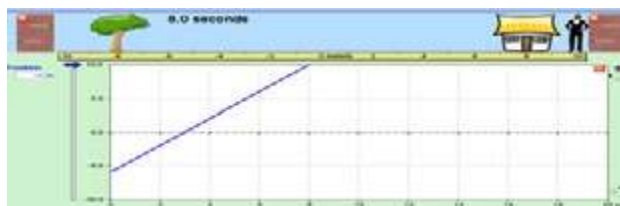
Przykład 1. Załóżmy, że mężczyzna rozpoczyna swój spacer w położeniu – czyli $x = 6$ m umieszczonym po lewej stronie punktu 0 m, oraz że idzie w prawo ze stałą prędkością 2 m/s przez 8 s.

Uczniowie przewidują wykres, a następnie weryfikują swoje przewidywania po odtworzeniu symulacji.

Nauczyciel pyta; jakiego rodzaju funkcję można użyć do matematycznego opisu pozycji idącego mężczyzny?

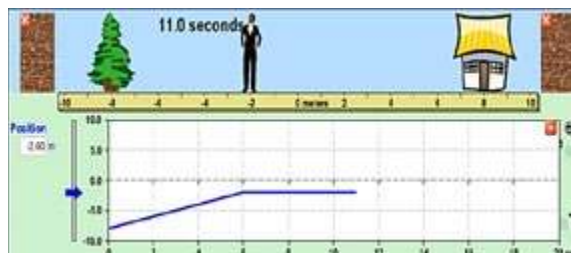
Ponieważ mężczyzna idzie ze stałą prędkością, możemy użyć funkcję liniową $y = ax + b$, gdzie a reprezentuje tempo ruchu prędkość (współczynnik kierunkowy funkcji) i b reprezentuje wartość początkową funkcji. W tym scenariuszu prędkość ruchu (tj. nachylenie linii) jest reprezentowane przez prędkość mężczyzny a początkową wartością funkcji jest jego położenie początkowe. Zatem funkcją liniową tego ruchu jest $y = 2x - 6$. Ponieważ w fizyce i matematyce pozycja pozioma jest zwykle oznaczana przez $x(t)$; gdzie t reprezentuje czas, to $x(t) = 2t - 6$ dla $0 \leq t \leq 8$ opisuje położenie mężczyzny. Po podstawieniu czasu w chwili początkowej oraz końcowej ruchu otrzymujemy wartości położenia: $x(0) = 2(0) - 6 = -6$ m oraz $x(8) = 2(8) - 6 = 10$ m

2 a. Symulacja przedstawiająca ruch z przykładu 1



Rys. 2. Graficzny obraz symulacji i ruchu mężczyzny

3a Rysunek przedstawiający czas odpoczynku



Rys. 3. Ruch mężczyzny; czas odpoczynku i ruch w kierunku domu

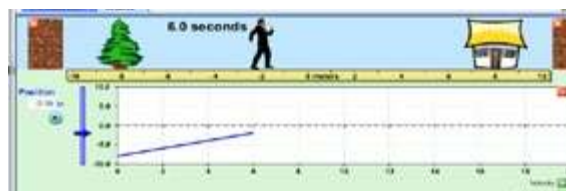
Przykład 2. Załóżmy, że mężczyzna znajduje się przy lewej stronie, przy drzewie. Zaczyna iść z prędkością 1 m/s w prawo przez 6 sekund. Następnie odpoczywa przez 5 sekund i po odpoczynku biegnie z prędkością 2 m/s. Swoją podróż kończy w swoim domu.

Możemy uczniom wizualnie przedstawić ten ruch. Uczniowie muszą przypisać mężczyźnie położenie początkowe odpowiadające lokalizacji drzewa (-8 m). Po wpisaniu -8 w polu pod przyciskiem position/położenia, kliknięcie na mężczyznę przeniesie go do tej lokalizacji. Następnym krokiem jest wprowadzenie jego prędkości 1 m/s. Pomocne jest oznaczenie wykresu prędkości, aby skupić uwagę uczniów na wykresie położenie-czas/position-time. Symulacja jest prawie gotowa do gry. Uczniowie muszą zdać sobie sprawę, że prędkość człowieka musi być zero po 6 sekundach. Można to osiągnąć poprzez jego zatrzymanie, gdy jego współrzędna czasowa, odczytana z osi poziomej, osiągnie 6 sekund (zobacz Rys. 2b).

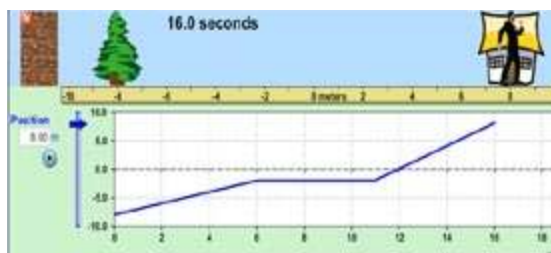
Uczniowie konstruują kolejny etap wykresu, na którym pozycja mężczyzny nie zmienia się przez pięć sekund. Niektórzy uczniowie zdają sobie sprawę, że prędkość musi wynosić zero. Ten przypadek ruchu jest interesujący, ponieważ uczniowie mogą obserwować, jak linia wykresu jest kontynuowana, mimo że mężczyzna się nie porusza (zobacz Rys. 3a). Po wprowadzeniu prędkości zerowej symulacja musi być kontynuowana przez kolejne 5 sekund, aż do osiągnięcia współrzędnej czasowej 11 sekund.

Ostatni segment ruchu można wygenerować, wprowadzając prędkość 2 m/s. Uczniom można zadać pytanie: *Jaka jest górna granica przedziału czasu dla tego odcinka ruchu?* lub *Kiedy powinniśmy zatrzymać tę symulację?* W tym przypadku zwraca się uwagę na zmienną zależną funkcji. Końcowa pozycja mężczyzny odpowiada lokalizacji jego domu, $x = 8$ m (zobacz trzeci segment rysunku 3b). Symulacja jest zatrzymywana przez obserwację pozycji mężczyzny, a nie czasu ruchu. Rysunek 3b przedstawia wykres dla całego ruchu.

2b. Pierwszy odcinek ruchu.



3b. Rysunek przedstawiający kompletny ruch



Algebraiczne podejście do znalezienia funkcji pozycji

Uczniowie muszą zdać sobie sprawę, że funkcja położenia reprezentująca ruch składa się z trzech segmentów funkcji ciągłych i jest związana z prędkością człowieka i pozycją początkową.

Pierwszy segment. Tabela 2 może pomóc uczniom w opisie funkcji. Konieczne jest, aby nauczyciel omówił poprawność wykresu przed przystąpieniem do formułowania funkcji.

Tabela 2. Konwersje w pierwszym segmencie ruchu

Kinematyka/jednostka fizyczna	Reprezentacja algebraiczna
Położenie początkowe = -8 m	$x = -8$
Przedział czasowy 6 s	$0 \leq t \leq 6$
Prędkość = 1 m/s	Współczynnik kierunkowy prostej, $a = 1$

Użycie wzoru $x(t) = a(t - t_0) + x_0$ i odniesienie do tabeli 2 daje położenie $x(t) = t - 8$, które jest prawdziwe dla $0 \leq t \leq 6$.

Drugi segment. Skonstruowanie drugiego segmentu stwarza możliwość koncepcyjnego wprowadzenia ciągłości funkcji. Nauczyciel może zadać pytanie: czy funkcja może mieć *skok poziomów* w chwili $t = 6$ s? Jeśli uczniowie nie są pewni, jak odpowiedzieć na pytanie, nauczyciel wyjaśnia, że jeśli ktoś przejedzie 10 km autostradą z miasta A do miasta B, to przejedzie każdy centymetr odległości, ponieważ nie da się pominąć niektórych segmentów ruchu.

Tabela 3. Konwersje do budowy drugiego segmentu ruchu

Kinematyka/jednostka fizyczna	Reprezentacja algebraiczna
Położenie -2 m przy $t = 6$ s	$A(6, -2)$
Człowiek jest w spoczynku, więc jego prędkość = 0	Współczynnik kierunkowy prostej, $a = 0$
Przedział czasowy 5 s	$6 < t \leq 11$

Używając $x(t) = a(t - t_0) + x_0$ i zastępując zmienne podanymi wartościami, $x(t) = 0(t - 6) - 2$, otrzymujemy $x(t) = -2$ określone dla czasu: $6 < t \leq 11$.

Trzeci segment. Skonstruowanie trzeciego segmentu ponownie wymaga zastosowania ciągłości funkcji lub przynajmniej wzmianki o tej właściwości. Czy funkcja pozycji może mieć w tym momencie nieciągłość: skok poziomów? Najwyraźniej nie, a dowód można przeprowadzić w podobny sposób jak w tym segmencie. Ponieważ mężczyzna się zatrzymał, warunek ciągłości ruchu zakłada, że granice lewej i prawej strony przy $t = 11$ s mają taką samą wartość jak przy $t = 6$ s. Ponieważ prędkość człowieka w tym przedziale jest stała i wynosi 2 m/s, wartość tej prędkości stanowi nachylenie funkcji liniowej. Wyniki te podsumowano w tabeli 4.

Tabela 4. Konwersje na potrzeby budowy trzeciego segmentu

Kinematyka/jednostka fizyczna	Reprezentacja algebraiczna
Położenie -2 m przy $t = 11$ s	$A(11, -2)$
Mężczyzna porusza się ze stałą prędkością 2 m/s	Współczynnik kierunkowy prostej $a = 2$

Stosując $x(t) = a(t - t_0) + x_0$ i podstawiając zmienne, otrzymujemy $x(t) = 2t - 24$.

Aby znaleźć górną granicę końcowego przedziału czasu, pochodna funkcji musi zostać obliczona dla t gdy $x(t) = 8$ m co daje $t = 16$ s. Wartość ta odpowiada czasowi uzyskanemu przez symulację.

Łączenie wszystkich segmentów ruchu stanowi kompletną reprezentację ruchu:

$$x(t) = \begin{cases} t - 8, & \text{dla } 0 \leq t \leq 6 \text{ s} \\ -2, & \text{dla } 6 \text{ s} < t \leq 11 \text{ s} \\ 2t - 24 & \text{dla } 11 \text{ s} < t \leq 16 \text{ s} \end{cases}$$

Taki model można zweryfikować za pomocą kalkulatora graficznego lub porównując wygenerowany wykres z wykresem powstałym w wyniku symulacji, lub poprzez szkicowanie ręczne. Po tym wprowadzeniu, uczniowie pracują samodzielnie mając kartę pracy ucznia przedstawiającą różne warianty ruchu. Uczniowie mogą korzystać z symulacji by zweryfikować swój matematyczny opis.

Karta pracy zawiera dwa przykładowe scenariusze lekcji. Zadaniem uczniów może być napisanie własnych scenariuszy i opisanie ich przy pomocy funkcji odcinkowych.

Laboratorium: Modelowanie ruchu za pomocą funkcji odcinkowych

Poniższa tabela posłuży do przechodzenia między pojęciami i terminologią z fizyki do matematyki.

Tabela 5. Korelacja pojęć matematycznych z ich odpowiednikami w fizyce

Pojęcia fizyczne	Znaczenie algebraiczne	Symbol algebraiczny
Położenie	Zmienna zależna	$x(t)$
Czas	Zmienna niezależna	t
Prędkość	Współczynnik kierunkowy prostej	a
Położenie początkowe w czasie $t = 0$	Punkt przecięcia z osią Y	x_i
Położenie chwilowe	Punkt określony współzrędnymi	(t_A, x_A)

Ogólne uwagi o pobraniu danych i formułowaniu funkcji

- Otrzymasz kilka przykładów ruchu w formie opisu.
- Uważnie przenoś informacje naukowe do reprezentacji graficznej i formułuj funkcje algebraiczne.
- Po potwierdzeniu funkcji odpowiedź na dodatkowe pytania.
- Zauważ, że algebraiczna interpretacja prędkości ujemnej odnosi się do ruchu w kierunku ujemnym np. w lewo, do tyłu lub w dół.

Sytuacja 1. Położenie początkowe mężczyzny to $x = 10$ m. Mężczyzna idzie z prędkością $1,5$ m/s w lewo przez 8 s, po których zatrzymuje się na kolejne 4 s.

b. Naskicuj poniższą funkcję. Zwróć uwagę, że oś pozioma reprezentuje czas, a oś pionowa określa położenie idącego mężczyzny. Posłuż się linijką podczas rysowania segmentów tego ruchu. Upewnij się, że wykres jest dokładny, ponieważ użyjesz go do zweryfikowania poniższych obliczeń.



B. Konstruowanie równania funkcji

Czy wykres spełnia test linii pionowej dla wszystkich elementów swojej dziedziny? _____

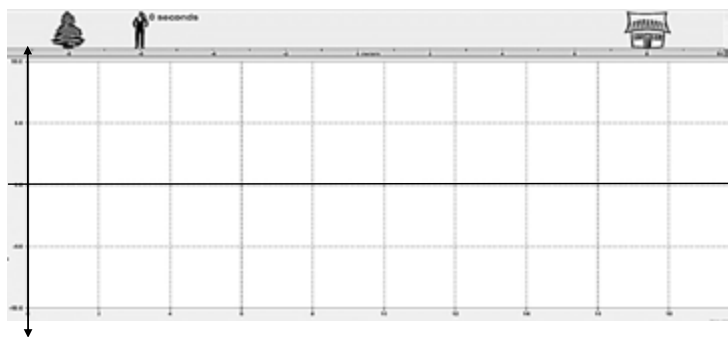
Czy wykres jest wszędzie ciągły? _____

a. Użyj pochodną funkcji, aby obliczyć położenie mężczyzny po 4 sekundach ruchu i zweryfikuj obliczoną pozycję za pomocą wykresu.	d. Kiedy mężczyzna osiągnie położenie określone jako 5 metrów w prawo?
b. Znajdź prędkość średnią całego ruchu (to pytanie odnosi się do znalezienia średniej szybkości zmian położenia $x(t)$)	e. Znajdź zakres wartości funkcji.
c. Jaka jest dziedzina funkcji?	f. W oparciu o tekst problemu, zinterpretuj dziedzinę funkcji oraz zakres jej wartości.

Sytuacja 2. Załóżmy, że mężczyzna idzie z prędkością $0,5$ m/s przez 6 sekund w kierunku domu, zaczynając od 6 m na lewo od punktu początkowego (punkt 0 m). Następnie, w ciągu kolejnych 4 sekund idzie w tempie $1,5$ m/s i zatrzymuje się przez następne 2 sekundy ruchu.

a. Skonstruuj funkcję położenia ruchu idącego mężczyzny i opisz dziedzinę każdego segmentu tego ruchu.

Następnie sprawdź, czy funkcja spełnia test linii pionowej w momentach, w których następuje zmiana ruchu.



b. Na poniższym schemacie, naskicuj wykres funkcji przedstawiający zależność położenia mężczyzny od czasu.

a. Oblicz położenie idącego mężczyzny po 2 s ruchu.	d. Znajdź czas, w którym mężczyzna przechodzi przez punkt początkowy układu współrzędnych.
b. Czy mężczyźnie uda się dotrzeć do domu znajdującego się w położeniu $x = 8$ m?	e. Znajdź dziedzinę i przeciwdziedzinę tej funkcji.
c. Znajdź średnią prędkość całego ruchu	f. Czy, jeśli mężczyzna zatrzyma się na 10 s zamiast na 2 s, jego średnia prędkość całego ruchu wzrośnie czy zmaleje?

Podsumowanie

Lekcja ta jest zwykle entuzjastycznie przyjmowana przed uczniów. Nie tylko jej interaktywny charakter ma na to wpływ. Uczniowie cenią lekcje, kiedy mają możliwość zastosowania fizyki w praktyce albo która pozwala im na połączenie wiedzy z innych przedmiotów³. Innym elementem, który uczniowie sobie cenią jest możliwość matematycznego opisu ruchu, który jest przedstawiany na fizyce zwykle w postaci wykresów bez ich matematycznego opisu. Zachęcamy koleżanki i kolegów *po fachu* do skorzystania z tej propozycji dydaktycznej i podzielenia się uwagami.

LITERATURA

- [1] <http://phet.colorado.edu/en/simulation/moving-man>
- [2] A. Sokolowski, Developing mathematical reasoning using a STEM platform. *Interdisciplinary Mathematics Education: The State of the Art and Beyond* (2019): 93-111.
- [3] A. Sokolowski, Developing Covariational Reasoning Among Students Using Contexts of Formulas: Are the Current Formula Notations in Physics Aiding Graph Sketching? *The Physics Educator*, 2(04), (2020).

Powtórz, utrwal, poszerz wiedzę

Zadania z fizyki. Cz. 3.

Waldemar Reńda

Zadanie 34. (grawitacja)

Z powierzchni Ziemi wyrzucano rakietę z II prędkością kosmiczną. W jakiej odległości od środka Ziemi jej szybkość zmaleje do wartości równej I prędkości kosmicznej. Przyjmij, że na raketę działa tylko pole grawitacyjne Ziemi i Ziemia nie wykonuje ruchu obrotowego.

Zadanie 35.

Na gładkim poziomym stole leży wąska i jednorodna listwa o długości l i masie M . W jej koniec wstrzelono pocisk o masie m poruszający się z prędkością v_0 i tak, że tor jego ruchu był prostopadły do osi listwy. Oblicz wartość prędkości ruchu postępowego listwy (v) oraz jej prędkości kątowej (ω) po całkowicie nieelastycznym zderzeniu pocisku z listwą.

Wskazówka: Zastosuj zasadę zachowania pędu oraz zasadę zachowania momentu pędu, pamiętając, że obrót listwy będzie się odbywał wokół środka masy utworzonego po wbiciu się pocisku w listwę.

Zadanie 36. (kinematyka)

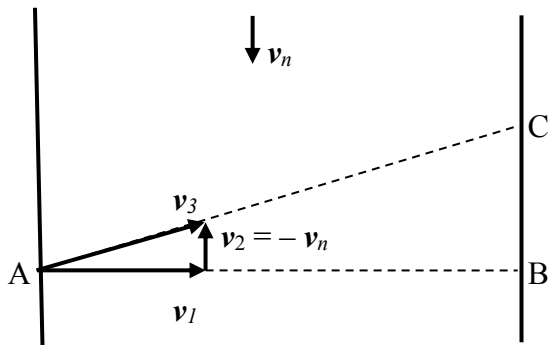
Po pionowej, nieważkiej, nierozciągliwej nitce o długości l zsuwa się bez tarcia koralik i zatrzymuje się na jej końcu. Tak uzyskane wahadło matematyczne odchyłono z położenia równowagi o pewien niewielki kąt. Porównaj czas spadania koralika z czasem ruchu tego wahadła z położenia skrajnego do położenia równowagi ($s_2 = A$).

$$s_1 = l = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t_1 = (2l/g)^{1/2} = (2)^{1/2} (l/g)^{1/2}$$

$$t_2 = 2\pi (l/g)^{1/2}, \text{ więc: } t_2/t_1 = \pi/2\sqrt{2} = 1,11$$

Zadanie 37. (kinematyka)

1. Z jaką prędkością względem wody (co do wartości i kierunku) należy wiosłować, aby przepłynąć rzekę prostopadłe do nurtu, jeżeli ten nurt ma prędkość o wartości v_n (względem brzegów), i jeżeli chcemy rzekę o szerokości d przepłynąć czasie t . [Pogrubienie czcionki oznacza wektor!]



Wartość wektora v_1 obliczamy ze wzoru: $v_1 = d/t$

Tą szukaną prędkością będzie wektor v_3 .

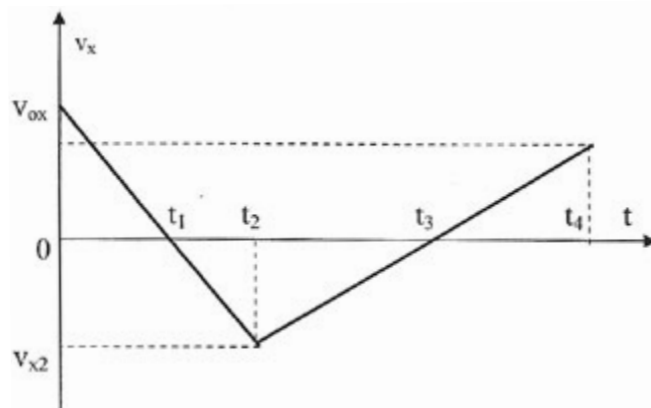
Jego wartość obliczymy z tw. Pitagorasa, a kąt CAB z tangensa: $\operatorname{tg} \alpha = v_2/v_1$.

Uwaga! Wektor v_3 jest wektorem prędkości łodzi względem wody, a wektorem prędkości łodzi względem brzegów (w tym wypadku) jest wektor v_1 .

2. Jeżeli zaś znamy wartość wektora v_3 (co dla mnie jest dość dziwne), to kąt ten obliczymy z funkcji sinus: $\sin \alpha = v_2/v_3$. W tym przypadku czas ruchu obliczamy ze wzoru: $t = d/v_1$. Musimy więc obliczyć wartość wektora v_1 z tw. Pitagorasa.

Zadanie o obliczeniach dokonywanych przy pomocy wykresów.

Niech będzie podany wykres funkcji $v_x(t)$, np. taki



Przebytą drogę najlepiej obliczać jako pola trójkątów (tak nie można się pomylić, a i nauczycielowi łatwiej jest poprawiać!) Z tym, że drogę s_2 można obliczyć tak:

$$s_2 = \frac{1}{2} |v_{x2}| \cdot (t_3 - t_1).$$

$$\text{Natomiast } a_x = (v_{x2} - v_{x0}): t_2 \text{ (tu: } a_x < 0)$$

$$\text{Oczywiście: } a = |a_x|.$$

$$\text{W tym przypadku: } x_2 = x_0 + v_{ox} + \frac{1}{2} a_x \cdot t_2 \text{ itd.}$$

Zadanie 38. (dynamika)

Obciążnik zawieszony na nici o dowolnej długości (l) i wprowadzono w swobodny ruch okrężny – tak, że nic tworzy z pionem kąt α . Oblicz okres (T) tego ruchu i przeanalizuj go w zależności otwartości kąta α . Porównaj uzyskaną wartość okresu ze wzorem na okres drgań wahadła matematycznego długości l .

$$\text{Rozwiązanie: } m \cdot g \cdot \operatorname{tg} \alpha = m \cdot v^2/r \Rightarrow g \cdot \operatorname{tg} \alpha = 4\pi^2 \cdot l \cdot \sin \alpha / T^2 \Rightarrow T^2 \cdot g \cdot \operatorname{tg} \alpha = 4\pi^2 \cdot l \cdot \sin \alpha$$

$$\text{Dla małych kątów: } \operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha, \text{ zatem: } T^2 \cdot g = 4\pi^2 \cdot l. \text{ Stąd: } T = 2\pi \sqrt{l/g}.$$

Uzyskaliśmy wzór na okres drgań wahadła matematycznego.

Dla $\alpha \rightarrow 90^\circ$ $\sin \alpha \rightarrow 1$, zaś $\tan \alpha \rightarrow \infty$. Wówczas: $T = 2\pi \sqrt{l \cdot \sin \alpha / g \cdot \tan \alpha}$. Jeżeli $\sin \alpha \rightarrow 1$, zaś $\tan \alpha \rightarrow \infty$, to $T \rightarrow 0$, czyli częstotliwość obiegów dąży do nieskończoności.

Zadanie 39. (dynamika)

Jednolity pręt długości l może obracać się swobodnie wokół osi umieszczonej na jednym z jego końców. Ów pręt odchyłono położenia równowagi tak, że przyjął położenie poziome.

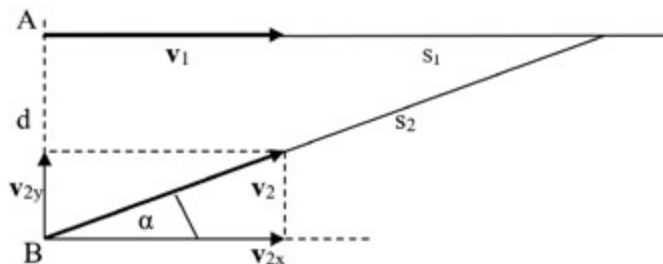
Oblicz wartość prędkości kątowej i liniowej jego dolnego końca przy przejściu przez położenie równowagi. Ruch pręta jest swobodny bez oporów.

Rozw.: Korzystamy z zasady zachowania energii mechanicznej. W czasie ruchu środek ciężkości obniżył się o $l/2$, zatem energia potencjalna zmalała o $mg l/2$. Natomiast pręt uzyskał energię kinetyczną $\frac{1}{2} I \omega^2$.

Przyrównując te wzory i wstawiając $I = \frac{1}{3} m l^2$, otrzymamy: $\omega^2 = 3g/l$ oraz $v^2 = 3g \cdot l$.

Zadanie 40. (kinematyka)

Pojazd I porusza się ruchem jednostajnym w prędkością v_1 po prostej jak na rysunku. Gdy pojazd ten znalazł się w punkcie A odległym od B o d , z punktu B wyrusza drugi pojazd i porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym z prędkością v_2 w takim kierunku, by spotkać się na torze pojazdu I. Oblicz kąt α oraz drogę (s_1) przebytą przez pojazd I do chwili spotkania oraz czas ruchu.



$$s_1 = v_1 t, \text{ stąd: } t = s_1 / v_1$$

$$v_2^2 = v_{2y}^2 + v_{2x}^2$$

$$\text{ale: } v_{2x} = v_1$$

$$\text{Zatem: } v_2^2 = v_1^2 + d^2/t^2$$

$$\text{Stąd: } t^2 = d/(v_2^2 - v_1^2)$$

$$\text{Zaś: } s_1 = v_1 t \text{ oraz } \tan \alpha = v_{2y} / v_{2x}$$

Co jednoznacznie określa położenie punktu spotkania.

Uwaga! Wektor v_2 musimy ustawić pod takim kątem do kierunku wektora v_1 , by jego rzut na ten kierunek był równy wektorowi v_1 .

Zadanie 41. (gravitacja)

Czy to prawda, że Słońce przyciąga Księżyc większą siłą niż Ziemia?

Prawda!

$$\text{Dane: } M_S = 333000 M_Z, r_Z = 390 r_K$$

Oto dowód: Obliczmy wartość stosunku:

$$F_S / F_Z = (G M_S m_K / r_Z^2) : (G M_Z m_K / r_K^2) = M_S r_K^2 / M_Z r_Z^2 = 333000 / 390^2 = 2,2$$

Odp.: Słońce przyciąga księżyc 2,2 razy silniej niż Ziemia.

Dlaczego zatem Księżyc towarzyszy Ziemi?

Bo porusza się po torze zbliżonym do okręgu i siła ze strony Słońca jest tu siłą dośrodkową (a dokładniej: siłą wypadkową obu tych sił!).

Zadanie 42. (dynamika)

Tenisista, serwując, nadaje piłce prędkość 260 km/h. Oblicz siłę występującą pomiędzy piłką a naciągami rakiety, jeżeli piłka o masie 57 g styka się z naciągami 5 ms.

Rozwiązanie: $F = \Delta p / \Delta t = 0,057 \text{ kg} \cdot 72 \text{ m/s} : 0,005 \text{ s} = 223 \text{ N}$, co odpowiada ciężarowi ciała o masie 22,7 kg!

I jeszcze pytanie: Jaka siła wbija gwóźdź? Najłatwiej powiedzieć, że siłą tą jest siła bezwładności młotka. Jeżeli jednak będziemy uważać, że siły bezwładności są siłami pozornymi, to gwóźdź jest wbijany siłą reakcji na siłę hamującą młotek.

Zadanie 43.** (mechanika – sport – rzuty)

Z jaką prędkością wyrzucono oszczep, jeżeli osiągnął odległość 80 m. Jaką największą wysokość osiągnął ten oszczep? Zakładamy, że miotacz rzucił oszczep pod najkorzystniejszym kątem, a pogoda była bezwietrzna. Oblicz wartość tej prędkości przy pchnięciu kulą na odległość 20 m oraz w rzucie młotem na odległość 50 m.

Oblicz w tym ostatnim przypadku maksymalną częstotliwość obrotu sportowca, jeżeli młot poruszał się w odległości 1,2 m od osi obrotu układu miotacz-młot. Oblicz siłę, z jaką miotacz trzymał młot o masie 7,26 kg. Oblicz energię kinetyczną młota w chwili wyrzutu.

Jaki może być maksymalny wynik skoku w dal?

Wskazówka: Największa szybkość zawodnika jest rzędu 10 m/s.

Odp.: $\alpha = 45^\circ$, $\sim 28,3 \text{ m/s}$, $\sim 14,7 \text{ m/s}$, $\sim 22,36 \text{ m/s}$, $\sim 3 \text{ 1/s}$, $\sim 3 \text{ kN}$, $\sim 1,8 \text{ kJ}$, $\sim 10 \text{ m}$.

Zadanie 44. (mechanika)

Piłeczkę pingpongową zanurzono na głębokość 30 cm. Oblicz jej początkowe przyspieszenie oraz uzyskaną na powierzchni wody prędkość. Pomiń opory ruchu oraz w/w zjawisko. Wykonaj to doświadczenie i porównaj obliczony czas jej ruchu z wartością zmierzoną. Dlaczego wynik teoretyczny znacznie różni się od obliczonego? Masa piłeczki 2,8 g oraz średnica 40 mm.

Zadanie 45. (mechanika)

Na wale kołowrotu o masie 10 kg i promieniu 10 cm zawieszono wiadro z wodą o masie 5 kg i swobodnie puszczono. Z jaką szybkością uderzy wiadro o powierzchnię wody, która znajdowała się 10 m pod dnem wiadra. Oblicz końcową wartość prędkości kątowej wału oraz czas spadania wiadra, jeżeli założymy, że nie występują opory ruchu oraz sznur, na którym wisi wiadro ma znikomą małą masę. Oblicz wartość siły napinającej sznur. Zadanie rozwiąż dwoma sposobami: z zastosowaniem II zasady dynamiki dla ruchu obrotowego oraz zasady zachowania energii.

Nasze Słońce

2. Tarcza słoneczna i jej okolice

Marek Demiański

Kiedy w pogodny dzień zerkamy na Słońce, jawi się nam ono jako żółto-żółty dysk, bardzo jasny w środku i nieco ciemniejszy na brzegu. Słońce jest ogromną kulą gazową o promieniu około $7 \cdot 10^8$ m oddaloną od nas na około $1.5 \cdot 10^{11}$ m. Foton wyemitowany z powierzchni Słońca potrzebuje około 900 sekund na dotarcie do Ziemi.

W najbardziej zewnętrznej warstwie Słońca gęstość plazmy i jej temperatura są na tyle małe, że średnia droga swobodna fotonu jest mierzona w dziesiątkach kilometrów. Ta zewnętrzna warstwa zwana fotosferą staje się przezroczysta. Kiedy patrzymy na środek tarczy słonecznej do naszego oka docierają fotony wyemitowane z głębokich, gorących warstw fotosfery. Gdy patrzymy na brzeg tarczy słonecznej do naszego oka docierają fotony o mniejszej energii wyemitowane głównie z bardziej zewnętrznych warstw fotosfery, które są chłodniejsze. To powoduje efekt pociemnienia brzegowego.

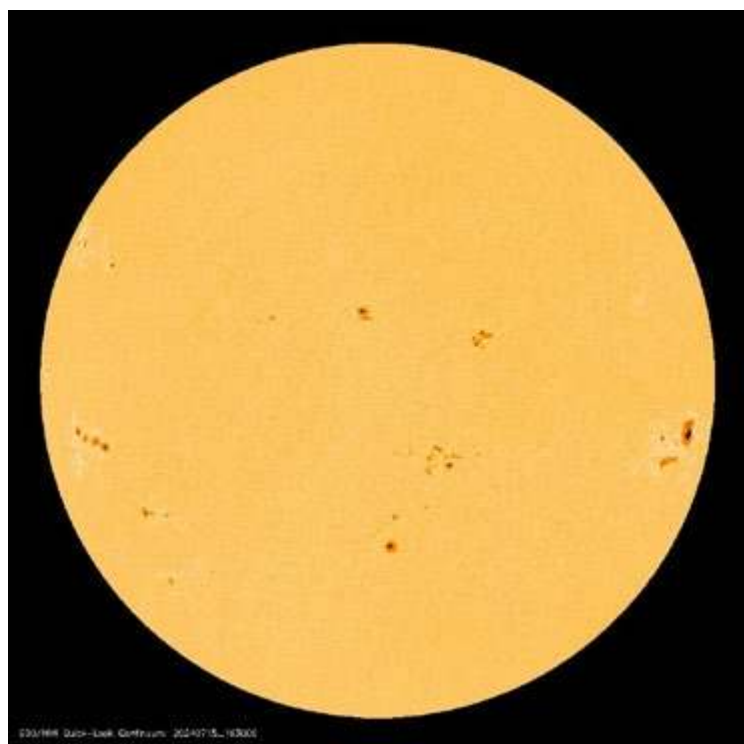
Plamy słoneczne

Gdy Galileusz zdecydował się w 1609 roku na wykorzystanie lunety do obserwacji astronomicznych i popatrzył na Słońce odkrył, że na tarczy słonecznej występują drobne ciemne obszary, które teraz nazywamy palami słonecznymi. To było ważne odkrycie, które przeczyło greckim wyobrażeniom, że Słońce jest idealną kulą.

Odkrycie plam słonecznych bardzo szybko pozwoliło stwierdzić, że Słońce się obraca i to w bardzo nietypowy sposób. Obszary w pobliżu równika Słońca obracają się szybciej niż obszary w pobliżu biegunów. Okres rotacji względem gwiazd wynosi na równiku 25.6 dni, a w pobliżu biegunów 33.5 dni. Słońce obraca się zatem nie jak bryła sztywna. Ten typ obrotu, gdy okres obrotu zależy od szerokości geograficznej nazywamy obrotem różniczkowym.

Bardzo szybko okazało się, że plamy słoneczne nie są trwałe, ich czas życia wynosi od kilku dni do kilku miesięcy. Plamy słoneczne różnią się też rozmiarem, ich obserwowane średnice są zawarte między 16 km a nawet 160 000 km! Typowo nowe plamy słoneczne pojawiają się w okolicach biegunów i powoli dryfują do obszarów równikowych, gdzie znikają.

Zaraz po odkryciu plam słonecznych astronomowie rozpoczęli systematyczne ich zliczanie i wkrótce stwierdzili, że liczba plam słonecznych zmienia się w czasie i odkryli 11 letni cykl aktywności Słońca (patrz Rys. 2). Jak widać z tego rysunku aktywność Słońca zmienia się w czasie i do tej pory nie wiadomo, dlaczego. Zauważono



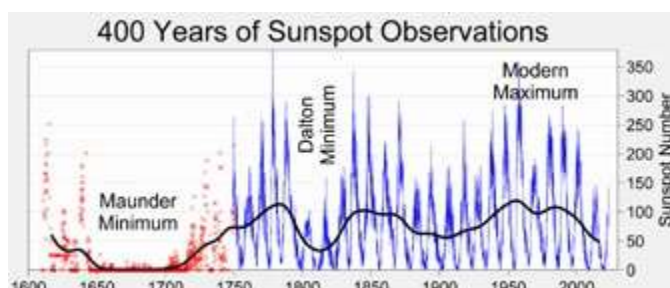
Rys. 1. Plamy słoneczne. Aktualną konfigurację plam słonecznych można zobaczyć na <https://soho.nascom.nasa.gov>

korelację między stopniem aktywności Słońca a średnią temperaturą na ziemi. W okresach niskiej aktywności lata 1650-1715 i 1790-1820 w Europie występował „mały okres zlodowacenia” i temperatury szczególnie zimą były znacznie niższe od wieloletnich średnich.

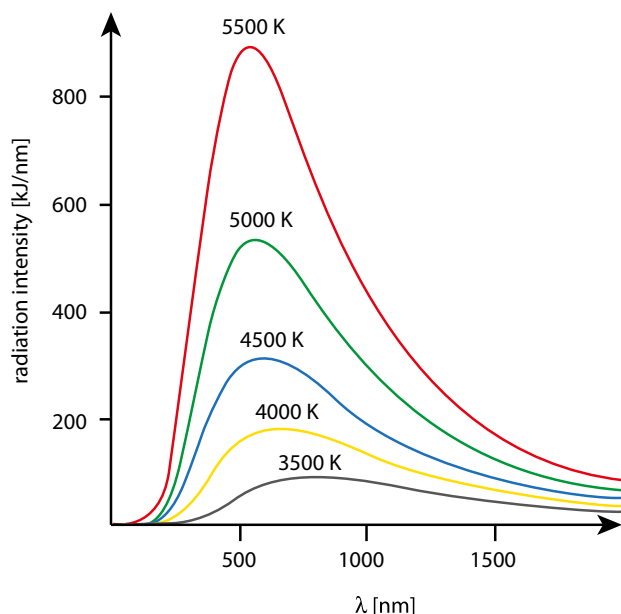
Badania spektroskopem

Dokładniejsze pomiary potwierdzają, że w okresach obserwowanej obecnie wzmożonej aktywności, Słońce emituje nieco więcej energii. Na wyjaśnienie natury plam słonecznych trzeba było czekać kilkaset lat. Wynalezienie spektroskopu przez Kirchhoffa i Bunsena otworzyło nowy etap w badaniach nie tylko Słońca, ale i innych gwiazd. Badania promieniowania gazów i ciał stałych, a w szczególności promieniowania ciała doskonale czarnego doprowadziły do odkrycia przez Maxa Plancka wzoru opisującego gęstość energii promieniowania w zależności od częstości lub długości fali i temperatury

$$I_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}, \quad I_\lambda = \frac{8\pi ch}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}, \quad (1)$$



Rys. 2. Zmiana ilości plam słonecznych w czasie, ciągłą linią zaznaczono zmiany w czasie corocznej średniej. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/Sunspot_Numbers.png



Rys. 3. Widmo promieniowania ciała doskonale czarnego. Foto – Adobe Stock

gdzie ν to częstość, λ – długość fali, c – prędkość światła, h – stała Plancka, k_B – stała Boltzmanna, a T – temperatura w skali Kelvina.

Jeszcze zanim Planck odkrył swój słynny wzór Wilhelm Wien zauważył, że długość fali, przy której gęstość energii promieniowania osiąga maksimum jest odwrotnie proporcjonalna do temperatury

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ m K.} \quad (2)$$

Korzystając z tej zależności można oszacować temperaturę fotosfery Słońca na około 5800 K.

Znając gęstość energii promieniowania Stefan i Boltzmann obliczyli strumień energii emitowany z jednostki powierzchni przez ciało doskonale czarne

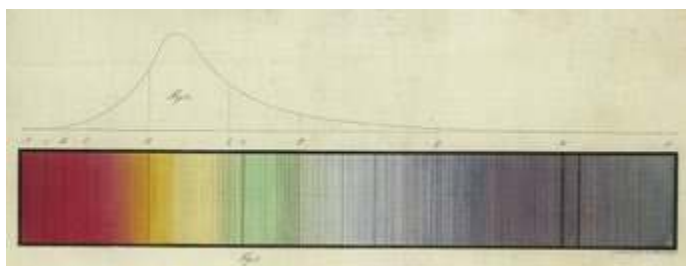
$$F(T) = \sigma \cdot T^4 \text{ W/m}^2, \quad (3)$$

gdzie $\sigma = 5.669 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$. Temperatura fotosfery Słońca

wyznaczona z zależności Stefana-Boltzmanna nosi nazwę temperatury efektywnej, wynosi ona 5770 K.

Linie absorpcyjne

Wkrótce po odkryciu spektroskopu inny niemiecki fizyk Joseph von Fraunhofer dokonał analizy światła słonecznego i odkrył w widmie Słońca bardzo dużo ciemnych linii



Rys. 4. Linie Fraunhofera. W górnej części rysunku linią ciągłą przedstawione jest widmo energetyczne fotonów. <https://commons.wikimedia.org/>

Tabela 1. Rozpowszechnienie pierwiastków w fotosferze Słońca

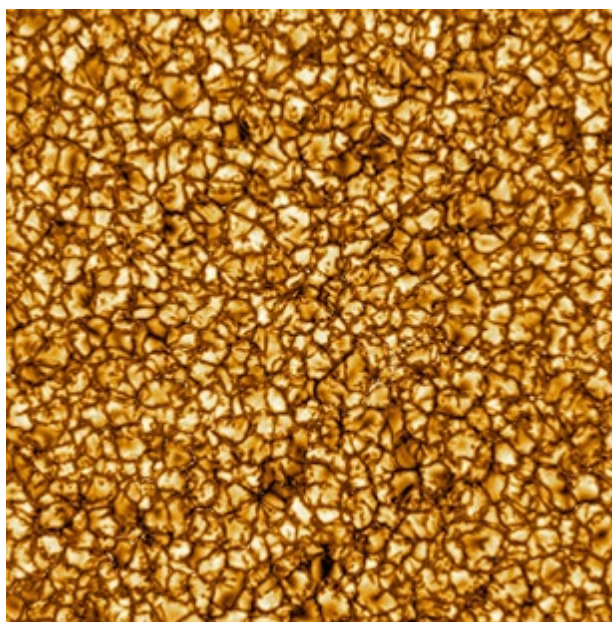
Pierwiastek	Procentowa zawartość
H	0.7013
He	0.2787
C	0.0041
N	0.0001
O	0.0091
Ne	0.0014
Mg	0.0006
Si	0.0007
S	0.0004
Fe	0.0018

absorpcyjnych. Zastosowanie współczesnych spektrografów o dużej zdolności rozdzielczej pozwoliło astronomom zidentyfikować około dwustu tysięcy takich linii.

Każda taka linia powstaje, gdy foton o odpowiedniej energii zostaje pochłonięty przez atom jakiegoś pierwiastka. Analiza spektralna pozwoliła stwierdzić, że fotosfera Słońca składa się głównie z wodoru i helu. W tabeli 1 podany jest procentowy skład chemiczny fotosfery Słońca. Badania spektralne innych gwiazd przyniosły zaskakujący wynik – gwiazdy składają się głównie z wodoru i helu!

Pole magnetyczne

Przełom w badaniu natury plam słonecznych był związany z odkryciem przez Petera Zeemana wpływu pola magnetycznego na widma atomów. Okazało się, że prążki widmowe atomu umieszczonego w polu magnetycznym ulegają rozszczepieniu i zamiast pojedynczych prążków pojawiają się trójki prążków, przy czym odległości między prążkami zależą od natężenia pola magnetycznego. W ten sposób stwierdzono, że na powierzchni Słońca



Rys. 5. Komórki konwektywne na powierzchni Słońca. Jak takie komórki zmieniają się w czasie można zobaczyć na <https://nso.edu/telescopes/dskist/first-light-cropped-field-movie>

występuje pole magnetyczne o średnim natężeniu około 0.0001 T, dla porównania średnie natężenie pola magnetycznego Ziemi wynosi $4 \cdot 10^{-5}$ T. Natomiast w obszarach plam słonecznych pole magnetyczne jest znacznie silniejsze i jego natężenie dochodzi do 0.4 T.

Te silne pola magnetyczne plam słonecznych zaburzają konwekcyjny transport energii w zewnętrznych warstwach Słońca, co prowadzi do znacznego obniżenia temperatury w obszarach plam słonecznych do około 3800 K. To powoduje drastyczne obniżenie jasności tych obszarów, które w porównaniu z znacznie gorętszym otoczeniem wydają się być ciemne.

Teleskopowe obserwacje powierzchni Słońca (fotosfery) przy zastosowaniu odpowiednich filtrów ujawniły bardzo złożoną i szybko zmienną strukturę komórek konwekcyjnych. Konwekcyjny ruch plazmy generuje prądy elektryczne i w efekcie pole magnetyczne. Pola magnetyczne generowane przez prądy konwekcyjne oddziałują ze sobą tworząc dynamiczny, szybko zmienny układ linii sił pola magnetycznego.

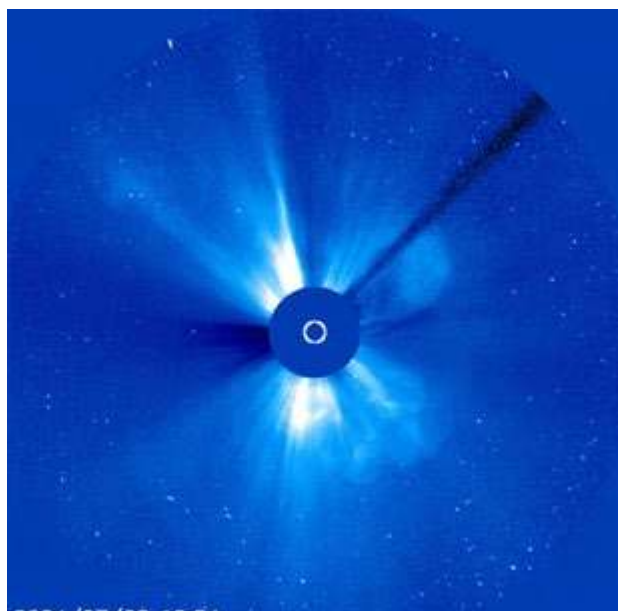
Orientacja pola magnetycznego plam słonecznych

Efekt Zeemana oraz pomiary polaryzacji światła z obszarów plam słonecznych doprowadziły do odkrycia zagadkowej regularności w orientacji pola magnetycznego plam słonecznych. Słońce obraca się i wobec tego można uszeregować plamy słoneczne zgodnie z kierunkiem obrotu. Okazało się, że pary plam mają różną orientację pola magnetycznego, przy czym pary plam na północnej półkuli Słońca mają przeciwną orientację w stosunku do plam na półkuli południowej.

W okresie maksimum cyklu słonecznego biegunowość pola magnetycznego ulega zmianie, to tak jakby zwykły magnes sztabkowy obrócić o 180° . Oznacza to, że wprawdzie liczba plam słonecznych zmienia się z okresem 11 lat, okres zmian konfiguracji pola magnetycznego jest



Rys. 6. Złożony układ linii sił pola magnetycznego w koronie słonecznej. Naładowane cząstki poruszające się wzdłuż linii sił pola magnetycznego tworzą prominencje. (Foto – NASA). Szybkie zmiany konfiguracji tych linii można obserwować na https://www.youtube.com/watch?v=6tmbeLTHC_0



Rys. 7. Koronalne erupcje - <https://spaceweather.com/>

dwa razy dłuższy i wynosi 22 lata. Dlatego tak jest, pozostaje nadal zagadką.

Skomplikowana struktura pola magnetycznego w fotosferze ma swoje odbicie w złożonej strukturze linii sił pola magnetycznego w obszarze powyżej fotosfery, który jest nazywany chromosferą. Powstają tam ogromne łuki utworzone z naładowanych cząstek, głównie elektronów i protonów, które mogą poruszać się wzdłuż linii sił pola magnetycznego (patrz Rys. 6). Konfiguracja i rozmiary tych łuków zmienia się bardzo szybko.

Takie łuki podtrzymujące duże ilości plazmy zwane są prominencjami. Właściwie są tylko dwie możliwe drogi ewolucyjne takich łuków albo zgromadzą zbyt dużo materii i wówczas zapadają się pod wpływem sił grawitacyjnych, albo linie sił pola magnetycznego rozrywają się i wówczas ogromne ilości gorącego gazu, a właściwie plazmy są wyrzucane w przestrzeń międzyplanetarną.

Erupcje

Takie zjawiska wyrzucania znaczących ilości bardzo gorącego gazu z wzmrożonym polem magnetycznym znane są jako erupcje. Takie strumienie plazmy poruszają się z prędkościami dochodzącymi do 7000 km/s. Po pewnym czasie takie obłoki mogą dotrzeć do górnych warstw atmosfery Ziemi i wówczas powodują zakłócenia w przekazywaniu sygnałów radiowych, przepięcia w sieciach energetycznych i bardzo atrakcyjne zorze polarne. 10 maja 2024 roku takie zorze polarne były widoczne na obszarze całej Polski.

Zaćmienia Słońca

Obszar atmosfery Słońca znajdujący się powyżej fotosfery ujawnia się w pełnej krasie podczas całkowitego zaćmienia Słońca. Geometria układu Słońce, Ziemia i Księżyc sprawia, że średnio co półtora roku na kilka minut Księżyc całkowicie zasłania tarczę słoneczną i w wąskim pasie na Ziemi o szerokości do 300 km można obserwować całkowite zaćmienie Słońca. Ujawniają się wówczas górne warstwy atmosfery Słońca, które normalnie nie są widoczne, gdyż świecą bardzo słabo w porównaniu z tarczą słoneczną.



Rys. 8. Zorza polarna nad Polską obserwowana w nocy z 10 na 11 maja 2024 r. Foto – Adobe Stock

Korona słoneczna

Podczas całkowitego zaćmienia Słońca ukazuje się korona słoneczna jako jasna nieregularna otoczka rozciągająca się na odległość kilku promieni Słońca oraz czerwone obszary tuż nad fotosferą. Ten przejściowy cienki obszar między fotosferą a koroną nazwano chromosferą. Kiedy w połowie XIX wieku francuski astronom Jules Jansen po raz pierwszy zbadał widmo korony słonecznej podczas całkowitego zaćmienia Słońca w Indiach zauważył czerwoną linię widmową, która wówczas nie była jeszcze zaobserwowana w ziemskich eksperymentach. Uznał i słusznie, że odkrył nowy pierwiastek, który



Rys. 9. Całkowite zaćmienia Słońca 21.08.2017. Na zdjęciu wyraźnie widać konfigurację pola magnetycznego w słonecznej koronie, w górnej prawej stronie rysunku widoczne są też erupcje koronalne. Proszę też zwrócić uwagę na konfigurację pola magnetycznego, na tle globalnego dipolowego pola magnetycznego widać lokalne silne obszary pola magnetycznego związane z plamami słonecznymi. <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/ames/how-scientists-predicted-coronas-appearance-during-aug-21-2017-total-solar-eclipse/>

nazwał helium od greckiej nazwy Słońca Helios. Kilka lat później hel został odkryty na ziemi!

Obserwacje widma samej korony słonecznej przyniosły zaskakujące wyniki, zaobserwowano bowiem dwie linie zielone o długości fali 530.3 nm i czerwoną odpowiadającą długości fali 637.4 nm. Takie linie widmowe nie były jeszcze obserwowane w eksperymentach laboratoryjnych. Wobec tego przypuszczano, że są emitowane przez jakiś nowy pierwiastek, który nazwano koronium.

Plazma

W końcu lat 1930-tych okazało się, że te linie są emitowane przez atomy żelaza pozbawione trzynastu i dziesięciu elektronów. Tak wysoko zjonizowane atomy żelaza mogą istnieć w naturalnych warunkach, gdy temperatura otaczającej je plazmy wynosi ponad 10^6 K.

Przez ponad pół wieku astronomowie i fizycy zastanawiali się nad tym w jaki sposób ta bardzo rzadka plazma jest ogrzewana do takiej wysokiej temperatury. Obecnie przypuszcza się, to nie jest jeszcze w 100% pewne, że za ogrzewanie korony odpowiedzialne są fale magnetohydrodynamiczne, które są generowane przez silne szybko zmienne pola magnetyczne występujące na granicy między fotosferą i chromosferą.

Niestety na całkowite zaćmienie Słońca, które będzie można obserwować w Polsce trzeba będzie czekać aż do 7 października 2135 roku. Najbliższe całkowite zaćmienie Słońca można będzie obserwować w Hiszpanii 12 sierpnia 2026 roku. To zaćmienie Słońca można będzie obserwować z całego terytorium Polski, ale tylko jako częściowe. Niestety korona słoneczna nie będzie wówczas widoczna.

Prof. Marek Demiański

Październik 2024 wyjątkowym czasem dla obserwatorów nocnego nieba

Marcin Wesołowski

Z punktu widzenia astronomii październik 2024 roku okazał się jednym z najatrakcyjniejszych miesięcy dla obserwatorów nieba zwłaszcza nocnego. Związane było to z czterema zjawiskami, które można było oberwać okiem nieuzbrojonym nawet z centrum miasta pomimo rosnącego poziomu zanieczyszczenia nieba sztucznym światłem.

C/2023 A3 (Tsuchinshan–ATLAS)

Nasze rozważania należy rozpocząć od komety C/2023 A3 (Tsuchinshan–ATLAS), która zaliczana jest do komet długookresowych. Według obecnej wiedzy źródłem komet długookresowych jest obłok Oorta, czyli hipotetyczna sfera otaczająca Układ Słoneczny. Obłok ten jest pozostałością po formowaniu się Układu Słonecznego. W jego strefie znajdują się ciała niebieskie, które zostały wyrzucone z naszego układu planetarnego w czasie jego wczesnego formowania się w wyniku perturbacji grawitacyjnych pochodzących od planet zewnętrznych (planet jowiszowych, gazowych olbrzymów). Dotychczasowe obserwacje astronomiczne jednoznacznie nie potwierdziły istnienia obłoku Oorta, ale jego istnienia dowodzą obiekty z grupy centaurów oraz komety długookresowe.

Kometa C/2023 A3 (Tsuchinshan–ATLAS) została odkryta w dniu 9 stycznia 2023 roku w Obserwatorium Purple Mountain w Chinach oraz niezależnie przez teleskop ATLAS (Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System) w Obserwatorium Sutherland w Republice Południowej Afryki 22 lutego 2023 roku. W czasie odkrycia kometa C/2023 A3 znajdowała się w odległości heliocentrycznej

równej 7.3 jednostki astronomicznej, a jej jasność oscylowała w granicy około 18.1 magnitudo.

Pierwsze obserwacje komety gołym okiem został zgłoszone 23 września, wówczas miała ona jasność około 3.3 magnitudo. Natomiast w ostatnim tygodniu września kometa znajdowała się na niebie o świcie i była lepiej widoczna z półkuli południowej, i przewidywano, że jej jasność wyniesie około 2.0 magnitudo. Kometa C/2023 A3 (Tsuchinshan–ATLAS) osiągnęła peryhelium, czyli punkt największego zbliżenia się do Słońca w dniu 27 września 2024 roku.

W dniu 12 października 2024 miało miejsce największe zbliżenie się komety do Ziemi. Zgodnie ze wcześniejszymi przewidywaniami Kometa C/2023 A3 (Tsuchinshan–ATLAS) była widoczna gołym okiem nawet z centrum miasta. Jednakże najciekawsze zdjęcia powstały na obszarach, które były przynajmniej częściowo wolne od wpływu sztucznego oświetlenia rozproszonego na nocnym niebie. W przypadku Polski południowo-wschodniej ze względu na duże zachmurzenie w dniach 12-14 października 2024 roku Kometa C/2023 A3 (Tsuchinshan–ATLAS) była niewidoczna. Dopiero po 15 października wraz z poprawą warunków meteorologicznych (brak zachmurzenia) mogliśmy dokonać pierwszych obserwacji tej komety. Przykładowe zdjęcia będące wynikiem tych obserwacji zostały przedstawione na fotografiach (Foto.1-3). Następnie każdego dnia Kometa C/2023 A3 (Tsuchinshan–ATLAS) stawała się coraz słabsza ze względu na oddalanie się od Ziemi i Słońca. Jednakże zwiększenie tego dystansu sprawiło, że była ona łatwiejsza do obserwacji, pomimo zanieczyszczenia nieba sztucznym światłem jak i naturalnym pochodzącym od Księżyca, widocznych planet oraz gwiazd.



Foto. 1. Fotografia komety C/2023 A3 (Tsuchinshan-ATLAS), która została wykonana w dniu 22 października 2024 roku w odległości około 30 km od Rzeszowa ze względu na lepszą widoczność komety na nocnym niebie. Fotografie wykonano o godzinie 19:12 za pomocą aparatu Canon EOS RP, ISO 3200, czas naświetlania 10 sekund (Foto. mgr Zenon Sacharczuk).

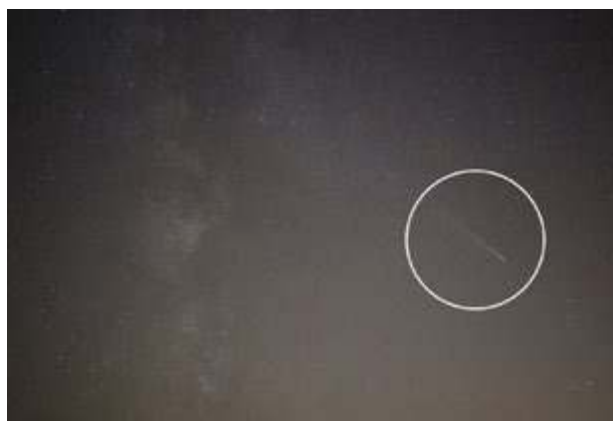


Foto. 2. Fotografia komety C/2023 A3 (Tsuchinshan-ATLAS), która została wykonana w dniu 22 października 2024 roku w odległości około 30 km od Rzeszowa ze względu na lepszą widoczność komety na nocnym niebie. Fotografie wykonano o godzinie 19:15. Ustawienia aparatu są analogiczne jak na Foto. 1 (Foto. mgr Zenon Sacharczuk).



Foto. 3. Fotografia komety C/2023 A3 (Tsuchinshan-ATLAS), która została wykonana w dniu 22 października 2024 roku w odległości około 30 km od Rzeszowa ze względu na lepszą widoczność komety na nocnym niebie. Fotografie wykonano o godzinie 19:22. Ustawienia aparatu są analogiczne jak na Foto. 1 (Foto. mgr Zenon Sacharczuk).



Rys. 1. Komputerowa rekonstrukcja rzeczywistych fotografii, z lewej strony rysunku widoczna jest Droga Mleczna, a z prawej kometa C/2023 A3 (Tsuchinshan-ATLAS) (Autor: Julian Sacharczuk).

Superpełnia

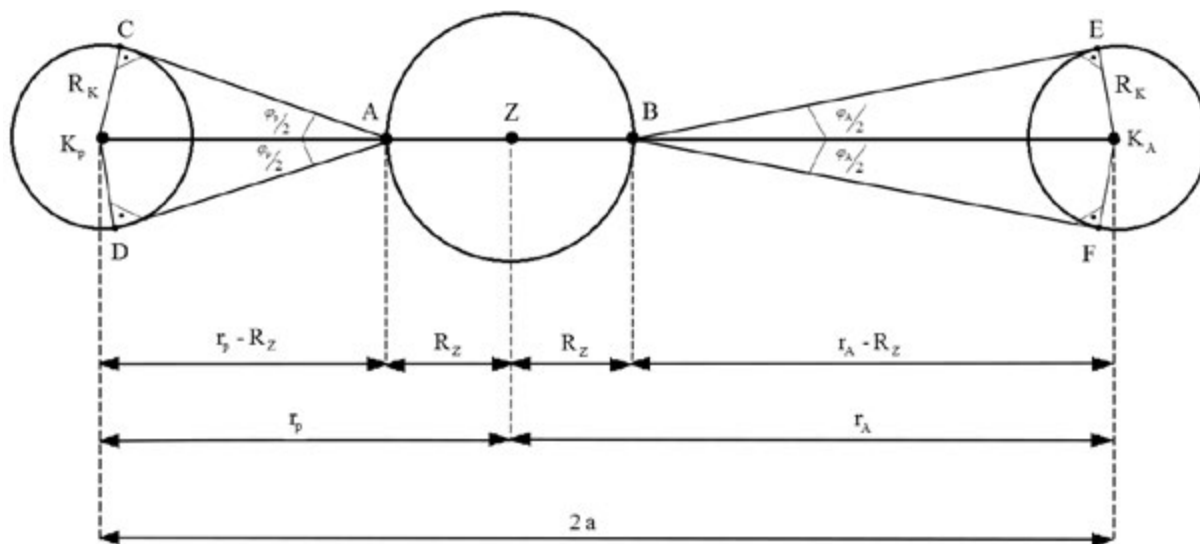
W dniu 17 października 2024 roku byliśmy świadkami kolejnego fascynującego zjawiska związanego tym razem z Księżycem. Oczywiście mowa tu o superpełni, podczas której Księżyc znajduje się w perygeum swojej orbity, a pełnia była najjaśniejszą w tym roku. Wynika to z faktu, że Księżyc znajduje się wówczas najbliżej Ziemi.

Księżyc porusza się wokół Ziemi po orbicie eliptycznej o średniej półosi $a = 384\,399$ km, mimośród jego orbity wynosi $e = 0.0549$. Okres gwiazdowy obiegu Księżycy wokół Ziemi wynosi $T_{GW} \approx 27.32$ dni, a okres synodyczny $T_{SYD} \approx 29.53$ dni. Warto w tym miejscu przypomnieć, że okres gwiazdowy dla Księżycy (miesiąc gwiazdowy) to czas potrzebny na to, aby Księżyc dokonał pełnego obrotu wokół Ziemi.

Okres synodyczny dla Księżycy (miesiąc synodyczny) to okres między dwoma kolejnymi tymi samymi fazami Księżycy. Inaczej mówiąc jest to odstęp czasu np. od pełni do kolejnej pełni lub od nowiu do następnego nowiu. Różnica pomiędzy tymi dwoma miesiącami wynika z faktu, że miesiąc synodyczny zależy nie tylko od ruchu obiegowego Księżycy wokół Ziemi, ale również od ruchu orbitalnego tych ciał względem Słońca.

Ze względu, że okres synodyczny jest krótszy niż liczba dni w danym miesiącu (z wyłączeniem lutego) średnio raz na cztery lata jesteśmy świadkami drugiej pełni księżycowej w danym miesiącu, która określana jest mianem „Błękitnej Pełni Księżycy”. Oczywiście w tym miejscu należy wyjaśnić, że rzeczywista barwa Księżycy jest srebrno-biała, a sama nazwa „Błękitna Pełnia Księżycy” odnosi się tylko do drugiej pełni zachodzącej w danym miesiącu.

Średnia wartość perygeum orbity Księżycy $q = 362\,600$ km, a średnia wartość apogeum jego orbity wynosi $Q = 405\,400$ km. W tym miejscu należy wyraźnie podkreślić, że obie te wartości ulegają nieznacznym zmianom w wyniku perturbacji orbity Księżycy. Perygeum zmienia się w zakresie: $356\,400$ km – $370\,400$ km, natomiast apogeum zmienia się w przedziale od $404\,000$ km – $406\,700$ km. Konsekwencją eliptyczności orbity Księżycy jest zmiana jego odległości od Ziemi, która wpływa z kolei na wymiary katowe jego tarczy oglądanej z Ziemi. Średnica katowa Księżycy będącego w pełni jest największa, gdy znajduje się najbliżej Ziemi – w perygeum, a najmniejsza, gdy jest on w apogeum. Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń wielkości tarczy Księżycy będącego



Rys. 2. Geometria zjawiska pełni Księżyca gdy znajduje się w perygeum lub apogeum. Z przyczyn technicznych skala wielkości Ziemi i Księżyca oraz odległości pomiędzy nimi nie są zachowane. Przyjęto następujące oznaczenia: Z – środek Ziemi, K_p – środek Księżyca będącego w pełni, kiedy znajduje się w perygeum, K_A – środek Księżyca będącego w pełni, kiedy znajduje się w apogeum, $2a$ – duża półoś orbity Księżyca, R_Z – promień Ziemi, R_K – promień tarczy Księżyca, r_p – odległość Księżyca od Ziemi w perygeum, r_A – odległość Księżyca od Ziemi w apogeum, A i B – oznaczają punkty na powierzchni Ziemi, z których obserwujemy tarczę Księżyca, $\frac{\varphi_p}{2}$, $\frac{\varphi_A}{2}$ – oznaczają promienieątowe Księżyca będącego w pełni i odpowiadają odpowiednio jego położeniu w perygeum i apogeum.

w pełni w zależności od odległości perygeum i apogeum (Rys. 2).

Na podstawie rys.1 możemy zapisać, że: $|CK_p| = |K_pD| = |EK_A| = |K_AF| = R_K$, więc dla trójkąta ACK_p mamy:

$$\sin \frac{\varphi_p}{2} = \frac{|CK_p|}{|K_pA|} = \frac{R_K}{r_p - R_Z}. \quad (1)$$

Podobnie dla trójkąta EK_AB otrzymamy:

$$\sin \frac{\varphi_A}{2} = \frac{|EK_A|}{|K_AB|} = \frac{R_K}{r_A - R_Z}. \quad (2)$$

Model I – obliczenia dla minimalnej odległości Księżyca w perygeum i maksymalnej w apogeum. Przyjęto tu, że: perygeum Księżyca jest minimalne i równe – 356 400 km, a apogeum jest maksymalne – 406 700 km. Przyjęto również, że promień Ziemi $R_Z = 6371$ km, a promień Księżyca wynosi $R_K = 1737$ km. Wobec tego na podstawie równań (1-2) otrzymujemy:

$$\begin{aligned} \sin \frac{\varphi_p}{2} &= \frac{|CK_p|}{|K_pA|} = \frac{1737 \text{ km}}{356400 \text{ km} - 6371 \text{ km}} \\ &= \frac{1737 \text{ km}}{350029 \text{ km}} = 4.9624 \cdot 10^{-3}. \end{aligned} \quad (3)$$

Na podstawie równania (3), możemy zapisać, że:

$$\varphi_p = 2 \arcsin(4.9624 \cdot 10^{-3}) \approx 0.5687^\circ = 34' 7''. \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \sin \frac{\varphi_A}{2} &= \frac{|EK_A|}{|K_AB|} = \frac{1737 \text{ km}}{406700 \text{ km} - 6371 \text{ km}} \\ &= \frac{1737 \text{ km}}{400329 \text{ km}} = 4.3389 \cdot 10^{-3}. \end{aligned} \quad (5)$$

Stąd wynika, że:

$$\varphi_A = 2 \arcsin(4.3389 \cdot 10^{-3}) \approx 0.4972^\circ = 29' 50''. \quad (6)$$

Teraz łatwo możemy wyznaczyć stosunek wymiarów kątowych średnic Księżyca w perygeum i apogeum:

$$k_1 = \frac{\varphi_p}{\varphi_A} = \frac{0.5687^\circ}{0.4972^\circ} = 1.143 \approx 1.14 \quad (7)$$

oraz jego kwadratu:

$$k_1^2 = \left(\frac{\varphi_p}{\varphi_A} \right)^2 = (1.143)^2 = 1.31. \quad (8)$$

Model II – w drugim przypadku obliczenia uwzględniają średnie odległości Księżyca. Przyjęto, że: perygeum wynosi – 362 600 km, a apogeum – 405 400 km. Postępując w analogiczny sposób jak w przypadku modelu I mamy:

$$\begin{aligned} \sin \frac{\varphi_p}{2} &= \frac{|CK_p|}{|K_pA|} = \frac{1737 \text{ km}}{362600 \text{ km} - 6371 \text{ km}} \\ &= \frac{1737 \text{ km}}{356229 \text{ km}} = 4.8761 \cdot 10^{-3}, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \sin \frac{\varphi_A}{2} &= \frac{|EK_A|}{|K_AB|} = \frac{1737 \text{ km}}{405400 \text{ km} - 6371 \text{ km}} \\ &= \frac{1737 \text{ km}}{399029 \text{ km}} = 4.3531 \cdot 10^{-3}. \end{aligned} \quad (10)$$

Z równań (9-10) łatwo można pokazać, że:

$$\varphi_p = 2 \arcsin(4.8761 \cdot 10^{-3}) \approx 0.5587^\circ = 33' 31'', \quad (11)$$

$$\varphi_A = 2 \arcsin(4.3531 \cdot 10^{-3}) \approx 0.4988^\circ = 29' 55''. \quad (12)$$

Postępując w sposób analogiczny jak w przypadku modelu I mamy:

$$k_2 = \frac{\varphi_p}{\varphi_A} = \frac{0.5587^\circ}{0.4988^\circ} = 1.12. \quad (13)$$

$$k_2^2 = \left(\frac{\varphi_p}{\varphi_A} \right)^2 = (1.12)^2 = 1.25. \quad (14)$$

Model III – w trzecim przypadku obliczenia uwzględniają odległości Księżyca od Ziemi minimalną w perygeum i maksymalną w apogeum. Przyjęto, że: maksymalna odległość w perygeum wynosi – 370 400 km, a minimalna w apogeum – 404 000 km. Postępując w analogiczny sposób jak w przypadku modelu I i II mamy:

$$\sin \frac{\varphi_P}{2} = \frac{|CK_P|}{|K_P A|} = \frac{1737 \text{ km}}{370400 \text{ km} - 6371 \text{ km}} = \frac{1737 \text{ km}}{364029 \text{ km}} = 4.7716 \cdot 10^{-3}, \quad (15)$$

$$\sin \frac{\varphi_A}{2} = \frac{|EK_A|}{|K_A B|} = \frac{1737 \text{ km}}{404000 \text{ km} - 6371 \text{ km}} = \frac{1737 \text{ km}}{397629 \text{ km}} = 4.3684 \cdot 10^{-3}. \quad (16)$$

Z równań (15-16) łatwo można pokazać, że:

$$\varphi_P = 2 \arcsin(4.7716 \cdot 10^{-3}) \approx 0.5468^\circ = 32' 49'', \quad (17)$$

$$\varphi_A = 2 \arcsin(4.3684 \cdot 10^{-3}) \approx 0.5006^\circ = 30' 2''. \quad (18)$$

Postępując analogicznie jak w poprzednich przypadkach otrzymujemy:

$$k_3 = \frac{\varphi_P}{\varphi_A} = \frac{0.5468^\circ}{0.5006^\circ} = 1.09. \quad (19)$$

$$k_3^2 = \left(\frac{\varphi_P}{\varphi_A} \right)^2 = (1.09)^2 = 1.19. \quad (20)$$

W obliczeniach wielkości perygeum i apogeum zostały zaczerpnięte z anglojęzycznej strony Wikipedii o Księżycu – <https://en.wikipedia.org/wiki/Moon>.

Zestawienie wyników:

Model	Perygeum km	Apogeum km	φ_P	φ_A	k_i ($i=1,2,3$)	$(k_i)^2$ ($i=1,2,3$)
I	356 400	406 700	34'7''	29'50''	1,14	1,31
II	362 600	405 400	33'31''	29'55''	1,12	1,25
III	370 400	404 000	32'49''	30'2''	1,09	1,19

Na podstawie otrzymanych wyników obliczeń można zauważyć, że wymiary kątowe Księżyca podczas superpełni są o 14% większe od jego wymiarów w czasie pełni odpowiadającej maksymalnemu perygeum. Przyjmując, że jasność Księżyca jest proporcjonalna do jego powierzchni znajdujemy, że odpowiada temu wzrost jego blasku o 30%. Dla średnich odległości perygeum i apogeum wymiary kątowe w pełni odpowiadającej perygeum są o 12% większe od pełni odpowiadającej apogeum. Jasność Księżyca wtedy w perygeum jest o 25% większa niż w apogeum. Najmniejsza różnica w wymiarach Księżyca w pełni odpowiada sytuacji, gdy jest on w odległości maksymalnego perygeum, a najmniejszego apogeum. Wtedy różnica w wielkości tarcz Księżyca wynosi około 9%, a jasność różni się o 19%.

Poniżej przedstawiamy fotografie obrazujące zjawisko superpełni, która miała miejsce 17 października 2024 roku. Przedstawione sekwencje zdjęć zostały wykonane przy użyciu cyfrowego aparatu fotograficznego (Foto. 4-7).



Foto. 4. Fotografia tarczy Księżyca w czasie superpełni w dniu 17 października 2024. Fotografii wykonano przy użyciu cyfrowego aparatu fotograficznego Canon PowerShot SX500 IS (Foto. Autor).



Foto. 5. Fotografia tarczy Księżyca w czasie superpełni w dniu 17 października 2024. Pozostałe oznaczenia są analogiczne jak na Foto. 4 (Foto. Autor).



Foto. 6. Fotografia tarczy Księżyca w czasie superpełni w dniu 17 października 2024. Pozostałe oznaczenia są analogiczne jak na Foto. 4 (Foto. Autor).



Foto. 7. Fotografia tarczy Księżyca w czasie superpełni w dniu 17 października 2024. Pozostałe oznaczenia są analogiczne jak na Foto. 4 (Foto. Autor).

Pociąg kosmiczny

Satelita Starlink to satelitarny system telekomunikacyjny, którego głównym celem jest zapewnienia łączności internetowej na całym świecie. Budowa konstelacji sztucznych satelitów rozpoczęła się w 2019 roku. Obecnie według danych pochodzących z sierpnia 2024 roku cały system składa się z 5200 satelitów, które orbitują na niskiej orbicie okołoziemskiej. Planowana wielkość konstelacji sztucznych satelitów wynosi 12000 z możliwością jej rozszerzenia do około 32000.

Ze względu na dużą liczbę sztucznych satelitów konstelacja ta została potocznie nazwana kosmicznym pociągiem Starlinków, które przemierzają nocne niebo. Przykładowa fotografia kosmicznego pociągu została przedstawiona jako Foto. 8. Ze względu na dynamiczny rozwój tej inwestycji astronomowie wyrazili pewne obawy dotyczące wpływu tej konstelacji na wzrost jasności powierzchniowej nieba nocnego, który bezpośrednio przekłada się na wizualne obserwacje astronomiczne ciał niebieskich.

Orionidy to rój meteorów, który związany jest z kometą 1P/Halley, która jest najbardziej znana ze wszystkich komet okresowych. Zbliżenia tej komety do Słońca są regularnie odnotowywane w kronikach wielu narodów od roku 466 p.n.e. Krąży ona wokół Słońca po wydłużonej orbicie eliptycznej o dużej półosi $a = 17.8$ jednostki astronomicznej z okresem orbitalnym wnoszącym średnio 76 lat. Jej orbitę na podstawie trzech wcześniejszych pojawień wyznaczył w pierwszej połowie XVIII wieku astronom angielski Edmund Halley i stąd jej nazwa. Ostatni raz przeleciała w pobliżu Słońca w 1986 roku. Następny jej powrót w okolice Słońca jest przewidywany na 2061 rok.

Radiant roju Orionidów znajduje się na pograniczu gwiazdozbioru Oriona i Bliźniąt. Rój ten widoczny jest w okresie pomiędzy 2 października a 7 listopada. Jednakże maksimum aktywności tego roju przypada na 21 października. W trakcie obserwacji tego roju możemy zauważyć od 20 do 30 meteorów na godzinę. Jako ciekawostkę można podać, że pierwsze informacje na temat tego roju pochodzą z kronik chińskich, a europejskie źródła dla tego roju związane są z obserwacjami Herschela w XIX wieku. Dodajmy, że z kometą 1P/Halley związany jest także rój Eta Akwarydy, którego maksimum aktywności przypada na 6 maja.

W tym miejscu warto przedstawić następujące pytanie skąd się biorą poszczególne roje meteorów?

Podstawowym mechanizmem związanym z aktywnością komet jest sublimacja lodu wodnego, która zachodzi z powierzchni oraz wnętrza jądra za pośrednictwem dżetów. Molekuły sublimujących lodów kometarnych unoszą z powierzchni jądra okruchy materii kometarnej w postaci porowatych cząstek pyłowo-lodowych lub pyłowych (zwanych aglomeratami). W ten sposób wzdłuż orbity danej komety materia ta jest rozsiewana. Oznacza to, że w trakcie okresu orbitalnego kometa traci pewien ułamek swojej masy – średnio około 0.5%.

Po odpowiedniej liczbie przejść danej komety przez jej peryhelium zostaje ona pozbawiona lodu wodnego (głównego składnika jądra), który spaja poszczególne struktury. Wówczas jądro rozpada się na mniejsze fragmenty, a siły perturbacyjne pochodzące od planet rozpraszają gruz kometarny wzdłuż pierwotnej orbity komety. Jeśli orbita



Foto. 8. Ślad na nocnym niebie po kosmicznym pociągu Starlinków (Foto. mgr Zenon Sacharczuk).

komety przecina orbitę Ziemi lub przebiega dostatecznie blisko niej, to o regularnie określonych porach możemy obserwować poszczególne roje. Dodajmy, że najbardziej znanym rojem są Sierpniowe Perseidy, które związane są z aktywnością komety 109P/Swift-Tuttle.

Maksimum aktywności Słońca

Na koniec naszych rozważań przedstawionych w tym artykule warto wspomnieć, że w październiku 2024 roku NASA ogłosiła maksimum aktywności naszej dziennej gwiazdy – Słońca w 11 cyklu. Wiąże się to z pojawieniem się na powierzchni Słońca (fotosfery) dużej liczby plam słonecznych. Najprawdopodobniej okres wzmożonej aktywności Słońca potrwa około jednego roku. Podstawowym parametrem opisującym aktywność słoneczną jest liczba Wolfa. W czasie minimum aktywności słonecznej fotosfera Słońca jest praktycznie „czysta” to znaczy brak jest plam słonecznych. Natomiast w czasie maksimum aktywności słonecznej na fotosferze Słońca widocznych jest od kilku do kilkunastu plam, które tworzą grupy plam.

Dokonując systematycznych obserwacji tarczy Słońca w szczególności można zauważyć przemieszczanie się plam słonecznych po powierzchni fotosfery. Przemieszczanie się plam na powierzchni Słońca związane jest z rotacją różnicową Słońca, czyli zróżnicowanie prędkości kątowej, z jaką poszczególne strefy rotują.

W przypadku fotosfery Słońca, plazma znajdująca się w pobliżu równika słonecznego rotuje najszybciej, a plazma położona w okolicach biegunów najwolniej. W przypadku strefy równikowej okres rotacji wynosi 25 dni, dla szerokości heliograficznej 45° okres ten wzrasta do 27.6 dnia, a dla biegunów wynosi około 30.8 dnia.

Koronnym dowodem na rotację różnicową Słońca jest przemieszczanie się plam słonecznych po powierzchni fotosfery. Ponadto plama na powierzchni fotosfery może utrzymywać się nawet około dwóch tygodni.

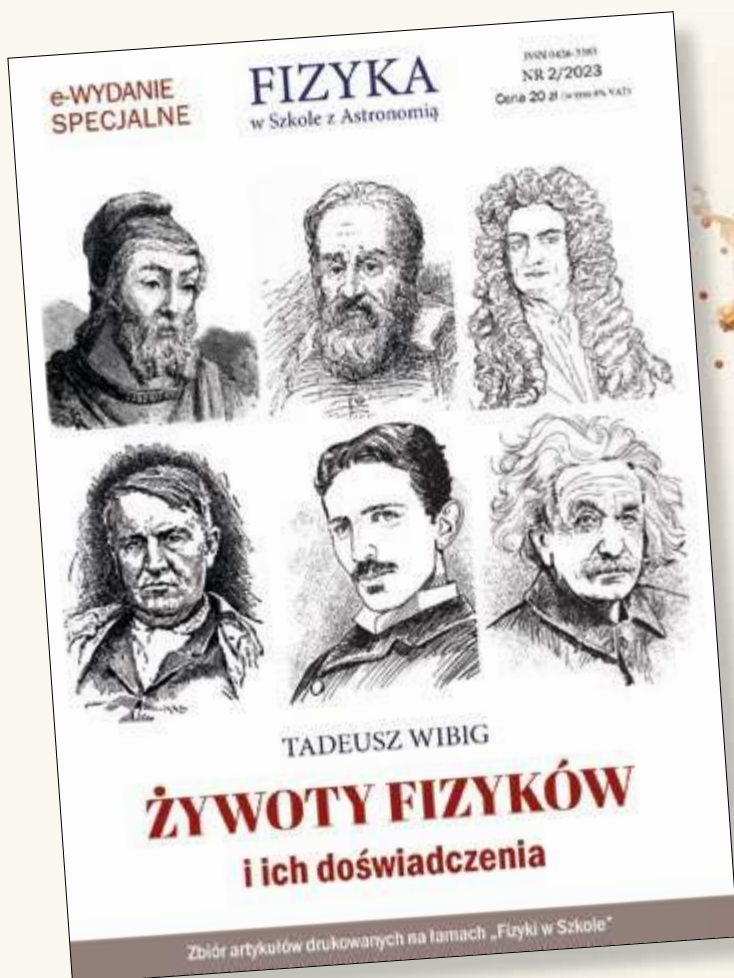
W tym miejscu zwracam się z apelem o przestrzeganie zasad bezpieczeństwa podczas obserwacji tarczy Słońca.

dr hab. Marcin Wesołowski, prof. UR
Uniwersytet Rzeszowski, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Instytut Nauk Fizycznych,
Centrum Innowacji i Transferu Wiedzy Techniczno-Przyrodniczej
Uniwersytetu Rzeszowskiego.



Rys. 2. Tarcza Słońca podczas minimum (z lewej strony) i maksimum aktywności słonecznej (z prawej strony), Foto. NASA.

Wielcy fizycy i ich doświadczenia



- ✓ Od Archimedesesa po Einsteina
- ✓ Najważniejsze odkrycia
- ✓ 27 wybitnych postaci

**Cena
20 zł**
(w tym 8% VAT)



**WYDANIE SPECJALNE FIZYKI W SZKOLE
W WERSJI ELEKTRONICZNEJ – PLIK PDF**

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

eprasa.pl 0f43a0acab



PRENUMERATA 2025

**PRZEDŁUŻ
LUB
ZAMÓW!**

- Prenumerata roczna i półroczna
- Wersja drukowana lub cyfrowa – pliki PDF



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

eprasa.pl 0f43a0acab