

Co w zeszycie

Zapraszamy do lektury letniego zeszytu *Neutrino*. Tym razem zajęliśmy się tak zwaną fotografią kirlianowską, na której przedstawiona osoba posiada wokół głowy kolorową aurę, mającą ilustrować jej „energię życiową” i pośrednio jej stan zdrowia. To oczywiście oszustwo. W artykule wyjaśniamy, czym jest w istocie fotografia kirlianowska i jak ją w prosty sposób wykonać. Kolejny, obszerny artykuł wyjaśnia istotę miraży, które można dość często obserwować w upalne dni, dlatego dobrze jest zrozumieć jak powstają.

Czy zastanawialiście się „jak zważyć” Ziemię, a dokładnie jak obliczyć jej masę? Ci, którzy już zapoznali się nieco z fizyką, znają prawa Keplera i prawo grawitacji Newtona, od razu powiedzą, że to dość proste. Tak jest w istocie, jednak pod warunkiem, iż znamy stałą grawitacji. W porównaniu z innymi stałymi fizyki (jak na przykład prędkość światła czy ładunek elementarny) ta stała jest zmierzona ze stosunkowo małą dokładnością, postęp od czasów Cavendisha nie jest oszałamiający.

Amatorom wakacyjnych podróży zwracamy uwagę na interesujące muzea i zachęcamy do ich odwiedzenia.

Z.G-M

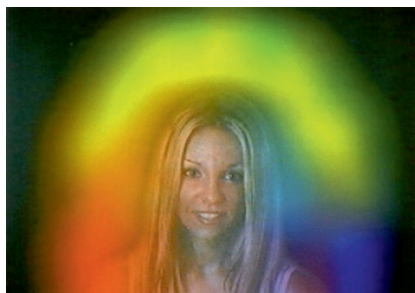


Spis treści

Poświata kirlianowska – zjawisko fizyczne czy szalbierstwo.....	1
Pomiar masy Ziemi a stała grawitacyjna	5
Zadania.....	8
Miraże a krzywoliniowe rozchodzenie się światła cd.	10
Eksperyment łańcuchowy	17
Wakacyjne wędrówki z fizyką	19
Poszukiwanie wody w Układzie Słonecznym i poza nim	21

Poświata kirlianowska – zjawisko fizyczne czy szalbierstwo

Wielu z nas już widziało zdjęcie człowieka otoczonego aurą (rys. 1). Twierdzi się, że owa aura jest oznaką rzeczywistej „energii życiowej”, natomiast fotografia kirlianowska jest metodą pozwalającą uwidocznic aurę. Nie jest to jednak prawda. Fizyka tłumaczy zasady fotografii kirlianowskiej w prosty sposób (rys. 2), a mimo to nieporozumienia dotyczące zarówno fotografii kirlianowskiej jak i „aury” człowieka są ciągle rozprzestrzeniane.



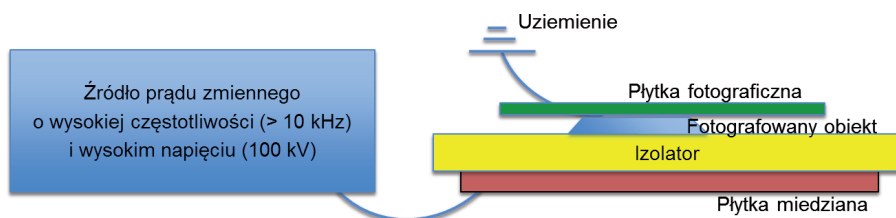
Rys. 1. Fotografia „aury” człowieka



Rys. 2. Fotografia kirlianowska liścia

Technologia wytwarzania i własności prądu zmiennego są znane od końca XIX wieku, a obwody prądu zmiennego z opornikami, kondensatorami, cewkami itd. wchodziły w skład urządzeń codziennego użytku.

Za pomocą podstawowych elementów obwodu elektrycznego oraz płytki fotograficznej (płytki szklanej z naniesioną emulsją światłoczułą), można zbudować układ taki, jak pokazany na rys. 3.



Rys. 3. Układ do wykonania fotografii kirlianowskiej

Miedziana płytka jest podłączona do źródła prądu zmiennego. Zarówno częstotliwość, jak i napięcie, mają bardzo wysokie wartości. Częstotliwość jest co najmniej sto razy większa od częstotliwości napięcia sieciowego, wynoszącego 50 Hz. Napięcie jest około tysiąc razy większe od napięcia sieciowego. Na powierzchni płytki metalowej znajduje się warstwa izolująca, na której umieszczony jest fotografowany obiekt. Światłoczuła płytka fotograficzna znajduje się albo pod, albo tuż nad fotografowanym uziemionym obiektem. Cały eksperyment wykonywany jest oczywiście w ciemni.

Gdy tylko obiekt zostanie umieszczony w polu elektrycznym o dużym natężeniu, wilgotne powietrze wokół fotografowanego obiektu ulega jonizacji.

Następnie dodatnie i ujemne jony łączą się w procesie rekombinacji tworząc obojętne cząsteczki, a nadwyżka energii emitowana jest w postaci fotonów światła. Ostatecznie powietrze otaczające fotografowany obiekt staje się źródłem światła, co jest widoczne jako spektakularna aureola. Natężenie pola elektrycznego ma większą wartość w miejscach, w których obiekt ma ostre krawędzie i dlatego też w tych miejscach na fotografiach obserwuje się więcej światła. Takie fotografie często wyglądają bardzo pięknie.



Rys. 4. Fotografia kirlianowska dłoni i klucza francuskiego

Zjawisko poświaty, np. jak na rys. 5, nosi nazwę wyładowania koronowego i jest ono dość częste. Na przykład ognie świętego Elma, będące zjawiskiem atmosferycznym (pogodowym) często spotykanym przez żeglarzy, swoje źródło mają właśnie w wyładowaniach koronowych.

Linie wysokiego napięcia przewodzą prąd o napięciu ponad 100 tys. woltów. Szacuje się, że – w zależności od warunków pogodowych – znaczna ilość przewodzonej energii elektrycznej może być tracona w wyniku wyładowań koronowych (zob. rys. 5).



© Michel Tournay



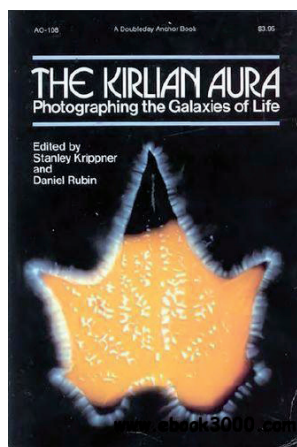
Rys. 5. Wyładowania koronowe wokół linii wysokiego napięcia

Pierwsze zdjęcia zrobione metodą fotografii kirlianowskiej zostały wykonane 40 lat przed Kirlianem. Wiele źródeł podaje, iż to polski lekarz Jakub Jodko-Narkiewicz pokazał fotografie kirlianowskie na wystawach w Paryżu oraz Imperatorskiego Rosyjskiego Towarzystwa Technicznego w Moskwie (1889).

Semjon Davidovitch Kirlian był elektrykiem pochodzącym z Krasnodaru. Pod koniec lat 30. XX wieku rozpoczął hobbystycznie eksperymentowanie z tego typu fotografią. Początkowo zainteresowanie fotografią kirlianowską pośród naukowców rozwijało się bardzo wolno. Dopiero około 1960 roku gazety i czasopisma popularnonaukowe w Związku Radzieckim zaczęły publikować prace o takiej tematyce. Wtedy zaczęły się szeroko zakrojone badania naukowe, których celem miało być zastosowanie fotografii kirlianowskiej do celów diagnostycznych.

Po około 10 latach „szał” kirlianowski opanował Zachód. W roku 1970 Lynn Schroeder i Sheila Ostrander wydały książkę *Psychic Discoveries Behind the Iron Curtain (Odkrycia paranormalne za żelazną kurtyną)*. Książka ta wywołała wielką wrzawę. Autorki uważały, że Zachód był opóźniony w badaniach zjawisk paranormalnych w porównaniu ze Związkiem Radzieckim. Twierdziły, że w Czechosłowacji widziały na własne oczy „generator psychotronowy”, którego żadna broń ani samolot myśliwski nie byłyby w stanie zniszczyć. Oprócz tego w książce znalazły się także takie tematy, jak: „moc pochodząca z piramid” (mit, zgodnie z którym żyletka staje się bardziej ostra, gdy przez noc poleży pod niewielką piramidą) oraz fotografia kirlianowska, które później były przedmiotem dyskusji radiowych i telewizyjnych. Dla wielu ludzi Zachodu była to pierwsza możliwość zapoznania się z fotografią kirlianowską. Następnie Thelma Moss, parapsycholożka, przewodnicząca Neuropsychiatrycznego Instytutu w University of California, Los Angeles (UCLA), podjęła wyprawę do Związku Radzieckiego i napisała książki: *The Probability of the Impossible: Scientific Discoveries & Explorations in the Psychic World* (1974) (*Prawdopodobieństwo niemożliwego: Naukowe odkrycia z eksploatacją świata paranormalnego*) oraz *The Body Electric: A Personal Journey into the Mysteries of Parapsychological Research, Bioenergy and Kirlian Photography* (1979) (*Ciało elektryczne: Osobista podróż w tajemnice badań parapsychologicznych, bioenergii o fotografii kirlianowskiej*).

W żadnej z tych książek nie ma nawet najmniejszej próby wyjaśnienia podstaw fizycznych obserwowanych zjawisk, zaś aura kirlianowska jest opisywana w kontekście „bioplazmy” i „ciał astralnych”.



Rys. 6. Książka z roku 1974 o fotografii kirlianowskiej. Mimo tego, że redaktorzy książki byli pracownikami naukowymi, tematyka została sprowadzona do zagadnień okultystycznych

Zimna Wojna i związana z nią paranoja należą już do przeszłości, jednak środowiska paranormalne nigdy nie zaprzestały swojej fascynacji fotografią kirlianowską.

Materiały potrzebne do wykonania zdjęcia techniką kirlianowską są stosunkowo łatwe do zdobycia. Samo wykonanie eksperymentu też nie jest skompli-

kowane przy zachowaniu odpowiednich środków ostrożności. W zmontowanym układzie istnieje wiele zmiennych parametrów (wartość napięcia, częstotliwość, skład atmosfery otaczającej fotografowany obiekt itd.), które mogą być odpowiednio dobrane w celu uzyskania odpowiednich efektów na zdjęciu. Wykonano już wiele takich eksperymentów. Kiedyś rozważano nawet, czy fotografia kirlianowska mogłaby być wykorzystana w diagnostyce medycznej, np. psychologicznych dolegliwości, zanim pojawią się symptomy choroby. Jednak pomysł ten nie wyszedł poza wstępne analizy. Po odkryciu Wilhelma Röntgena w 1895 roku wystarczyło zaledwie kilka miesięcy, aby fotografie rentgenowskie zaczęły być stosowane przez lekarzy w celu oceny złamań kości czy lokalizacji ciał obcych w organizmie. Ale nawet po pół wieku wnikliwych badań nie udało się znaleźć żadnego użytecznego zastosowania fotografii kirlianowskiej.

Zwolennicy mocy nadprzyrodzonych ochoczo opowiadają o tym, że liść zerwany z drzewa posiada jasną i wyraźną aurę kirlianowską, oraz jak aura staje się coraz słabsza, gdy liść zaczyna więdnąć, a całkiem suchy liść nie ma żadnej aury. Według tych osób za takie zjawisko odpowiada zanikająca „siła życiowa”. Postulowanie „élan vital” (pędu życiowego) w taki sposób jest oczywiście bardzo uproszczone i wprowadzające w błąd. Wyjaśnienie naukowe jest natomiast bardzo proste i jednoznaczne. Zdjęcie kirlianowskie jest wysokiej jakości, gdy fotografowany obiekt jest dobrym przewodnikiem elektrycznym. Dobry przewodnik elektryczny to taki, w którym elektrony i/lub jony mogą się łatwo poruszać. Tkanki żywe składają się w głównej mierze z wody z rozpuszczonymi jonami i stanowią dobry przewodnik elektryczny, więdnienie liścia zaś związane jest z utratą wody i wysychaniem, a suchy liść jest raczej izolatorem.

Dobrze zakorzeniona jest również historia o „fantomowym fragmencie organizmu”, który może zostać uwidoczniiony na pomocą fotografii kirlianowskiej. Należy np. oderwać kawałek liścia, a kiedy wykona się kolejne zdjęcie kirlianowskie, w miejscu gdzie kiedyś był oderwany fragment, będzie widoczna aura. Dzieje się tak rzeczywiście, jeśli najpierw wykona się zdjęcie kirlianowskie całego liścia, a następnie bez podnoszenia go z płytki izolującej oderwie się fragment. I tutaj także wyjaśnienie podstaw fizycznych jest proste. Wilgoć pochodząca z liścia pozostaje na powierzchni płytki, na której się znajduje, także tej części, z której został oderwany jego kawałek. Świeżo zerwany liść zawsze jest wilgotny, a żeby wykonać zdjęcie kirlianowskie nie potrzeba dużej ilości wody. Co więcej, przyłożone pole elektryczne „wypycha” dodatkowo niewielką ilość wody z liścia. Ponadto małe wyładowanie elektryczne przechodzi przez płytkę izolującą, gdy układ zostaje podłączony do źródła napięcia. Takie wyładowanie elektryczne tworzy trwałe pory w strukturze płytki i kolejne wyładowanie będzie się rozprzestrzeniać w tych już istniejących porach. Kiedy eksperyment wykonany jest dokładnie, a „okaleczony” liść jest umieszczony na nowej, czystej i suchej płytce, żaden „fantom” nie jest obserwowany.

Na spotkaniach towarzystw paranormalnych można wykonać zdjęcie swojej „aury kirlianowskiej” (rys. 1). Fotografowana osoba stawiana jest na czarnym tle i czasami nawet trzyma pudełko, które jest bezpośrednio podłączone do aparatu fotograficznego. Taki zestaw nie ma jednak nic wspólnego z fotografią kirlianowską, tylko jest zwykłym oszustwem! Jest to aparat z zainstalowaną wewnątrz niego diodą elektroluminescencyjną (LED). To właśnie ta świecąca dioda jest odpowiedzialna za obserwowany efekt „kolorowej aury”. Ponieważ diody są umieszczone poza ogniskiem soczewki, wykonane zdjęcie jest rozmyte. Aparaty tego typu można bez problemu kupić w sklepach internetowych.



Podsumowanie

Fotografia kirlianowska obiektów umieszczonych w polu elektrycznym wysokiej częstotliwości i wysokiego napięcia jest efektem fizycznym, jak tzw. ognie świętego Elma. To dobrze zbadane zjawisko nosi nazwę wyładowania koronowego, które rozmaici oszuści sprytnie wykorzystują, prezentując je jako zjawiska nadprzyrodzone.

Martin Bier, East Carolina University USA oraz IF UJ
i K.D-K

Pomiar masy Ziemi a stała grawitacyjna

Odpowiedź na pytanie: Jak zmierzyć masę Ziemi? wydaje się bardzo prosta. Chwila zastanowienia i rzut oka na wzory, powiedzmy III prawo Keplera opisujące ruch satelity po orbicie o promieniu r i okresie orbitalnym T :

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2} \quad (\text{III prawo Keplera})$$

lub wyrażenie na wartość natężenia pola grawitacyjnego g (przyspieszenie ziemskie)

$$g = \frac{GM}{R^2},$$

gdzie R to promień Ziemi, natychmiast ujawnia, że obserwując ruch ciał możemy wyznaczyć (i to bardzo dokładnie) tylko i wyłącznie iloczyn GM . G to fundamentalna stała fizyczna nazywana newtonowską stałą grawitacyjną lub po prostu stałą grawitacyjną. Nie należy mylić jej ze stałą g (małe g), czyli przyspieszeniem ziemskim. Lokalna, faktyczna wartość przyspieszenia, z jakim spadają ciała, zależy m.in. od szerokości geograficznej (z powodu siły odśrodkowej) i wysokości nad poziomem morza. Na powierzchni każdego ciała niebieskiego jest inna. Przykładowe wartości to $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ dla Ziemi (tzw. standardowe g), $g = 1,62519 \text{ m/s}^2$ na Księżycu, $g = 273,3 \text{ m/s}^2$ na powierzchni Słońca. Natomiast stała G określająca siłę przyciągania F pomiędzy kulami o masie $m_1 = m_2 = 1 \text{ kg}$ w odległości $r = 1 \text{ m}$

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

jest taka sama w całym Wszechświecie. Rekomendowana obecnie na podstawie licznych pomiarów wartość stałej grawitacyjnej to

$$G = 6,67384 \times 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2\text{kg}}.$$

Wymiar stałej grawitacyjnej łatwo odtworzyć, wiedząc że GM występuje po jednej stronie III prawa Keplera. Osobiście uważam, że lepiej jest zrobić na odwrót: zapamiętać wymiar G , a wtedy już nigdy nie pomylą się nam potęgi w prawie Keplera.

Wniosek jest następujący: aby poznać masę Ziemi (a także innych ciał niebieskich) musimy najpierw dokonać laboratoryjnego pomiaru wartości G . Okazuje się, że zadanie to stwarza techniczne trudności, których nie udało się przezwyciężyć od 200 lat. Przyjrzyjmy się dokładniej rekomendowanej przez CODATA* wartości 6,67384, gdzie dla skrócenia notacji pomijam dalej mnożnik $\times 10^{-11}$. Jej niepewność pomiarowa mierzona odchyleniem standardowym wynosi $\sigma = 0,0008$. Fakt ten zapisujemy w postaci $G = 6,67384 \pm 0,00080$ lub $G = 6,67384(80)$. Oznacza to, że faktyczna wartość G z prawdopodobieństwem 68% mieści się pomiędzy $G - \sigma$ a $G + \sigma$, czyli

$$6,67304 \leq G \leq 6,67464 \quad (1\sigma)$$

Jeżeli zwiększymy zakres niepewności do 2σ , prawdopodobieństwo wzrasta do 95%. Dla 3σ prawdopodobieństwo sięga ponad 99,7%, a G mieści się wówczas w przedziale

$$6,67144 \leq G \leq 6,67624 \quad (3\sigma)$$

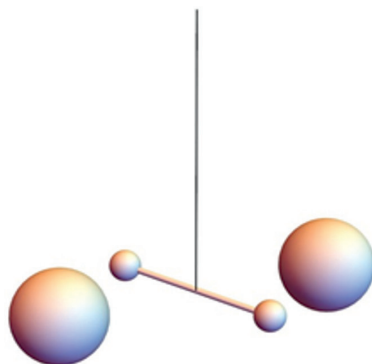
Wygląda na to, że na dzień dzisiejszy „bezpieczna” wartość to $G = 6,67$, a zakładanie się o kolejną cyfrę znaczącą na końcu nadal nie jest stuprocentowo pewnym interesem! Dla porównania, wynik uzyskany przez Cavendisha w 1798 roku jest równoważny $G = 6,74$. Trudno to nazwać istotnym postępowaniem. Złośliwi komentują, że gdyby Cavendish mógł przenieść się w czasy współczesne, to bez problemu zrozumiałby zasadę działania aparatury pomiarowej, gdyż nadal jest podobna do jego własnej. Natomiast nie rozumiałby, dlaczego po 200 latach pracy wynik jest taki kiepski. Sam Cavendish nigdy nie użył określenia „stała grawitacyjna”, wyniki podawał poprzez średnią gęstość Ziemi ρ ,

$$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3},$$



gdzie w liczniku mamy masę Ziemi M , a w mianowniku wyrażenie na objętość kuli o promieniu R . Podanie 200 lat temu wartości $\rho = 5500 \text{ kg/m}^3$ pozwoliło obalić popularne teorie, mówiące jakoby Ziemia miała być pusta w środku. W rzeczywistości gęstość wskazuje na jednorodną kulę z dużą zawartością żelaza.

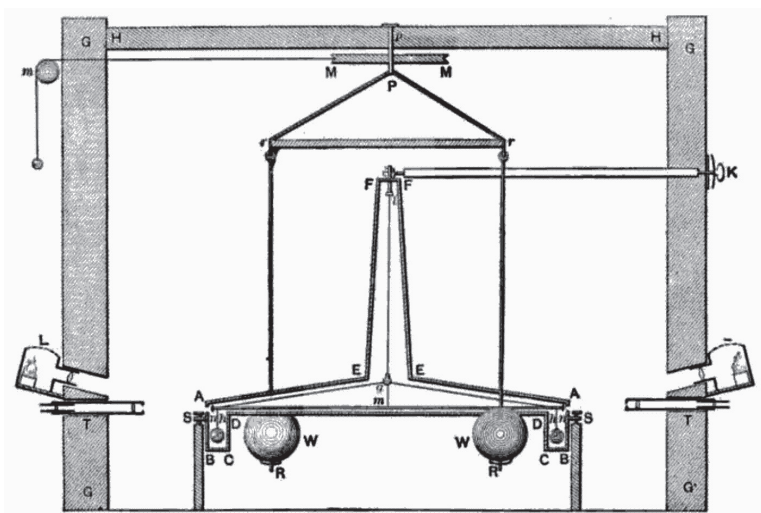
Jak zatem mierzymy G , M lub ρ , co na jedno wychodzi? Zasadę pomiaru ilustruje rysunek obok. Na cienkim, najczęściej kwarcowym drucie zawieszamy „hantlę” zawierającą dwie identyczne kule. Następnie przysuwamy do nich znacznie większe kule i mierzymy skreślenie spowodowane przyciąganiem grawitacyjnym. Układ tego typu nazywamy wagą skręceń. Była to metoda użyta przez Cavendisha. W celu eliminacji zakłóceń zbudował on specjalny budynek. Cała aparatura była obsługiwana zdalnie, za pomocą linek, aby nie zakłócić pomiaru ru-



* <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Info/Constants/definitions.html>

chami powietrza, które powodowało ciepło ludzkiego ciała. We współczesnej aparaturze wprowadzono kilka drobnych usprawnień, jak np. użycie taśmy zamiast drutu, prostokątnej płytki zamiast hantli, cięższych kul wolframowych ($\rho = 19\,250\text{ kg/m}^3$) zamiast ołowianych ($\rho = 11\,340\text{ kg/m}^3$), czy przeprowadzanie pomiarów w próżni. Jak wiemy, niewiele to dało. Dlatego w tym roku podjęto działania mające na celu rozwiązanie problemu sprzecznych pomiarów G . Odbyły się dwie specjalistyczne konferencje, ale na razie nie udało się wypracować wspólnej strategii działania. Być może honor współczesnej fizyki uratują eksperymenty polegające na badaniu interferencji spadających układów kwantowych tzw. kondensatu Bosego-Einsteina lub eksperyment w Kosmosie.

Andrzej Odrzywołek, IF UJ



Szkic przekroju pionowego wagi skręceń Cavendisha wraz z obudową. Większe kule zostały podwieszone na ramie w sposób umożliwiający ich pozycjonowanie względem mniejszych kul dzięki mechanizmowi wyprowadzonemu na zewnątrz. Ilustracja z dokumentacji Cavendisha (źródło: Wikipedia)

W październiku 2006 roku w holu Wydziału Matematyczno-Fizycznego Uniwersytetu Szczecińskiego uruchomiono doświadczenie Cavendisha z 1798 roku**, polegające na wyznaczeniu masy Ziemi i stałej grawitacji. Jego parametry są zbliżone do historycznych wartości i wynoszą: masa dużej kuli 158 kg, masa małej kuli 0,75 kg, odległość między kulami 180 cm.



** A.K.W. Wróblewski: *Historia Fizyki*, PWN, Warszawa 2007.

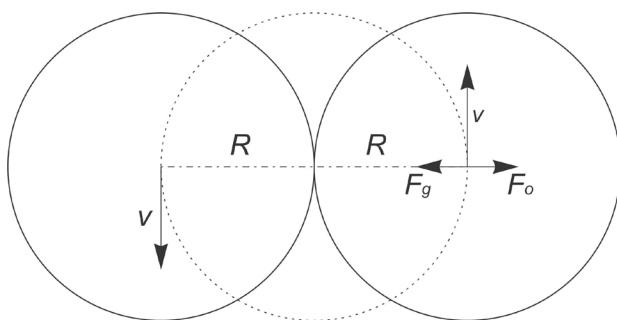
Zadania

1. Dwie identyczne kule wykonane z wolframu (gęstość: $\rho = 19\,250 \text{ kg/m}^3$) wprawiamy w ruch orbitalny dookoła ich środka masy, tak blisko, jak to możliwe (kule prawie stykają się). Obliczyć okres orbitalny T takiego układu przy założeniu, że orbity są kołowe, a wpływ innych ciał można pominąć.

Odp.: $T = \sqrt{\frac{12\pi}{G \cdot \rho}} = 1,5 \text{ godz.}$

Rozwiązanie

Zadanie formalnie przekracza zakres gimnazjum, ale z pewnością nie jest poza zasięgiem ambitniejszych uczniów.



Środki kul o masie M każda poruszają się po okręgu o promieniu R , zaznaczonym linią kropkowaną, z szybkością v . Środek masy układu znajduje się w punkcie styku kul. Okres obiegu wyznaczmy z równości siły odśrodkowej F_o oraz siły przyciągania grawitacyjnego kul F_g

$$F_o = F_g,$$

gdzie

$$F_o = \frac{Mv^2}{R}, \quad F_g = \frac{GM^2}{(2R)^2}$$

czyli

$$\frac{M \cdot v^2}{R} = \frac{G \cdot M^2}{(2R)^2}. \quad (1)$$

Aby wyliczyć okres obiegu zauważamy, że prędkość orbitalna v jest równa obwodowi okręgu podzielonemu przez okres T

$$v = \frac{2\pi R}{T}, \quad (2)$$



a masa M to objętość kuli $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ pomnożona przez gęstość ρ

$$M = \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \rho. \quad (3)$$

Po wstawieniu do wzoru (1) wzorów (2) i (3) i uproszczeniu wyrazów dostajemy

$$\frac{4\pi}{T^2} = \frac{G \cdot \rho}{3},$$

co ostatecznie daje wzór

$$T = \sqrt{\frac{12\pi}{G \cdot \rho}}.$$

Wartość liczbową najwygodniej obliczyć korzystając z kalkulatora wbudowanego w przeglądarkę Google, który zna wartość G , a także przeliczy jednostki. Wpisujemy w oknie zapytanie:

`sqrt(12*pi/G/(19250 kg/m^3))`

i otrzymujemy wynik $T = 1,5$ godz.

Andrzej Odrzywołek, IF UJ

2. Ile razy masa Słońca jest większa od masy Ziemi?

Na podstawie wzoru $M_S = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$ oblicz masę Słońca przyjmując odległość Ziemia-Słońce równą $R = 1,5 \cdot 10^8$ km oraz okres obiegu $T = 1$ rok. Porównaj ten wynik z masą Ziemi obliczoną na podstawie równania $M_Z = \frac{gR_Z^2}{G}$.

Rozwiązanie

Dane:

$$R = 1,5 \cdot 10^8 \text{ km} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}, \quad T = 1 \text{ rok} = 3,154 \cdot 10^7 \text{ s}.$$

Masę Słońca obliczamy z zależności $M_S = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$.

Otrzymujemy $M_S = 2 \cdot 10^{30}$ kg.

Masę Ziemi obliczmy z wzoru $M_Z = \frac{gR_Z^2}{G}$.

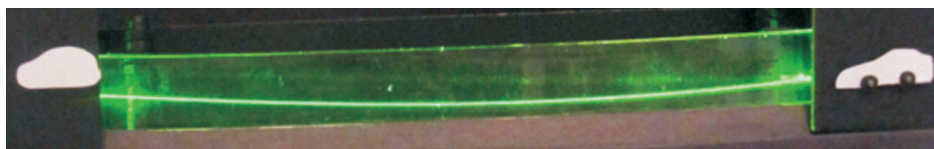
Otrzymujemy $M_Z = 5,97 \cdot 10^{24}$ kg oraz $M_S/M_Z \approx 3,3 \cdot 10^5$.



Miraże a krzywoliniowe rozchodzenie się światła cd.

Miraż dolny

Dla wyjaśnienia tego zjawiska posłuży fot. 5*. Taki bieg promienia świetlnego możemy otrzymać podgrzewając dolną powierzchnię płytki z pleksi grzałką elektryczną. Chmurka w lewym górnym rogu wskazuje, skąd wybiegają promienie, a samochodzik z prawej strony symbolizuje miejsce, gdzie wpadają one do oka kierowcy. Podgrzana od dołu płytka z pleksi jest ośrodkiem o rosnącym od dołu współczynniku załamania.



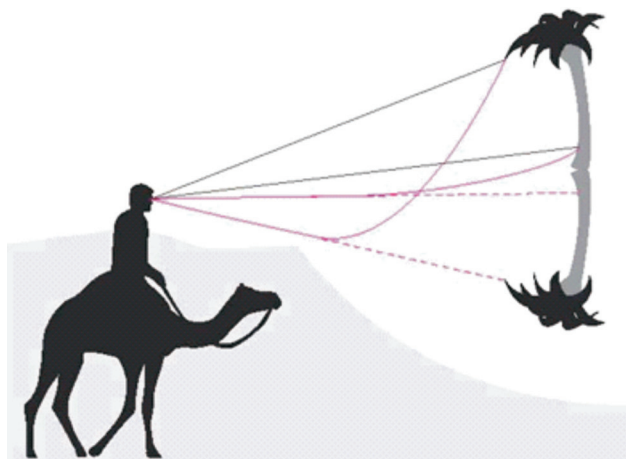
Fot. 5. Bieg promienia świetlnego w ośrodku niejednorodnym optycznie – wygięty do dołu. Promień świetlny ulega załamaniu w sposób ciągły. Efekt taki uzyskano przez podgrzanie grzałką elektryczną dolnej powierzchni płytki z pleksi (zdjęcie wykonano w Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego)

Obraz chmurki powstaje na przedłużeniu linii prostej stycznej do krzywej promienia świetlnego, który wpada do oka obserwatora. Dla promienia na fot. 5 obraz znajduje się znacznie poniżej źródła światła. Dla zjawiska atmosferycznego decydującym czynnikiem warunkującym taki bieg promieni, czyli powstanie mirażu dolnego, jest dostatecznie silne nagrzanie dużej powierzchni podłoża (np. piasku na pustyni, asfaltowej szosy, ściany dużego budynku itp.). Promienie świetlne są wówczas zakrzywiane w górę ku chłodniejszemu, a więc gęstszemu powietrzu. Sytuacja taka ma na przykład miejsce na obszarach pustynnych, gdzie pod wieczór piasek obniża swoją temperaturę, ogrzewając znajdującą się bezpośrednio nad nim warstwę powietrza, podczas gdy wyżej położona warstwa jest już chłodna. Zakrzywione promienie docierają do oka obserwatora pozornie z innego kierunku, co wywołuje powstanie obrazu zwierciadlanego. Miraże dolne mogą być odwrócone lub proste.

Jeżeli obserwator znajdzie się w miejscu, gdzie dochodzi światło odbite od palmy na rys. 6, to na przedłużeniu promieni wpadających do jego oka, zobaczy odwrócony obraz palmy na tle piasku.

Miraże dolne obserwuje się niekiedy w gorących krajach, szczególnie na rozgrzanych silnie piaskach pustyni, a także na stepach w strefie umiarkowanej, na rozległych i równych łąkach, na płaskim brzegu morskim pokrytym drobnym piaskiem, na szosach asfaltowych. Są to obrazy pojedynczych przedmiotów lub proste obrazy na przykład jezior, oaz na pustyni, a nawet całych miast jakby odbitych w jeziorze – wiele takich zdjęć można odnaleźć na stronach internetowych. Powstanie mirażu dolnych tłumaczymy tym, że podczas prawie bezwietrznej pogody, kiedy powietrze jest niemal nieruchome, niższa warstwa powietrza w pobliżu gorącej powierzchni ziemi jest silniej nagrzana niż warstwy znajdujące się wyżej. Wskutek tego gęstość najniższej warstwy powietrza jest mniejsza niż warstw górnych. Jeśli więc przedmiot jest w znacznej

* Numeracja fotografii i rysunków jest kontynuacją tej z poprzedniego zeszytu.



Rys. 6**. Schemat zakrzywienia promieni świetlnych przy mirażu dolnym. Szerokość kątowna obrazów jest mocno zwiększona w celu poprawienia czytelności rysunku. Obraz palmy jest odwrócony

odległości od obserwatora i znajduje się w strefie gorącej warstwy powietrza, to odbite od niego światło słoneczne dochodzi do oka obserwatora wzdłuż linii zakrzywionej, której wypukłość zwrócona jest ku dołowi. Obserwator przedstawiony na rys. 6 widzi odwróconą palmę poniżej linii horyzontu na przedłużeniu promieni wpadających do jego oczu. Jest to właśnie miraż dolny. Taki miraż mogą zaobserwować pasażerowie jadący samochodem w upalny dzień asfaltową prostą drogą. Wydaje się im, że droga jest jakby polana wodą lub wręcz prowadzi wprost do jeziora. Widzą także odwrócony obraz drzewa jakby w zwierciadlanej powierzchni wody.

W mirażach powstających nad silnie nagrzanymi powierzchniami podczas bezwietrznej pogody można także zaobserwować proste obrazy przedmiotów. W takich przypadkach miraż wprowadzają obserwatorów w błąd tak sugestywnie, iż odnoszą oni wrażenie, że widzą rzeczywiste przedmioty. W gorących piaskach pustyni utrudzeni wędrowcy – widząc miraż oazy lub jeziora – chcą do nich dojść. Głęboko się rozczarowują, gdy miraż ucieka i niknie. Z tego względu miraż dolne nazywane są też pustynnymi lub jeziornymi.

Odpowiedzmy jeszcze na pytanie, dlaczego w zjawisku mirażu często wydaje się, że obserwator widzi wodę? Jest to efekt pozornych odbić dalekiego krajobrazu lub nieba.

Bardzo charakterystyczny opis takich mirażów przedstawił Gaspard Monge, francuski matematyk, który brał udział w kampanii egipskiej Napoleona w 1798 roku, podał też ich wyjaśnienie.

Kiedy powierzchnia Ziemi silnie rozpalona Słońcem zaczyna dopiero stygnąć przed nastaniem zmierzchu znana nam okolica nie rozpościera się już do samego horyzontu jak za dnia, a zdaje się być pogrążona w wodzie, jakby ogarnięta powodzią.

Wsie leżące dalej wydają się jak wyspy pośrodku rozległego jeziora. Pod każdą wsią widać jej odwrócone odbicie, z tym że nie jest ono ostre, drobne szczegóły są

** Rysunek pochodzi z artykułu *Fatamorgana w miniaturze*, M. Lisicki, „Delta”, nr 10, 2008, s. 12.

bowiem niewidoczne, jak przy odbiciu w wodzie kołysanej wiatrem. Jeśli zaczniemy zbliżać się do najbliższej wsi, która wydaje się ogarnięta powodzią, brzeg rzekomej wody będzie się ciągle oddalał, a pasmo wodne oddzielające nas od wsi stopniowo będzie się zwężać, aż zniknie zupełnie, a jezioro... zaczynać się będzie teraz za tą wsią, odbijając w sobie wściekłość położone dalej.

Żeby zobaczyć miraż nie trzeba wcale jechać do Afryki. Można go zaobserwować również u nas w upalny dzień nad rozgrzaną powierzchnią szosy asfaltowej, najczęściej wjeżdżając na wzniesienie. Wydaje się nam wtedy, że droga przed nami pokryta jest cienką warstwą wody lub, że droga w oddali wchodzi do jeziora. Wrażenie to znika po zbliżeniu się do tego miejsca.

Miraże można także obserwować w gorące dni wzdłuż ściany o długości co najmniej 10 m, oświetlonej przez Słońce. Jeśli umieści się jasny przedmiot na jednym jej końcu i popatrzy na niego z przeciwległej strony (blisko ściany) można zaobserwować jego lustrzane odbicie.

Miraże skrajnie dalekiego widzenia

Znacznie trudniej jest wytłumaczyć przypadki miraży widocznych z bardzo dużych odległości. Przytoczę pewien zdumiewający wypadek: w nocy z 26 na 27 marca 1898 roku na Oceanie Spokojnym załoga statku „Matador” z Bremy była świadkiem strasznego widoku. Otóż około północy zauważono w odległości około dwóch mil (3,2 km) statek, który walczył z silnym sztormem. Było to tym dziwniejsze, że wokoło panowała cisza morską. Statek przecinał kurs „Matadora” i był moment, gdy zdawało się, że zderzenie okrętów jest nieuniknione... Załoga „Matadora” widziała, jak po silnym uderzeniu fali w nieznaną statek w kajucie kapitańskiej zgasło światło, które było dotąd przez cały czas widoczne w dwóch iluminatorach. Po pewnym czasie statek zniknął, a wraz z nim wiatr i fale. Rzecz wyjaśniła się później. Okazało się mianowicie, że wszystko to działało się z innym statkiem, który w czasie „widzenia” znajdował się w odległości 1700 km od „Matadora”.

W jaki sposób światło przechodzące przez atmosferę przekazuje wyraźne obrazy przedmiotów na tak duże odległości? Dotąd brak dokładnej odpowiedzi na to pytanie. Zrozumieniu tego zjawiska pomoże następujące doświadczenie przedstawione na fot. 6 i 7.

Do uzyskania biegu promienia świetlnego w kształcie sinusoidy potrzebne są trzy warstwy cieczy, znajdujące się jedna nad drugą. Ciecze te nalewa się kolejno na dno szklanego zbiornika, zaczynając od cieczy o najmniejszej gęstości – roztwór woda-spirytus 1:2 (obj.), następnie roztwór gliceryna-spirytus 3:1 (obj.), a na końcu ciecz o największej gęstości – wodny roztwór siarczanu żelaza (roztwór o składzie 45 g siarczanu żelaza na 400 ml wody).

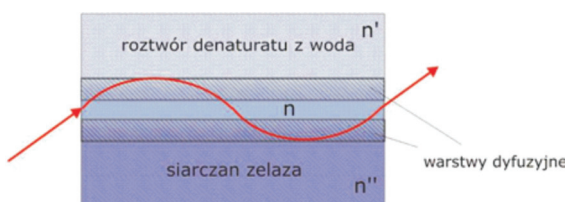
Ciecze ulegają wzajemnej dyfuzji i po pewnym czasie na granicy cieczy powstają dwie warstwy dyfuzyjne – rys. 7. Dobór cieczy jest taki, że współczynnik załamania dla cieczy w warstwie środkowej jest największy. W górnej warstwie dyfuzyjnej współczynnik załamania światła się zmniejsza, natomiast w dolnej się zwiększa (rośnie w pionie od dołu do góry). Promień światła zagina się w stronę od mniejszych do większych wartości współczynnika załamania w cieczy, następnie trafiając na drugą warstwę dyfuzyjną zostaje ponownie ugięty w przeciwną stronę. W wyniku otrzymujemy falującą krzywą podobną do sinusoidy.

Na rys. 7 możemy przeanalizować bieg promienia po „sinusoidzie”. Porównując z rys. 3 zauważamy złożenie przypadku „dolnego” z jego lustrzanym odbiciem w pionie.



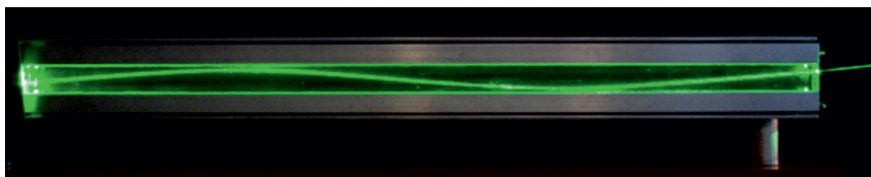
Fot. 6. Bieg promienia świetlnego w ośrodku niejednorodnym składającym się z trzech warstw cieczy o odpowiednio dobranych współczynnikach załamania światła. Promień światła z lasera ulega zakrzywieniu biegnąc w warstwie środkowej, zagina się raz w dół a raz do góry (zdjęcie wykonano w Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego).

Z opisem matematycznym biegu promienia świetlnego w ośrodku niejednorodnym po sinusoidzie można zapoznać się z rozwiązaniem zadania z II stopnia XXVII Olimpiady Fizycznej. Zadanie zostało umieszczone na stronie internetowej Komitetu Okręgowego Olimpiady Fizycznej w Szczecinie: www.olimpiada.fizyka.szc.pl***



Rys. 7. Model biegu promienia światła (czerwona linia) w cieczy po „sinusoidzie”. Bieg promienia świetlnego w ośrodku niejednorodnym składającym się z trzech warstw cieczy o odpowiednio dobranych gęstościach i współczynnikach załamania ($n > n'$, $n > n''$). Promień światła ulega zakrzywieniu w warstwie środkowej, odgina się raz w dół, a raz do góry

Taki bieg promienia świetlnego po „sinusoidzie” możemy również otrzymać podgrzewając dolną i górną powierzchnię płytki z pleksi grzałką elektryczną – fot. 7.

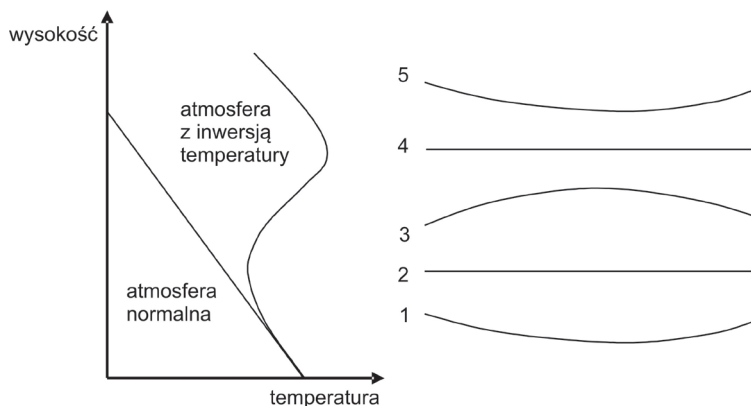


Fot. 7. Sinusoidalny bieg promienia świetlnego w ośrodku optycznie niejednorodnym. Efekt taki został otrzymany przez podgrzanie dolnej i górnej powierzchni płytki z pleksi grzałką elektryczną. Grzałki zostały umieszczone wewnątrz aluminiowych profili, widocznych na zdjęciu. Z prawej strony pada promień światła laserowego, który ulega silniejszemu załamaniu w kierunku środkowej części pleksi, gdzie temperatura jest najniższa (zdjęcie wykonano w Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego)

*** http://of.szc.pl/pdf/27OF3T3_roz102.pdf

Czy to zjawisko refrakcyjne powoduje powstanie niezwykłych miraży, widocznych z bardzo dużych odległości? Czy światło może zostać uwięzione w warstwie powietrza i pozostając w niej przemierzać razem z nią duże odległości, podobnie jak to ma miejsce światłowodach?

Rysunek 8 ilustruje zmianę temperatury zależnie od wysokości i załamywanie promieni biegnących na różnych wysokościach, w przypadku gdy mamy inwersję temperatury, tj. kiedy temperatura powietrza tuż nad zimną powierzchnią jest mniejsza niż wyżej. Inwersja nie musi rozpoczynać się nad samą powierzchnią. Na pewnej wysokości może wystąpić warstwa powietrza cieplejszego niż powietrze nad lub pod nią. W niejednorodnej atmosferze promienie ulegają zakrzywieniu w kierunku chłodniejszej warstwy powietrza. Dla rys. 8 linia 2 znajduje się na wysokości odpowiadającej inwersji temperatury. Na wysokości odpowiadającej linii 1 i 3 między dwiema warstwami cieplejszymi leży warstwa chłodniejszego powietrza. Przypuśćmy, że promień światła wchodzi do chłodniejszej warstwy pod niewielkim kątem. Kiedy wychodzi ponad linię minimalnej temperatury (linia 2), jest zaginany z powrotem w dół do warstwy chłodniejszej, co obrazuje linia 3. Kiedy porusza się poniżej linii 2, jest zwracany do góry – co obrazuje linia 1. W ten sposób może oscylować, poruszać się po krzywej sinusoidalnej, jak na fot. 6 i 7, i pokonywać duże odległości. Jeśli nie zmieni się rozkład temperatury, na przykład na granicy między ziemią i oceanem, promień nie będzie mógł opuścić tej warstwy. Promienie o różnych kątach wejścia do takiej warstwy mogą oscylować z różnymi okresami i amplitudami. Występujące miraże zależą silnie od rozkładu temperatury i mogą być dość trudne do wyjaśnienia.



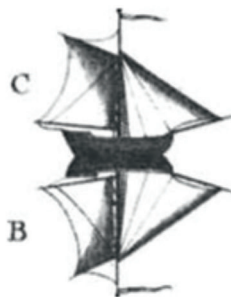
Rys. 8. Zakrzywienie promieni świetlnych na różnych wysokościach w atmosferze z inwersją temperatury. Krzywe 1, 3, 5 obrazują kierunek załamywania promienia świetlnego. Dla rozkładu temperatury w podgrzewanej pleksi, jak na fot. 5, mamy zakrzywienie promieni odpowiadające krzywej 1 przy dolnej powierzchni i krzywej 3 przy górnej powierzchni pleksi jak na fot. 7

Miraże wielokrotne, fatamorgana

Zakrzywienie promieni związane z inwersją temperatury jest przyczyną niektórych najbardziej efektownych miraży. Przytoczę pewną historię****.

W parne sierpniowe popołudnie 1797 roku wielbny członek Royal Society w Londynie, zapalony naukowiec amator, spoglądał na Morze Północne z Rams-

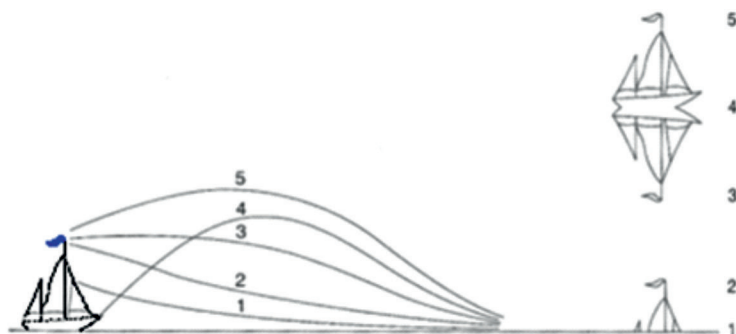
**** Greenler R., *Tęcze, glorie i halo*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.



gate w południowo-wschodniej Anglii i zauważył pewne niezwykle zjawisko refrakcyjne. Obserwował statki przez teleskop, wykonał rysunki i później przedstawił to wszystko na zebraniu Royal Society. Jeden z jego szkiców przedstawia rys. 9. Jest bardzo podobny do rys. 10. Zgodnie z jednym z jego opisów tak właśnie wyglądał odległy statek. Górne części obrazu statków bliższych obniżały się, a najczęściej w ogóle znikwały.



Rys. 9. Jeden z rysunków zamieszczonych w pracy S. Vince *Observations on an Unusual Horizontal Refraction of the Air, with Remarks on the Variations to Which the Lower Parts of the Atmosphere Are Sometimes Subject*, „Philosophical Transactions of the Royal Society of London” 89, 1799, s. 436



Rys. 10. Bieg promieni idących od żaglowca do oka obserwatora w atmosferze o rozkładzie temperatury takim jak na rys. 8. Docierając do oka obserwatora promień 1 porusza się dokładnie poziomo. Promienie oznaczone numerami 2, 3, 4 i 5 dochodzą do obserwatora pod coraz większymi kątami. Promienie w ich środkowej części między statkiem a obserwatorem odpowiadają promieniom z rys. 8 z tymi samymi numerami. Po prawej stronie rysunku numery wskazują części trójczałonowego mirażu, odpowiadające każdemu z tych pięciu promieni. Rys. na podstawie R. Greenler, *Tęcze, glorie i halo*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998. Podobne rysunki można znaleźć w Internecie, jednak należy być krytycznym, gdyż wiele z nich zawiera błędy

Wyjątkowym rodzajem mirażu, którego nazwa mocno jest związana z magią i tajemnicą, jest fatamorgana, po raz pierwszy zaobserwowana nad Cieśniną Mesyńską pomiędzy Półwyspem Apenińskim a Sycylią. Przyczynę następującą legendę dotyczącą jej pochodzenia.

Morgana (bretońska wróżka morza) ze średniowiecznego cyklu rycerskich *Opowieści Okrągłego Stołu* była, według celtyckich podań, przyrodną siostrą króla Brytów, Artura (Artusa), której przypisywano zdolność wywoływania miraży. Włoscy poeci przedstawiali ją jako mieszkankę kryształowego pałacu na dnie morza. Po włosku *fata* oznacza wróżkę. „Fata Morgana” – już wieki temu mawiali Włosi o skomplikowanych mirażach pojawiających się czasami nad

Cieśniną Mesyńską, które powodowały, że urwiska i budynki znajdujące się na przeciwległym brzegu były widziane jako wspaniałe pałace strzelające w niebo lub tonące w morzu. Nic dziwnego, że ta poetyczna nazwa objęła z czasem rozliczne miraże występujące w różnych miejscach.

Aby mogła wystąpić fatamorgana, warunki atmosferyczne muszą sprawiać, że nieduże obiekty przekształcą się w pionowe smugi, stwarzając iluzję ścian i budowli zwieńczonych iglicami. Te zjawiska powodowane są przez takie zmiany temperatury powietrza, że promienie opuszczające przedmiot zostają w różny sposób zakrzywione w dół nim wpadną do oka obserwatora. Patrząc wzdłuż promieni przebiegających na różnych wysokościach nad horyzontem obserwator widzi ten sam lub prawie ten sam punkt. Może to zmienić dość płaski horyzont w niemal pionową ścianę.

Uwagi końcowe

Zjawiska optyczne często zaskakują swoją zagadkowością i ciekawą formą. Dla wielu są one źródłem doznań artystycznych, fascynujących wrażeń, dla niektórych stanowią zagadki typu Archiwum X, a w nauce i technice prowadzą czasem do intensywnych badań i zastosowań. W odniesieniu do miraży, niewykluczone, że odegrały też istotną rolę w odkryciu lądów.

Miraże były stałym elementem opowieści, zwłaszcza ludzi morza i mieszkańców okolic Morza Północnego, Bałtyku i północnej części Oceanu Atlantyckiego, którzy dzięki nim wiedzieli, co znajduje się za horyzontem. Można przypuszczać, że pierwsi celtyccy odkrywcy Islandii mogli odważyć się na wyprawę w swoich kruchych, pokrytych skórą łodziach skuszeni mirażem Wysp Owczych, odległych o 385 kilometrów od Islandii. Z podania o odkryciu Grenlandii można wnioskować, że Eryk Rudy musiał mieć podstawy do poszukiwania lądu właśnie w tym kierunku. Po wygnaniu z Islandii, poszukując miejsca na osiedlenie, skierował się bezpośrednio ku brzegom Grenlandii odległym o 300 kilometrów. W normalnych warunkach atmosferycznych z jednego brzegu nie można zobaczyć drugiego, nawet z najwyższych szczytów, a z powodu częstych na oceanie wiatrów i prądów podróż na zachód była bardzo trudnym przedsięwzięciem. „Logiczną przesłanką usprawiedliwiającą działania Eryka mogły być informacje pochodzące z arktycznego mirażu”. Być może dotarcie Wikingów do Ameryki było również związane z tym zjawiskiem.

Warto też wspomnieć o *migotaniu gwiazd*, które spowodowane jest między innymi załamaniem światła przy zmieniającej się gęstości atmosfery, spowodowanej przypadkowymi niejednorodnościami.

Z opracowaniami doświadczeń szkolnych i literaturą do nich, z opisami eksperymentów, a także z instrukcjami do przyrządów i zestawów doświadczalnych można zapoznać się na stronie internetowej Pracowni Dydaktyki Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Szczecińskiego (www.dydaktyka.fizyka.szc.pl), a także na stronie Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki (www.demofiz.szc.pl). Na stronie tej można również znaleźć dokumentację zdjęciową z eksperymentów realizowanych podczas corocznych Spotkań Ogólnopolskiego Klubu Demonstratorów Fizyki.



„3, 2, 1... poszła!” „Proszę Państwa, już biegnie! Już leci! Co za emocje!”

To nie transmisja z wyścigów konnych, lecz Eksperyment Łańcuchowy! Wiele się zapyta, cóż to w ogóle jest? Pierwsza odpowiedź, jaka padnie – „konkurs!” – nie wyczerpuje, ba!, nawet nie daje wyobrażenia o wydarzeniu!

Eksperyment Łańcuchowy dla uczestników jest wyzwaniem, mającym na celu zbudowanie urządzenia, które w najciekawszy sposób przetransportuje metalową kulkę a wykorzystanymi prawami fizyki zachwyci publiczność oraz komisję konkursową! Działanie urządzenia wyzwalone jest przez wpadającą do niego kulkę i na końcu wyrzucana kulka może rozpocząć działanie kolejnego doświadczenia – tak powstaje łańcuch doświadczeń.

Dla organizatorów jest on również nie lada wyzwaniem – połączenie 86 urządzeń przywiezionych z całej Polski w jednym miejscu i czasie!

Komisja konkursowa Eksperyment Łańcuchowy wspomina jako czas zachwyty nad pomysłami uczniów (i młodszych, i starszych, i studentów, i całych rodzin!), ale również jako czas ciężkiej pracy – trudnej oceny urządzeń i sprawdzania wiedzy ich konstruktorów.

Dla publiczności Eksperyment jest niesamowitą lekcją fizyki poprzez zabawę, jak również czasem nominacji drużyn do nagrody publiczności. Jedno jest pewne: 30 maja 2015 roku na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego nikomu się nie nudziło i nikt nie chodził smutny!

W tym roku wśród wszystkich urządzeń znalazła się mocna reprezentacja uczniów szkół podstawowych. Grupa ta, mimo iż przed pierwszym swym spotkaniem ze szkolną fizyką, potrafiła zawrzeć w swoich urządzeniach niezwykle



Eksperyment Łańcuchowy 2015

dużo zjawisk. W dbałości o szczegóły uczniowie „podstawówek” nie mieli sobie równych: według mnie urządzenia młodszych dzieciaków wyróżniały się starannością wykonania – dopracowaniem, zwłaszcza estetycznych, szczegółów – mówi mgr Edyta Długosz, członek komisji konkursowej. Wspomina również: *same dzieciaki były niesamowicie przejęte i podekscytowane tym co się dzieje. Miały niezwykłą radość z tego, że wszystko zadziałało jak trzeba – bo przecież co innego próby w zaciszu szkoły czy domowego garażu, a co innego zgranie w ciągu z innymi „machinami”. I najważniejsze: zaangażowanie w prezentację własnego projektu – starały się jak najwięcej opowiedzieć, przekonać nas, że zasługują na nagrodę!.* **A nagroda główna w tym przypadku przypadła przedstawicielom Szkoły Podstawowej nr 135 w Krakowie za skonstruowanie urządzenia „Winda”,**

natomiast wyróżnienie powędrowało aż do Jordanowa, za konstrukcję „Wężogedon”.

Mamy nadzieję, iż za rok będzie nas jeszcze więcej z jeszcze bardziej niesamowitymi pomysłami!

Daniel Dziob,
koordynator projektu EŁ, IF UJ

Na wstępie chciałbym zaznaczyć, że byłem mocno, a pozytywnie, zaskoczony propozycją zostania członkiem komisji konkursowej Eksperymentu Łańcuchowego. Słyszałem wiele zachwyconych głosów o poprzednich edycjach, ale dopiero w tą udało mi się zaangażować.

Poziom wykonanych urządzeń mnie zadziwił i wpędził w pewnego rodzaju zakłopotanie, gdy uświadomiłem sobie, że w przypadku wielu mechanizmów wykonanych rękami dziesięciolatków, miałbym sporą trudność wpaść na tak kreatywne rozwiązania.

W kategorii szkół podstawowych nasze (komisji) bezapelacyjne uznanie zdobyło urządzenie zatytułowane „Winda”, które łączyło prostotę pomysłu ze starannością wykonania. Wisienką, a może raczej wiśnią na torcie był tańczący robot, który rzeczywiście przyciągał uwagę i zaskarbił sobie uznanie zarówno nasze, jak i publiczności.

Urządzenia prezentowały sobą dość zróżnicowany, ale w ogólności bardzo wysoki poziom. Jako że Eksperyment Łańcuchowy w swojej koncepcji ukierunkowany jest na popularyzację zjawisk fizycznych, wykorzystanie wielu z nich w niezmiernie kreatywny sposób można było podziwiać na każdym kroku. Użycie wszelakiej maści przekładni, mechanizmów obrotowych, wind, spiral, tłoków okazało się niemal obowiązkowe. Nie spodziewałem się jednakowoż, że uczniowie szkół średnich, a nawet uczniowie gimnazjów okażą się na tyle zaznajomieni z, co by nie mówić, elektroniką i automatyką na poziomie studiów, że wzbogacą swoje eksperymenty wieloma mikrokontrolerami, przekaźnikami i silnikami różnego przeznaczenia. Pomysłowość niektórych rozwiązań wprawiała w osłupienie, przypominam sobie urządzenie „Sokół”, w którym gimnazjaliści użyli bardzo sprytnego sposobu transportu metalowej kulki, złożonego z dwóch poruszających się nożycowym ruchem drewnianych schodów.

Przykładów sprytnego wykorzystania zjawisk fizycznych, jak np. efektu fotoelektrycznego, można by mnożyć bardzo długo. Na pewno warto podkreślić, że zapał bijący z młodych twarzy, gdy uczestnicy wyjaśniali działanie swoich urządzeń, jest najlepszym uzasadnieniem celu takiego konkursu, jak Eksperyment Łańcuchowy. To, że w czasach, kiedy fizyka i matematyka często traktowane są jako zło konieczne, zarówno przez uczniów jak i nauczycieli, znalazło

się prawie sto drużyn z całej Polski, gotowych poświęcić swój czas, na pewno motywuje do pracy, żeby zmienić percepcję społeczną nauk ścisłych. A mnie osobiście wynagradza decyzję podjętą przed siedmiu laty, gdy rozpoczynałem studia i dwa lata temu, gdy zapisywałem się na studia doktoranckie z fizyki. To ma sens.

Dominik Wrana,
członek Komisji Konkursowej



Wakacyjne wędrówki z fizyką

Francja

- ✈ Pałac Odkryć w centrum Paryża to centrum przyrodnicze, gdzie można poeksperymentować i obejrzeć demonstracje z dziedziny astronomii, fizyki, chemii, matematyki, biologii i nauk o Ziemi.

<http://www.palais-decouverte.fr/en/palais-de-la-decouverte>

- ✈ W muzeum Curie w Paryżu, znajdującym się w dawnym laboratorium Marii Skłodowskiej i Piotra Curie można zobaczyć kolekcję dokumentów, zdjęć i instrumentów naukowych związanych z rodziną Curie (wstęp wolny).

<http://musee.curie.fr>



- ✈ Miasto Nauki i Przemysłu na obrzeżach Paryża to największe obecnie muzeum nauki w Europie, poświęcone popularyzacji osiągnięć naukowych i technicznych. W skład stałych części wystawy wchodzi eksperymenty dotyczące różnych dziedzin – od matematyki, poprzez zagadnienia związane z transportem i zdrowiem, po produkcję energii. W muzeum można również pójść do planetarium, kina IMAX oraz zwiedzić łódź podwodną.

<http://www.cite-sciences.fr/en/home/>

- ✈ Exploradome w Vitry-sur-Seine, niedaleko Paryża, to interaktywne muzeum, w którym obowiązuje „zakaz niedotykania eksponatów”. Oprócz wykonywania eksperymentów dotyczących m.in. meteorologii, ruchu i złudzeń optycznych, w czasie tegorocznych wakacji otwarta jest także wystawa czasowa, w ramach której dzieci od 6 lat, młodzież i dorośli mogą wspólnie pobawić się w inżyniera-architekta, realizując projekty o różnym stopniu trudności.

<http://www.exploradome.fr>

- ✈ W miejscowości Poleymieux-au-Mont-d'Or, niedaleko Lyonu znajduje się dom André Marie Ampère'a i muzeum elektryczności. Oprócz dokumentów i przedmiotów związanych z życiem i pracą Ampère'a, muzeum posiada bogatą kolekcję przeróżnych urządzeń elektrycznych.

<http://www.amperemusee.fr>



- ✈ Visiatome niedaleko Orange to centrum naukowe poświęcone zagadnieniom związanym z energią jądrową.

<http://www.visiatome.com>

Polska

🚲 Centrum Nauki Kopernik w Warszawie.
<http://www.kopernik.org.pl>

🚲 Ogród Doświadczeń im. Stanisława Lema w Krakowie.
<http://www.ogroddoswiadczen.pl>



🚲 Muzeum Politechniki Opolskiej i lamp rentgenowskich w Opolu.
<https://muzeum.po.opole.pl>

🚲 „Wszystko... jest liczbą” – wystawa Muzeum Uniwersytetu Jagiellońskiego, Collegium Maius, Kraków.
<http://www.wjl.maius.uj.edu.pl>

Czechy

🚗 Maleńkie muzeum w Czechach w wiosce Helvíkovice poświęcone wynalazcy Prokopowi Divišowi. Znajduje się w nim m.in. „machina meteorologiczna”.
Polecamy artykuł Krzysztofa Rejmera na ten temat – „Delta” Nr 5, 2015.

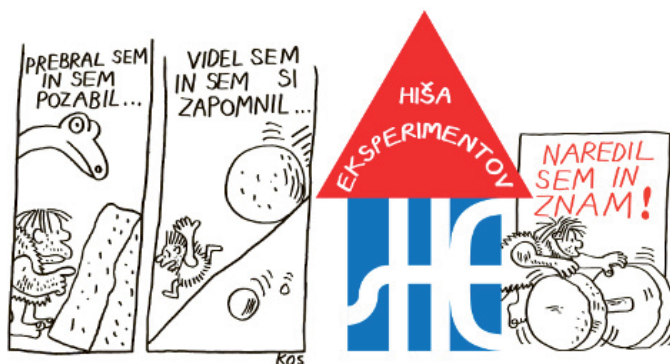
Słowenia



Dom doświadczeń w Lublanie.

<http://www.he.si/dejavnost/3-Tekmovanje%20elastomobilov>

Gorąco polecamy, zwłaszcza rodzinom z dziećmi, rewelacyjne interaktywne muzeum nauki w samym centrum Lublany.



Poszukiwanie wody w Układzie Słonecznym i poza nim

W czasie misji NASA, mającej na celu badanie naszego Układu Słonecznego i odkrywanie nowych światów, naukowcy natrafiają na wodę w zadziwiających i wręcz nieoczekiwanych miejscach. Woda jest jedną z substancji, których szukamy jako wyznacznika możliwości zasiedlenia planety i życia poza Ziemią. Jednym z najbardziej zdumiewających odkryć jest istnienie oceanów poniżej powierzchni lodu na pięciu księżycach Jowisza i Saturna. Te lodowe księżyce to Ganymede, Europa i Callisto krążące wokół Jowisza oraz Enceladus i Titan krążące wokół Saturna. Ostatnio naukowcy z NASA dzięki teleskopowi Hubble'a dostarczyli przekonujących dowodów, że Ganymede ma słoną wodę i podpowierzchniowy ocean, prawdopodobnie zamknięty pomiędzy dwoma warstwami lodu. Teleskop Hubble'a zarejestrował aureolę tego księżycy wytworzoną przez

jego pole magnetyczne. Przesunięcia w pierścieniach aureoli zmierzone przez Hubble'a najłatwiej wytłumaczyć obecnością słonego oceanu pod skorupą lodu księżycy.

Więcej: The Solar System and Beyond is Awash in Water (<http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=4541>).

Image Credit: NASA/ESA.



Maria Rutkowska