FIZYKA
w Szkole z Astronomią

CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI

390 (LXIV) indeks 35810X **Nr 1 styczeń/luty 2024** CENA 45,00 zł (w tym 8% VAT)

ZAPOMNIANI ODKRYWCY
promieniowania kosmicznego

PRZEZ SZCZELINY
do świata kwantów

RUCH OBIEGOWY ZIEMI
i jego następstwa

PRAWO ARCHIMEDESA
w zastosowaniach

Ile jest praw
PASCALA?

Żywoty fizyków
KAPITAN ROUND

Akustyczna nawigacja u zwierząt i ludzi

ECHOLOKACJA

ISSN 0426-3383

eprasa.pl 7edcb48ebe

Prenumerata 2024

Otwiera dostęp do:

- artykułów o najważniejszych odkryciach i wydarzeniach w fizyce
- publikacji o zastosowaniu fizyki w różnych dziedzinach życia
- zadań, doświadczeń i eksperymentów
- nowości z astronomii i astrofizyki

PRZEDŁUŻ
LUB
ZAMÓW

Do wyboru:

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

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

eprasa.pl 7edcb48ebe

Drodzy Czytelnicy!

Serdecznie witamy w 2024 roku! Rozpoczynamy kolejny rok współpracy. Przygotowaliśmy dla Państwa numer pierwszy, który moim zdaniem, jest bardzo interesujący i wszechstronny. Na wstępie mamy artykuł o echolokacji. Autor zaznajamia nas w poglądowy sposób z „szóstym zmysłem", który mają między innymi nietoperze. Zmysł ten polega na umiejętności precyzyjnej emisji i lokalizacji fal dźwiękowych co pozwala nietoperzom poruszać się w ciemności z dużą prędkością i precyzją. Jak się okazuje nietoperze wykorzystują nie tylko informację polegającą na rejestracji czasu od emisji do powrotu dźwięku do ucha nietoperza, ale są też wstanie przeprowadzić analizę częstotliwościową z uwzględnieniem efektu Dopplera. Jak się okazuje nie tylko nietoperze posiadają tą umiejętność. Interesujące jest, że rozwiązanie zagadki echolokacji nietoperzy nastąpiło nie tak dawno. Nie więcej niż 90 lat temu.

Innym niewątpliwie wartym polecenia artykułem Jest artykuł Cypriana Sobczaka „Przez szczeliny do świata kwantów". Artykuł ten omawia szeroko rozumiane eksperymenty polegające na przepuszczaniu światła przez układy szczelin. Eksperymenty te należą do jednych z najważniejszych w historii fizyki. Trudności z ich interpretacją umożliwiły po pierwsze zrozumienie natury światła a poza tym stworzyły podstawy fizyki kwantowej. Należy też pamiętać, że każdy student studiów technicznych, nie tylko fizyki, będzie musiał przeprowadzić część tych eksperymentów w ramach laboratorium fizyki. Warto się więc do nich zawczasu przygotować.

W naszym czasopiśmie jest też dział Astronomia dla każdego. Jednym z najważniejszych zjawisk astronomicznych, jest ruch obrotowy Ziemi. Dokładny opis co wynika z tego ruchu znajdą Państwo w artykule Marcina Wesołowskiego „Ruch obrotowy Ziemi i jego następstwa".

Oczywiście, jak się Państwo będą mieli okazję przekonać, wymienione artykuły nie są jedynymi interesującymi w tym numerze. W związku z powyższym serdecznie zapraszam do lektury.

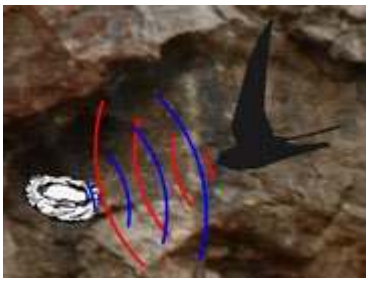
W imieniu redakcji

Zbigniew Wiśniewski

Fizyka wczoraj, dziś, jutro

4 **Echolokacja, czyli akustyczna nawigacja u zwierząt i ludzi niewidomych** ▮ Tomasz Kubiak

Echolokacja to swoisty biosonar przydatny wszędzie tam, gdzie wykorzystanie zmysłu wzroku jest znacznie utrudnione a nawet niemożliwe, np. w ciemnych jaskiniach, bunkrach czy mętnej wodzie.



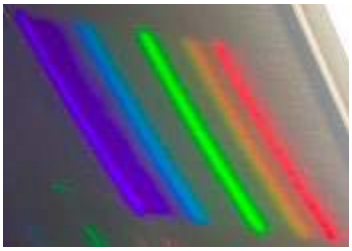
13 **Słońce coraz bardziej „jasne jak słońce"** ▮ Nauka w Polsce

14 **CREDO–Maze: promieniowanie kosmiczne – zapomniani odkrywcy** ▮ Tadeusz Wibig

Za odkrywcę promieniowania kosmicznego uważa się Victora Franza Hessa, co niejako oficjalnie potwierdzono nagrodą Nobla. Jeśli jednak zagłębić się w historię, okaże się, że sprawa wcale nie jest tak oczywista. W fizyce kwestia pierwszeństwa nie zawsze daje się ustalić ponad wszelką wątpliwość

21 **Przez szczeliny do świata kwantów** ▮ Cyprian Sobczak

Interferencja, odkryta przez Thomasa Younga, zwanego „Ostatnim człowiekiem, który wiedział wszystko", jest zjawiskiem zajmującym w fizyce wyjątkowe miejsce. Pozwala bowiem na badanie przyrody w skali kosmicznej, ale również w skali kwantowej, czym przy użyciu siatki dyfrakcyjnej, można się zajmować, nawet w domowych warunkach



28 **Żywoty fizyków. Kapitan Round** ▮ Tadeusz Wibig

30 **Przestrzeń i czas Hermanna Minkowskiego – w rocznicę przełomowego wykładu** ▮ Kazimierz Mikulski

Z naszych lekcji

33 **Prawo Archimedesa w zastosowaniach** ▮ Stanisław Bednarek

To prawo jest zapewne jednym z najbardziej znanych i najwcześniej odkrytych praw przyrody. Ma również bardzo duże znaczenie praktyczne i jest wykorzystywane w wielu dziedzinach techniki oraz w życiu codziennym, dlatego warto poświecić nieco uwagi jego zastosowaniom.

38 **Ile jest praw Pascala? (Miniatura dydaktyczna)** ▮ Waldemar Reńda

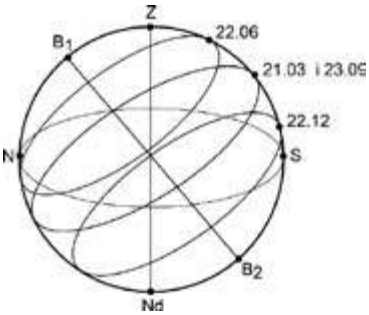
40 **Fizyka w 950 kapsułkach** ▮ **Anna Kaczorowska**

42 **Jak uczyć się rozwiązywania zadań fizycznych, jak doskonalić tę umiejętność i jak sprawdzić wyniki rozwiązania zadania?** ▮ Czesław Surowiec

Astronomia dla każdego

45 **Ruch obiegowy Ziemi i jego następstwa** ▮ Marcin Wesołowski

Zjawiska dobowe związane ze Słońcem, tzn. jego wschód, górowanie, zachód i dołowanie wynikają z dobowego obrotu sfery niebieskiej. Uważna obserwacja tych zjawisk prowadzona przez dłuższy okres prowadzi do wniosku, że nie przebiegają one codziennie jednakowo.



FIZYKA w Szkole z Astronomią
CZASOPISMO DLA NAUCZYCIELI
NUMER 1 STYCZEŃ/LUTY 2024
390 (LXIII) indeks 35810X ISSN 0426-3383
CENA 45,00 zł (w tym 8% VAT)

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

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

Zapraszamy do odwiedzenia naszej strony w Internecie www.aspress.com.pl

Foto – Dreamstime

Echolokacja,
czyli akustyczna nawigacja u zwierząt i ludzi niewidomych

Przyroda nieustannie zaskakuje nas fascynującymi zjawiskami. Z punktu widzenia bioakustyki niezwykle ciekawa wydaje się zdolność niektórych organizmów do wysyłania fal dźwiękowych o określonej charakterystyce oraz umiejętność analizowania informacji zakodowanych w powracających odbiciach akustycznych. Pozwala to określić położenie i inne cechy napotykanych obiektów.

Tomasz **Kubiak**

Echolokacja to swoisty biosonar przydatny wszędzie tam, gdzie wykorzystanie zmysłu wzroku jest znacznie utrudnione a nawet niemożliwe, np. w ciemnych jaskiniach, bunkrach czy mętnej wodzie. Wykrywanie przeszkód, ocena odległości, nawigacja w zatłoczonej przestrzeni, lokalizacja, klasyfikowanie oraz charakteryzowanie potencjalnych ofiar podczas polowania po zmroku a nawet analiza trójwymiarowej struktury przedmiotów to tylko niektóre zastosowania echolokacji, znane nam ze świata zwierząt.

Echolokację w najbardziej zaawansowany sposób wykorzystują nietoperze a także większość zębowców, np. delfiny. U niektórych ptaków i ssaków nocnych (ryjówek) zdolność ta jest rozwinięta w znacznie mniejszym stopniu. Chociaż może to wydawać się zaskakujące, odpowiednio wyćwiczona umiejętność echolokacji może stanowić bogate źródło informacji także dla osób niewidomych. Wykorzystanie odbić fal dźwiękowych od napotkanych obiektów pozwala im stworzyć swoisty akustyczny obraz otoczenia, a tym samym uzyskać znacznie większą samodzielność w codziennej egzystencji.

Z echolokacją wiąże się szereg interesujących problemów, nad rozwiązaniem których pracują naukowcy różnych specjalności. Z punktu widzenia biologii ważna jest np. budowa i rola poszczególnych struktur anatomicznych zaangażowanych w proces generowania i odbierania sygnałów akustycznych. Z kolei neuronauka stara się wyjaśnić, w jaki sposób mózg uzyskuje, przetwarza i analizuje informacje docierające w postaci ech.

Dla akustyków ciekawy będzie sam proces emisji impulsów dźwiękowych, ich charakterystyka (np. pod względem składowych częstotliwościowych i natężenia) a także opis propagacji w ośrodku. Fizyków oraz matematyków zaintryguje z kolei sposób wyznaczania położenia w przestrzeni trójwymiarowej lokalizowanych obiektów na podstawie odbitych od ich powierzchni fal akustycznych. Ustalenie kierunku, z którego dochodzi echo, jest bowiem znacznie bardziej skomplikowane niż pomiar odległości na podstawie czasu, który minął od nadania dźwięku do odbioru jego echa. W niniejszym artykule przyjrzymy się bliżej różnym aspektom zjawiska echolokacji w oparciu o współczesną wiedzę naukową. Na wstępie warto jednak nawiązać nieco do historii.

Historia badań nad echolokacją

Badania nad echolokacją trwają co najmniej od kilku wieków. Już w 1793 r. włoski przyrodnik Lazzaro Spallanzani odkrył, że nawet oślepione nietoperze nadal do-

eprasa.pl 7edcb48ebe

skonale nawigują się w przestrzeni, unikają przeszkód, lądują i skutecznie łapią ofiary. Rok później szwajcarski przyrodnik Charles Jurine stwierdził, iż kluczowe znaczenie ma w tym procesie narząd słuchu. Swoje przekonanie oparł na eksperymencie, w którym nietoperze z zatkanymi woskiem kanałami słuchowymi podczas lotu zderzały się z różnymi przeszkodami, np. przewodami elektrycznymi.

Niestety, prace obydwu uczonych zostały otwarcie skrytykowane przez francuskiego paleobiologa Georgesa Cuviera w artykule z 1800 r. Postulował on zupełnie inne wyjaśnienie, wiążąc zdolność do nawigowania nietoperzy w przestrzeni z działaniem „organów dotyku", rzekomo mających znajdować się na błonie skrzydeł. Ponieważ w tamtym czasie Cuvier uznawany był w środowisku zoologów za autorytet, ci bezrefleksyjnie przyjęli jego teorię. Badania nad echolokacją utknęły przez to na ponad sto lat. Historia nauk przyrodniczych po raz kolejny pokazała, że bezkrytyczna wiara w rzekome autorytety może zwodzić naukę na manowce.[1]

Problem echolokacji powrócił na szczęście do dyskursu naukowego w 1908 r. Wówczas amerykański zoolog Walter Louis Hahn w swojej pracy eksperymentalnej nie tylko potwierdził wcześniejsze ustalenia Spallanzaniego i Jurinego, ale również przeprowadził analizę ilościową oraz przypisał organom ucha wewnętrznego kluczowe znaczenie w procesie wykrywania przeszkód przez nietoperze.

Istotny przełom nastąpił w 1938 r., gdy Donald Griffin student biologii na uniwersytecie Harvarda oraz fizyk George Washington Pierce po raz pierwszy zarejestrowali nawoływania echolokacyjne nietoperzy. Było to możliwe dzięki mikrofonowi piezoelektrycznemu, skonstruowanemu przez drugiego ze wspomnianych naukowców. W zasadzie aparat do detekcji był wieloelementowy, obejmował bowiem: paraboliczną tubę z umieszczonym w jej ognisku przetwornikiem bazującym na krysztale tzw. soli z Rochelle (winianie sodowo-potasowym), wzmacniacze lampowe oraz odbiornik heterodynowy, przestrajalny w zakresie od około 10 do 150 kHz.

Urządzenie, po sprzężeniu z głośnikiem, pozwalało przekształcić sygnały i wyemitować je w postaci dźwięków słyszalnych dla ucha ludzkiego. Dopiero po pewnym czasie badacze zorientowali się, że zarówno emisja fal akustycznych przez nietoperze, jak i zbieranie ech przez zastosowany mikrofon mają charakter kierunkowy. Wykrywali zatem jedynie te ultradźwięki, które nadawane były przez ssaki w stronę urządzenia. Nie przeszkodziło to jednak w zorientowaniu się, że sygnały echolokacyjne wykazują dużą różnorodność. Griffin kontynuował badania we współpracy z fizjologiem słuchu i neurobiologiem Robertem Galambosem. W rezultacie opublikował wiele prac, przybliżających przyrodników do lepszego zrozumienia zjawiska echolokacji. Warto zwrócić uwagę, iż mimo biologicznego charakteru, wyniki badań nad echolokacją już od wczesnych lat prezentowane były w postaci ilościowej przy wykorzystaniu oscylogramów (wykresów zależności amplitudy od czasu) czy spektrogramów (gdzie na osi odciętych zazwyczaj prezentuje się czas, na osi rzędnych częstotliwość, a zmiany amplitudy odzwierciedlane są przez odcienie skali szarości lub przypisane kolory).

Badania nad wykorzystaniem dźwięków do orientacji w przestrzeni u ludzi zostały zainicjowane w latach 40-tych XX w. Wówczas to zupełnie ślepy student Michael Supa i jego kolega Milton Cotzin ustalili eksperymentalnie, że osoby niewidome mogą rozwijać umiejętność wykrywania przeszkód poprzez wydawanie dźwięków i nasłuchiwanie ich odbić. Z kolei zdolność odbioru ultradźwięków przez delfiny została potwierdzona później, bo dopiero w 1952 r. przez Winthropa Kellogga i Roberta Kohlera w morskim laboratorium na Florydzie.

Ważne miejsce w historii badań zajmuje, opisana w 1961 r., demonstracja przeprowadzona przez Kennetha Norrisa. Wówczas to butlonos z oczami zasłoniętymi przez gumowe przyssawki pływał swobodnie pomiędzy specjalnie ustawionymi przeszkodami, wydając charakterystyczne kliki. Uznano to jako koronny dowód wykorzystywania przez ssaki morskie swoistego biosonaru. Oczywiście badania nad echolokacją delfinów były kontynuowane, dostarczając szeregu danych ilościowych. Niezwykle ciekawe wydają się np. prace Teda Cranforda. Zastosował on znane z medycyny techniki, czyli rentgenowską tomografię komputerową[2] (CT) oraz obrazowanie magnetycznym rezonansem jądrowym[3] (MRI) do wizualizacji struktur akustycznych zlokalizowanych w głowie delfina.

Do poszerzenia wiedzy o sygnałach echolokacyjnych ssaków morskich bardzo przyczyniło się również użycie hydrofonów, czyli specjalnych mikrofonów, pozwalających na rejestrację rozchodzących się w cieczach fal akustycznych. Trzeba jednak mieć świadomość, iż mimo wielu lat badań część zagadnień związanych ze zjawiskiem echolokacji wciąż pozostaje niewyjaśnionych.

Echolokacja u nietoperzy

Nietoperze, chociaż czasem kojarzą nam się wyłącznie z filmami grozy, w rzeczywistości są pożytecznymi ssakami latającymi, gdyż żywią się przede wszystkim owadami, np. znienawidzonymi przez nas komarami.[4] Wprawdzie badaniem zwierząt rękoskrzydłych zajmuje się chiropterologia, ale fizycy od lat wspomagają przedstawicieli tej gałęzi zoologii m.in. w zakresie wykonywania pomiarów i analiz akustycznych. Kluczem jest tu bowiem poprawna interpretacja wyników o charakterze ilościowym.

Przystosowania nietoperzy do echolokacji ujawniają się już w ich budowie anatomicznej. Przykładowo wiel-

[1] Innymi przykładami mogą być prace kontrowersyjnych noblistów Egasa Moniza czy Hermanna J. Mullera. O tym ostatnim, w kontekście jego hipotezy LNT (Linear No-Threshold), przeczytać można w artykule: T. Kubiaka, „Od naturalnej promieniotwórczości do medycyny nuklearnej. Człowiek a promieniowanie jonizujące", Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 5 (2020), s. 4-11.

[2] Podstawom fizycznym tomografii rentgenowskiej poświęcono pracę: T. Kubiak, Tomografia komputerowa, Fizyka w Szkole nr 1 (2014), s. 7- 10.

[3] Metodę MRI przybliża tekst: T. Kubiak, Od protonów do diagnostyki, czyli obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 4 (2017), s. 4-9.

[4] W tropikach żyją także nietoperze owocożerne z podrzędu megachiroptera, które jednak nie posługują się echolokacją za wyjątkiem gatunków jaskiniowych z rodzaju Rousettus.

eprasa.pl 7edcb48ebe

Fot. 1. Zasiedlający europejskie lasy mopek zachodni potrafi wydawać dwa rodzaje sygnałów echolokacyjnych.

Fot. 2. Zamieszkujący górskie lasy mroczek pozłocisty emituje zmienno-częstotliwościowe nawoływania, trwające do 20 ms.

Fot. 3. U występującej w Afryce rudawki nilowej dźwięki echolokacyjne przyjmują postać krótkich podwójnych kliknięć, wydawanych językiem.

kość struktur aparatu głosowego dostosowana jest do częstotliwości dźwięków, jakie dany gatunek ma wydawać. Co ciekawe, w tej kwestii stwierdzono znaczne zróżnicowanie. Z jednej strony mamy molosa europejskiego, generującego sygnały w zakresie 9 -15 kHz, czyli słyszalne dla człowieka.

Drugą skrajność stanowi natomiast subsaharyjski krótkouszek afrykański, dla którego zarejestrowano najwyższą składową równą 212 kHz. Generalnie nietoperze emitują przede wszystkim ultradźwięki. Dzieje się tak w przypadku ukazanego na Fot. 1, popularnego mopka zachodniego (dwa typy sygnałów o częstotliwościach zmieniających się w przedziałach odpowiednio 45-30 kHz oraz 36-28 kHz), mroczka pozłocistego z Fot. 2 (f = 26-29 kHz) czy wydającej charakterystyczne podwójne kliknięcia (20-70 kHz) rudawki nilowej z fot. 3.

Sygnały akustyczne powstają w wyniku przepuszczania wydychanego powietrza pod odpowiednim ciśnieniem przez drgające fałdy głosowe. W czasie lotu patrolowego odbywa się to zazwyczaj w synchronizacji z uderzeniami skrzydeł, a dokładnie podczas ich opuszczania, gdy duże mięśnie pomagają wyciskać powietrze z płuc. Dzięki temu zmniejszany jest wydatek energetyczny. U nietoperzy struny głosowe są krótkie i napięte, stąd nawoływania charakteryzują się wysokimi częstotliwościami. Dźwięki wytwarzane w krtani mogą być wysyłane dalej nie tylko przez usta, ale również przez nozdrza, często wyposażone w rozwiniętą narośl. U przedstawicieli rodziny podkowcowatych, jak sama nazwa wskazuje, przyjmuje ona kształt podkowy i pomaga skupiać wiązkę fal akustycznych. Rezonatory jamy nosowej i gardła są natomiast zdolne do selektywnego wzmacniania poszczególnych składowych częstotliwościowych.

Większość przedstawicieli mroczkowatych podbija przede wszystkim ton podstawowy (czyli ten przebieg sinusoidalny, który posiada najniższą częstotliwość ze wszystkich wytwarzanych tonów), natomiast niektóre gacki kilka różnych harmonicznych. Nadawany dźwięk propaguje w ośrodku, odbija się od lokalizowanego obiektu, a następnie powraca do nietoperza. Odbierane echo cechuje się oczywiście znacznie niższym poziomem natę-

eprasa.pl 7edcb48ebe

żenia niż pierwotny sygnał. W przypadku małego owada osłabienie sięga 30 dB plus straty związane z tłumieniem fali rozchodzącej się w ośrodku.

Uszy rękoskrzydłych są jednak przystosowane do rejestracji słabych ech. Warto zwrócić chociażby uwagę na rozwinięty zakręt podstawny ślimaka oraz podwyższoną sztywność błony podstawnej, która przekłada się na wzmożoną wrażliwość słuchu na wyższe częstotliwości. Przedstawiciele wielu gatunków nietoperzy posiadają też mechanizm zapobiegający samoogłuszaniu się podczas emisji sygnałów akustycznych. Bazuje on na odpowiednim skurczu mięśni ucha środkowego.

Przy próbach wyjaśnienia zjawiska echolokacji warto posiłkować się metodami matematycznymi, np. korelacją krzyżową (wzajemną). Pozwala ona określić stopień zgodności dwóch sygnałów rejestrowanych w funkcji czasu w zależności od opóźnienia czasowego τ, występującego między nimi. Jeśli wysyłany dźwięk (impuls) opiszemy funkcją $p(t)$ a jego echo $e(t)$, to na podstawie maksimum funkcji korelacji krzyżowej $F_{pe}(\tau)$:

$$F_{pe}(\tau) = \int p(t) \cdot e(t+\tau)\, dt$$

znajdziemy odstęp czasowy między sygnałem a echem. Możemy przypuszczać, że podobny proces zachodzi w mózgach nietoperzy i innych echolokujących zwierząt. Problemem może być nachodzenie na siebie fal: generowanej oraz powracającej. Nietoperz musi zatem skracać czas emisji impulsów, gdy cel jest blisko, aby zminimalizować tzw. ślepe okno. Niestety, ultradźwięki odbite od małego owada mogą również nakładać się na znacznie silniejsze echo, którego źródłem są obiekty w tle, np. ściany czy drzewa.

Zwierzęta echolokujące, na podstawie pomiaru opóźnienia czasowego między wysłaniem impulsu a odebraniem echa, potrafią określić, jak daleko znajduje się przeszkoda albo potencjalna ofiara. Przykładowo jeśli temperatura w jaskini wynosi 5°C, to szybkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu wypełniającym jej wnętrze wynosi 334,4 m/s.[5] Opóźnienie czasowe 2 ms (związane z propagacją impulsu od źródła do przeszkody i z powrotem) daje wzajemną odległość około 33 cm. Opisany przypadek będzie mieć miejsce dla spoczywającego nietoperza i nieruchomej przeszkody w postaci ściany.[6] W praktyce ssak może lecieć, a ofiara, np. owad, poruszać się w dowolnym kierunku. Zapewne wszyscy czytelnicy pamiętają ze szkolnych lekcji fizyki, że w sytuacji, gdy nadajnik i odbiornik fali akustycznej przemieszczają się względem siebie mamy do czynienia ze zjawiskiem Dopplera.[7] Z reguły rozpatruje się je w dwóch przypadkach, traktując ośrodek w jakim rozchodzą się dźwięki jako układ odniesienia. Pierwsza możliwość uwzględnia nieruchome źródło oraz poruszający się względem niego z prędkością v_o odbiornik.[8] Wówczas rejestrowana przez ten detektor (np. ucho) częstotliwość dźwięku f wyraża się wzorem:

$$f = f_0\left(1+\frac{v_o}{c}\right) = f_0\left(\frac{c+v_o}{c}\right)$$

gdzie: f_0 to częstotliwość wysyłanej fali akustycznej, c – prędkość dźwięku w ośrodku (np. powietrzu).

Odbiornik, zmierzający naprzeciw odległym od siebie o długość λ czołom fali, napotyka je coraz szybciej, zatem rejestrowana częstotliwość $f > f_0$. Dla oddalającego się detektora znak przed v_0 będzie ujemny a postrzegana przez niego częstotliwość $f < f_0$.

Z kolei dla źródła poruszającego się z prędkością v_z i spoczywającego obserwatora formuła wygląda następująco:

$$f = \frac{f_0}{1-\frac{v_z}{c}} = f_0\left(\frac{c}{c-v_z}\right)$$

Ruch emitera przekłada się zatem na zmianę częstotliwości, którą rejestruje odbiornik. Gdy źródło kieruje się w jego stronę $f > f_0$, natomiast jeśli się oddala, przy v_z w mianowniku wstawiamy znak plus i $f < f_0$.

Uogólniając wzór na sytuację, w której zarówno źródło jak i obserwator poruszają się wzdłuż wspólnej prostej mamy:

$$f = f_0\left(\frac{c \pm v_o}{c \mp v_z}\right)$$

Po tej krótkiej powtórce z podstaw fizyki możemy powrócić do świata echolokujących zwierząt. Gdy nietoperz szuka pożywienia, nadaje sygnał a później rejestruje echo od przemieszczającego się owada. Częstotliwość słyszana przez drapieżnika jest inna o kilka kHz od tej, jaką wyemitował. Różnica Δf, która przy założeniu średniej szybkości jego lotu 5 m/s może zostać oszacowana na 3% f_0, wykorzystywana jest do oceny prędkości ofiary względem łowcy.

Interesująca wydaje się zdolność niektórych gatunków nietoperzy do kompensacji przesunięcia Dopplera w celu lepszego odróżniania impulsów od ich ech podczas lotu.[9] W spoczynku nie ma z tym problemów, gdyż np. słuch podkowca dostrojony jest do częstotliwości bliskiej tej, która charakteryzuje emitowany sygnał (82-83 kHz). Wrażliwość na dźwięki o częstotliwości nieznacznie niższej albo wyższej pozostaje znacznie mniejsza. Gdy zwierzę się przemiesza, przesunięcie Dopplera zmienia się zależnie od wartości jego prędkości. Zwiększona szybkość lotu wymusza zatem konieczność zmniejszenia częstotliwości emitowanych impulsów (do około 77-81 kHz), aby powracające echo odbierane było we wspomnianym wcześniej optymalnym dla nietoperza zakresie słyszalności. Latający ssak dobrze słyszy zatem echo, a słabiej wy-

[5] Wartość na podstawie: https://www.engineeringtoolbox.com/air-speed-sound-d_603.html (dostęp 22.11.2023).

[6] Podobna sytuacja ma miejsce podczas tzw. polowania z zasiadki. Wówczas nietoperz pozostaje nieruchomy w czatowni (np. wisi na gałęzi) i przy użyciu echolokacji sonduje otoczenie.

[7] Nazwa zjawiska wywodzi się od austriackiego fizyka Christiana Dopplera. Efekt opisany przez Dopplera w 1842 r. został potwierdzony eksperymentalnie w 1845 r. w Holandii przez Buysa Ballota (słynne doświadczenie z trębaczami na platformie poruszającego się wagonu).

[8] Znak prędkości v_0 przyjmujemy jako dodatni w przypadku zbliżania się, a ujemny dla oddalania.

[9] W przypadku dłuższych dźwięków może zajść konieczność odbioru echa jeszcze w czasie nadawania pierwotnego sygnału.

eprasa.pl 7edcb48ebe

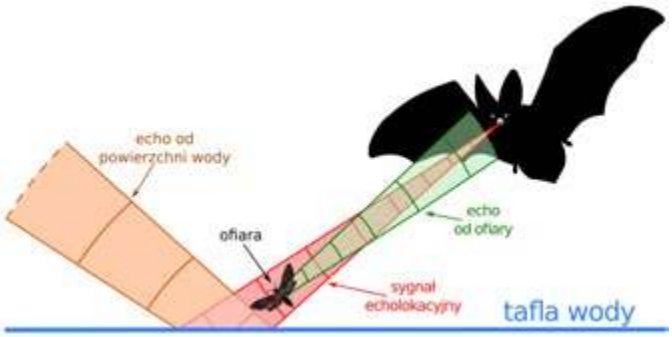
dawany przez siebie sygnał, chociaż ten posiada większe natężenie.

Warto wspomnieć, że poziom natężenia dźwięku dla niektórych nawoływań echolokacyjnych w odległości 10 cm od pyszczka przekracza 130 dB. Problem stanowić może jedynie efekt tzw. maskowania pobodźcowego. W jego wyniku próg słyszalności cichego echa wzrasta na skutek obecności przed nim głośnego dźwięku wydawanego przez nietoperza. Innym efektem psychoakustycznym, mającym zastosowanie w echolokacji, jest maskowanie dźwięków poprzedzających (nazywane wstecznym). Pochodząca od ofiary fala o niewielkim natężeniu może nie być uchwycona, gdyż tuż za nią dociera do ucha silny sygnał od przeszkody znajdującej się w tle. Doświadczenie pokazuje jednak, iż mimo wielu komplikacji nietoperze z dużą dokładnością (submilimetrową) potrafią szacować odległości.

Odrębne zagadnienie stanowi dokładne wyznaczanie lokalizacji napotykanego obiektu w przestrzeni trójwymiarowej. Określanie położenia pionowego ofiary (kąta pod jakim znajduje się w stosunku do płaszczyzny lotu nietoperza) wspomagane jest przez analizę interferencji fal dźwiękowych odbitych od koziołka, czyli specjalnego płatka skóry w uchu zewnętrznym. Dla zainteresowanych warto również dodać, że nietoperze z rodziny podkowcowatych posiadają zdolność do niezależnego poruszania każdą z małżowin w górę i w dół. Wysokość na jakiej znajduje się śledzony obiekt mogą zatem obliczyć na podstawie rozbieżności w natężeniu dźwięku docierającego do każdego z uszu.

Kąt w płaszczyźnie poziomej (azymut) również ustalany jest przez nietoperze z wykorzystaniem międzyusznej różnicy poziomów ciśnienia akustycznego. Z kolei siła echa akustycznego przydaje się przy ocenie rozmiaru celu lub przeszkody. Faktura powierzchni obiektu określana jest natomiast na podstawie pików występujących w widmie częstotliwościowym echa. Niesamowite jest to, że zwierzęta wykonują te wszystkie procesy obliczeniowe automatycznie, w czasie rzeczywistym, tylko dzięki zdolnościom rozwiniętym przez ich mózgi. Tytułem dygresji przypomnieć można, że naukowcy w swych badaniach uzyskują widma częstotliwościowe, posługując się analizą Fouriera.[10]

Spektrogramy zarejestrowanych sygnałów echolokacyjnych nietoperzy różnią się, co ma związek z otoczeniem, w jakim żyją poszczególne gatunki z tych ssaków. Dłuższe w czasie, ale wąskopasmowe sygnały o stosunkowo niskiej częstotliwości bywają używane do namierzania odległych celów na otwartych siedliskach. Niskie częstotliwości są bowiem tłumione w mniejszym stopniu, więc nawoływania takie mają większy zasięg. Z kolei krótkie (< 5 ms) sygnały szerokopasmowe o wyższej częstotliwości pomagają lokalizować ofiary w miejscach gęsto wypełnionych rozmaitymi obiektami, np. w lasach. Podkowiec duży wydaje długie dźwięki o stałej częstotliwości. Pomagają mu one dokonać swoistej klasyfikacji celu, np. odróżnić szybko machającego skrzydłami komara od chrząszcza. Natężenie echa wykazuje bowiem zmienność



Rys. 1. Do nietoperza polującego nad gładką powierzchnią wody dociera jedynie echo pochodzące od ofiary.

w dziedzinie czasu na skutek odbić zachodzących od skrzydeł, których położenie podczas lotu owada zmienia się cyklicznie. Dodatkowo koniec nawoływania nietoperza może być wzbogacony o szerokopasmowe przemiatanie, ułatwiające lokalizację ofiary.

Latające szybko oraz wysoko borowce wielkie emitują naprzemiennie sygnały o niższej i nieco wyższej, lecz bardziej modulowanej *f*. Dzięki temu fala odbita od dużego, ale bardzo oddalonego obiektu (przytłumiona na skutek długiej propagacji w ośrodku) zostanie właściwie zinterpretowana, nawet jeśli dotrze do uszu nietoperza już po emisji kolejnego dźwięku. Taka strategia pomaga uniknąć błędnego zidentyfikowania tego echa jako efektu już następnego nawoływania i odbicia pochodzącego od bardzo bliskiego, ale małego obiektu.

Sama zmiana emitowanej częstotliwości jest rezultatem napinania bądź rozluźniania strun głosowych. Ich długość zależy od wielkości krtani, czyli w zasadzie od rozmiaru ciała nietoperza. Małe osobniki łapią niewielkie owady, do wykrywania których przydatna jest emisja wysokich dźwięków (czyli tych o małej długości fali). Duże drapieżniki polują na większe ofiary, stąd mogą posługiwać się ultradźwiękami o nieco niższych częstotliwościach. Istnieją także rękoskrzydłe potrafiące przełączać się pomiędzy wspomnianymi już impulsami wąskopasmowymi (wykrycie celu) a szerokopasmowymi (jego lokalizacja).

Dzięki stosowaniu echolokacji dla nietoperzy nie ma większego znaczenia, czy atakują lecącą ofiarę od góry czy od dołu. W takiej komfortowej sytuacji zdecydowanie nie znajdują się ptaki owadożerne, np. jaskółki, które polegając wyłącznie na swoim wzroku, w porze zmierzchu zmuszone są chwytać ofiary, nadlatując poziomo lub ewentualnie lekko od dołu, aby widzieć je na tle jaśniejszego nieba.

Niestety, bazowanie wyłącznie na echolokacji ma też swoje złe strony. Nie jest ona bowiem przydatna nietoperzom do wykrywania większych drapieżników gwałtownie zbliżających się do nich od tyłu. Są więc bardzo łatwą zdobyczą dla ptaków szponiastych, takich jak sokół białogardły czy gackożer. Obawa przed takim niebezpieczeństwem może być właśnie jednym z czynników uzasadniających nocny tryb życia nietoperzy. Z drugiej strony o tej porze łatwiej jest też wychwycić z tła dźwięki emitowane przez same owady. Dzięki świetnemu słuchowi nietoperze bez problemu zarejestrują brzęczenie komarów (zmiany ciśnienia powietrza wywołane szybkimi ruchami skrzy-

[10] Więcej o analizie Fouriera dowiedzieć się można z artykułu: T. Kubiak, Sygnały i obrazy, czyli fizyka w przetwarzaniu i analizie danych biomedycznych, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 3 (2020), s. 4-12.

eprasa.pl 7edcb48ebe

deł), buczenie chrząszczy a nawet szelest pełzającego po suchych liściach pająka. Oczywiście w trakcie posługiwania się echolokacją zdecydowanie łatwiejsze jest dla nich wykrycie owada poruszającego się w powietrzu w otwartej przestrzeni (gdzie odbicie od obiektów w tle się nie pojawia lub jest słabe) niż maskującego się przy ziemi.

Niektóre potencjalne ofiary mogą posiadać zdolność do odbioru fal akustycznych, wysyłanych przez echolokujące ssaki. Próbują wówczas uchronić się przed atakiem. Przykładowo ćma, słysząc ultradźwięki o niewielkim natężeniu, zaczyna uciekać, a gdy natężenie jest wysokie i świadczy o bliskości nietoperza, gwałtownie zmienia trajektorię ruchu.

Istnieją też owady zdolne do emitowania ultradźwiękowych sygnałów zagłuszających echa. Co ciekawe, najmniejsze szansę na uniknięcie niebezpieczeństwa mają ofiary poruszające się nad gładką powierzchnią wody. Jeśli bowiem nietoperz, nadlatując pod pewnym kątem, emituje falę dźwiękową o częstotliwości *f,* to odbija się ona zgodnie z prawem odbicia od tafli i nie trafia już do jego uszu (naturalna eliminacja zakłócenia od tła). Dzięki temu do narządu słuchu nietoperza dociera tylko sygnał echa pochodzący od owada (rys. 1).

Echolokacja u ssaków morskich

W przeciwieństwie do nietoperzy ssaki morskie do echolokacji nie wykorzystują nawoływań tonalnych, tylko zdecydowanie krótsze, klikające odgłosy. Ma to związek z faktem, że w wodzie dźwięk rozchodzi się znacznie szybciej niż w powietrzu, a ważne jest uzyskanie dobrej rozdzielczości czasowej.[11] W tym miejscu warto przypomnieć, iż prędkość fali akustycznej w ośrodku zależy od jego właściwości sprężystych oraz gęstości ρ i można ją wyrazić formułą:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

gdzie: K to wyrażany w Pa adiabatyczny moduł sprężystości objętościowej, informujący o siłach przeciwdziałających ściskaniu płynu.

Nietrudno zauważyć, że woda ma zupełnie inne właściwości niż powietrze. Jest mniej ściśliwa, posiada większą gęstość, cechuje się zatem zdecydowanie wyższą impedancją akustyczną Z:

$$Z = \rho \cdot v$$

Stali czytelnicy pamiętają zapewne, że impedancja akustyczna może być traktowana jako miara swoistego oporu, jaki napotyka fala akustyczna podczas propagacji w ośrodku.[12] W 20°C impedancja akustyczna wody wynosi $1{,}48 \cdot 10^6$ [kg/(m^2/s)], natomiast powietrza $0{,}00044 \cdot 10^6$ [kg/(m^2/s)].[13]

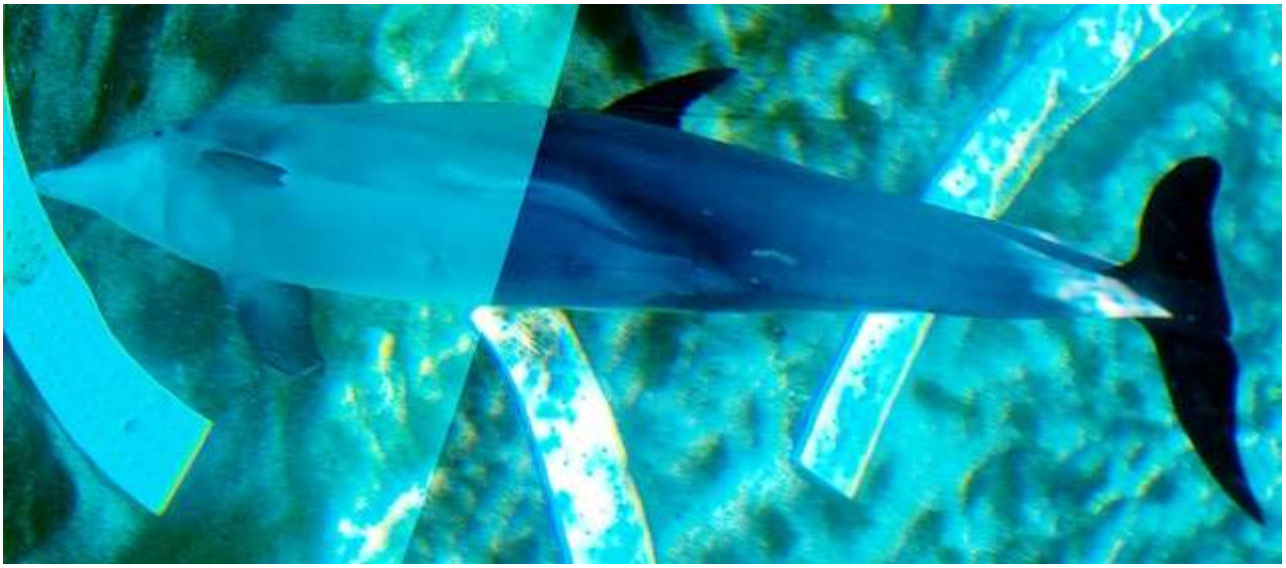
Delfiny (fot. 4) są drapieżnikami. Chwytają m.in. ryby, których szkielet i gaz wypełniający pęcherz pławny posiadają impedancję akustyczną znacznie odmienną od tej charakteryzującej wodę czy osady denne. Dzięki temu ofiary mogą zostać łatwo wykryte przy zastosowaniu echolokacji.

Delfiny wytwarzają dźwięk za pomocą tzw. warg fonicznych ulokowanych w kanałach nosowych. Sygnały przekazywane są następnie przez tzw. melon (strukturę tłuszczową w rejonie czoła). Wg badań naukowców pełni on nie tylko funkcję soczewki ogniskującej, ale również jest odpowiedzialny za dopasowanie impedancji akustycznej tkanki i otaczającej zwierzę wody.[14] Dzięki temu fala akustyczna emitowana jest z ciała do środowiska przy jak najmniejszej stracie energii.

[11] Dla temp. 20°C prędkość dźwięku w wodzie ma wartość 1482 m/s, natomiast w powietrzu 343,6 m/s (na podstawie: Tablice fizyczno -astronomiczne, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2005, s. 268.

[12] Więcej o impedancji akustycznej w kontekście ultradźwięków można dowiedzieć się z artykułu: T. Kubiak, Ultrasonografia, czyli fale akustyczne w służbie medycyny, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 5 (2017), s. 4-9.

[13] Wartości na podstawie: S. Mackiewicz, Badania ultradźwiękowe w sprzężeniu powietrznym, Zakopane, 2018, s. 140.



Fot. 4. Zębowce, np. delfiny, wykorzystują echolokację przy polowaniu na ryby i małe zwierzęta morskie.

eprasa.pl 7edcb48ebe

Butlonosy generują krótkie (< 100 µs) sygnały szerokopasmowe o stosunkowo dużym natężeniu. Przypominają one kliknięcia, których częstotliwość szczytowa dochodzi do 120 kHz. Co ciekawe, wzmocnienie sygnałów jest kontrolowane, a amplituda kliknięć obniżana w miarę zbliżania się do celu. Morświny zwyczajne emitują dłuższe nawoływania (> 125 µs) o węższym paśmie. Występujący w wodach tropikalnych i subtropikalnych dziobowal zwartopyski (wal Blainville'a) najlepiej słyszy w zakresie 40–50 kHz, przy czym górna granica fal jakie odbiera to około 70 kHz. Chociaż w większości przypadków ssaki morskie emitują ultradźwięki, to np. u kaszalotów występują też częstotliwości słyszalne przez ludzkie ucho. Dla żerujących w wodach Norwegii przedstawicieli tych zwierząt zanotowano też największy poziom natężenia dźwięku, wynoszący w pobliżu źródła 230–243 dB.

Podczas polowania istotny jest odpowiedni dobór częstotliwości powtarzania wychodzących impulsów, aby możliwa była rejestracja echa jeszcze przed emisją kolejnego dźwięku. Eksperymenty pokazały, iż delfin butlonosy potrafi zlokalizować stalową kulkę o średnicy 2,5 cm nawet z odległości 93 m. Powracające echo odbierane jest przez głowę zwierzęcia. Pomiary słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu dowiodły, że maksymalną wrażliwość na stymulację bodźcami ultradźwiękowymi wykazują okolice żuchwy delfinów. Dzięki analizie struktury ech butlonosy i morświny potrafią prawdopodobnie rozróżniać gatunki ryb, które stanowią ich pożywienie. Nie stwierdzono natomiast, żeby ssaki morskie potrafiły uzyskiwać dodatkowe informacje z pomiaru przesunięcia Dopplera.

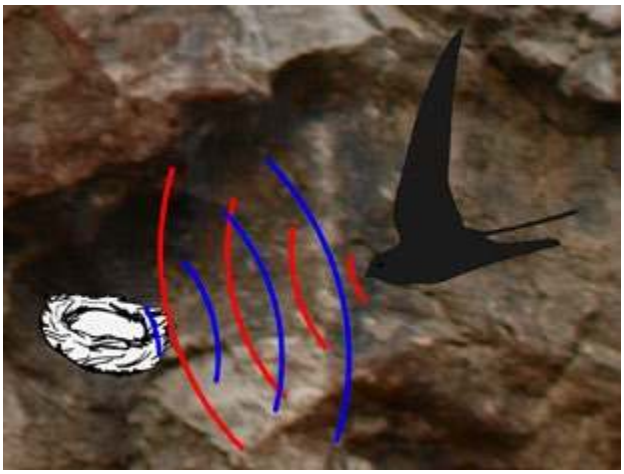
Echolokacja u ptaków

Jak już wcześniej wspomniano przynajmniej dwa gatunki ptaków: tłuszczak oraz salangana himalajska (fot. 5) wykorzystują echolokację. Jest ona jednak znacznie bardziej prymitywna niż u latających ssaków, gdyż nie służy do wykrywania ofiar, a jedynie nawigacji w mrocznych miejscach, takich jak głębokie jaskinie. Podczas lotu w ciemności ptaki emitują głośne dźwięki i rejestrują echo odbite od ścian, czemu sprzyja panująca we wnętrzu cisza. Umożliwia to np. znalezienie odpowiedniej do budowy gniazda półki skalnej.

Warto zauważyć, że ptaki posługują się falami akustycznymi z zakresu słyszalnego dla człowieka, zatem ich echolokację cechuje gorsza rozdzielczość przestrzenna niż ma to miejsce w przypadku zastosowania ultradźwięków. Generowane w krtani dolnej[15] sygnały biosonarne przybierają formę krótkich (1-8 ms), szerokopasmowych, pojedynczych albo podwójnych (odstęp 11–25 ms) kliknięć, które w przeciwieństwie do nawoływań wielu gatunków nietoperzy nie wykazują zachodzących w czasie zmian w strukturze częstotliwościowej. Fonacja w zakresie 1.5–2.5 kHz koresponduje z najczulszym obszarem słuchu tłuszczaków. Wykazano bowiem, że maksymalna wrażliwość występuje u nich przy 2 kHz i dla wyższych f spada o około 20 dB na oktawę. Niemniej jednak w całym widmie nawoływań tłuszczaków pojawiają się częstotliwości z przedziału 1–15 kHz, a u przedstawicieli podrodziny jerzyków 1–10 kHz.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że liczba impulsów emitowanych w jednostce czasu może wzrastać, gdy zwierzęta zbliżają się do przeszkody lub gniazda (rys. 2). W tym kontekście warto dodać, iż gniazdo jerzyków ma zwykle średnicę 5-10 cm. Naukowcy wciąż nie ustalili jednak dokładnie, jakie są najmniejsze możliwe wymiary obiektów, wykrywanych przez te ptaki. Raporty wskazują próg detekcji na poziomie 10–20 mm. Według teorii echo będzie odbierane, gdy rozmiar przeszkody będzie w przybliżeniu większy lub równy 1/3 długości padającej na nią fali. Echolokacja z wykorzystaniem dźwięków słyszalnych nie przyda się zatem salanganom w wykrywaniu ofiar, np. małych owadów. Owocożerne tłuszczaki mogą natomiast używać jej szukając pokarmu wśród palm.

Fot. 5. Salangana himalajska nie wykorzystuje echolokacji do wykrywania ofiar, a jedynie do nawigacji w mrocznych miejscach, takich jak głębokie jaskinie.



Rys. 2. Dzięki echolokacji salangana himalajska może wykryć gniazdo w ciemnej jaskini.

[14] Współczesne badania pokazują, że procesy odbicia fal akustycznych od czaszki i worków powietrznych również odgrywają ważną rolę przy formowaniu i ogniskowaniu wiązki ultradźwięków.

[15] Krtań dolna (ang. *syrinx*) stanowi charakterystyczny dla ptaków śpiewających narząd głosowy zlokalizowany przy rozwidleniu tchawicy. Zbudowany jest on z komory rezonansowej oraz elastycznych łącznotkankowych membran wibracyjnych, rozpiętych między chrząstkami. Te tzw. błony bębenkowe wprawiane są w drgania pod wpływem wydychanego powietrza.

eprasa.pl 7edcb48ebe

Echolokacja u ludzi

U ludzi orientacja w przestrzeni, sprawne poruszanie się i unikanie niebezpieczeństw możliwe są przede wszystkim dzięki wykorzystaniu zmysłu wzroku.[16] Niestety, są wśród nas także osoby, u których występuje całkowita lub praktyczna ślepota obuoczna.[17] Zazwyczaj posługują się one białą laską, która ułatwia im samodzielne poruszanie się, pomagając w wykrywaniu przeszkód znajdujących się na drodze. Nie jest to jednak jedyny sposób, w jaki niewidomi mogą orientować się w przestrzeni.

Umiejętność echolokacji może być bowiem rozwijana także u ludzi. Zasady są podobne do tych znanych ze świata zwierząt, bazę stanowią jednak fale akustyczne słyszalne dla ludzkiego ucha, a nie ultradźwięki. Wysyłane sygnały przybierają zatem postać wydawanych ustami kliknięć, pstryknięć palcami, gwizdów czy stuknięć. Przeważają jednak kliknięcia podniebienne o czasie trwania 2-10 ms. Mechanizm ich generowania został dokładnie przeanalizowany, warto zatem w skrócie się mu przyjrzeć. W jamie ustnej znajduje się pewna objętość powietrza. Gdy na podniebieniu umieści się czubek i tył języka, natomiast jego środek obniży, powstanie lokalne podciśnienie. Jeśli następnie wykona się szybki ruch językiem do tyłu i w dół bezpośrednio za zębami, powietrze zostanie zaciągnięte do ust w celu wyrównania ciśnień. Towarzyszyć temu będzie wyraźny dźwięk. Jego charakterystyka zależy od pozycji artykulacyjnej i kształtu, jaki przyjął język. Każdy typ kliknięcia posiada w widmie dominującą częstotliwość. Zazwyczaj zawiera się ona w przedziale od 1 kHz do 8 kHz i różnicuje poszczególne rodzaje dźwięków. Cechą wspólną jest natomiast szybkie początkowe narastanie amplitudy a następnie jej wolny spadek dla kolejnych oscylacji.

Stwierdzono także, iż kliki echolokacyjne w porównaniu z sygnałami mowy wykazują większą kierunkowość. Wzrasta ona dodatkowo przy wyższych częstotliwościach, przy czym większość energii emitowana jest w kierunku przednim (w odniesieniu do płaszczyzny czołowej). Czytelników zainteresuje zapewne fakt, że w warunkach laboratoryjnych rejestracja dźwięków wydawanych przez osoby niewidome odbywa się z wykorzystaniem układu mikrofonów wszechkierunkowych w specjalnych komorach bezechowych, które są izolowane akustycznie od tła.[18] Gdy odbierane echo jest słabe albo występują zakłócające odgłosy tła, liczba klików emitowanych w jednostce czasu jest zwiększana lub są one głośniejsze. Blisko położone przedmioty mogą być wykrywane z rozdzielczością przestrzenną od 5 do 10 cm i kątową do 1,5 stopnia. Nieco gorzej sytuacja wygląda przy detekcji oddalonych obiektów, np. budynków stojących po drugiej stronie ulicy. W tym drugim przypadku potrzebne są też wyższe amplitudy fal akustycznych.

Istnieją niewidomi, którzy opanowali umiejętność echolokacji do tego stopnia, iż bez posiłkowania się dotykiem potrafią określić, jakie przedmioty znajdują się w ich sąsiedztwie. Dodatkowo poruszają się oni pomiędzy przeszkodami w tempie porównywalnym do osób zdrowych. Do określenia dystansu dzielącego ich od wybranego obiektu wykorzystują różnicę czasu pomiędzy rozpoczęciem emisji dźwięku a początkiem słyszenia echa, również fakt zmniejszania się wraz z odległością natężenia fali akustycznej.

Lokalizacja źródła dźwięku jest oczywiście ułatwiona dzięki posiadaniu dwojga uszu. Binauralna percepcja echa pozwala bowiem ustalić kierunek, z jakiego ono dochodzi. Akustycy przy opisie tegoż kierunku uwzględniają trzy przecinające się w środku głowy płaszczyzny: poprzeczną (horyzontalną), czołową oraz pośrodkową, co obrazuje rys. 3. Wybrany punkt w przestrzeni (źródło echa) łączy z początkiem układu współrzędnych promień wodzący ***r***. Między tym promieniem a płaszczyzną poprzeczną wyznacza się kąt biegunowy ϕ.

Z kolei kąt azymutalny θ określony jest pomiędzy rzutem promienia wodzącego na płaszczyznę poprzeczną a wskazującą przód półosią przecinającą środek twarzy. Niejednakowość dróg, jaką musi pokonać fala akustyczna, aby dotrzeć do każdej z małżowin z osobna, skutkuje występowaniem tzw. międzyusznej różnicy czasu. Przyjmie ona największą wartość, gdy przedmiot stanowiący źródło echa zlokalizowany będzie dokładnie naprzeciwko jednego z uszu (ludzka głowa posiada zazwyczaj średnicę do 19 cm).

W praktyce wykrywany obiekt znajduje się najczęściej pod pewnym kątem θ. W przykładzie zwizualizowanym na rys. 4 fala akustyczna dociera najpierw do prawej małżowiny a dopiero potem, po przebyciu dodatkowej drogi Δl, do lewej. Przy założeniu uproszczonego modelu, w którym przekrój osiowy głowy ma kształt koła, możemy posłużyć się formułą:

$$\Delta l = r_g \cdot \theta + r_g \cdot \sin\theta$$

gdzie: r_g – promień przekroju głowy, θ – wyrażony w radianach kąt położenia źródła echa.[19] Dzieląc powyższe równanie przez szybkość dźwięku w powietrzu, oznaczaną w artykule jako c, łatwo obliczymy międzyuszną różnicę czasu Δt:

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{c} = \frac{r_g \cdot \theta + r_g \cdot \sin\theta}{c}$$

W praktyce wspomniana różnica czasu przyjmuje wartości 0 – 653 µs. Warto również dodać, że przesłanka lokalizacyjna oparta o Δt jest najbardziej skuteczna przy częstotliwościach fali akustycznej do ≈ 1,5 kHz, gdy połowa długości fali jest większa od dystansu dzielącego małżowiny.

[16] Więcej o percepcji wzrokowej dowiedzieć się można z artykułu: T. Kubiak, Od biofizyki układu wzrokowego do złudzeń optycznych, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 6 (2019), s. 4-10.

[17] O badaniu ostrości wzroku oraz chorobach oczu traktuje artykuł: T. Kubiak, Fizyka u okulisty i optometrysty, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 5 (2023), s. 4-13.

[18] Więcej informacji o komorach bezechowych znaleźć można w artykule: T. Kubiak, Biofizyka zmysłu słuchu i ochrona przed hałasem, Fizyka w Szkole z Astronomią, nr 2 (2021), s. 4-10.

[19] Zaproponowany przez Roberta S. Woodwortha i bazujący na prostym modelu geometrycznym wzór zakłada, że dźwięk jest falą płaską a jego źródło znajduje się w nieskończonej odległości.

eprasa.pl 7edcb48ebe

Kolejny czynnik lokalizacyjny stanowi tzw. międzyuszna różnica poziomu.[20] Jeśli echo dociera do słuchacza (w naszym przypadku osoby niewidomej) z boku, to po drugiej stronie jego głowy może wytworzyć się tzw. cień akustyczny. W praktyce oznacza to, że natężenie dźwięku dobiegającego do ucha bliższego będzie wyższe, a do dalszego niższe. Należy zaznaczyć, że sytuacja taka ma miejsce, gdy długość fali akustycznej jest mniejsza od średnicy szczytowej części ludzkiego ciała, która stanowi swoistą przeszkodę na drodze wspomnianej fali. Przy większych lub porównywalnych długościach λ zachodzi natomiast zjawisko ugięcia i dźwięk dociera również do przeciwstawnej małżowiny (różnice poziomów dla obojga uszu są wówczas małe, czyli nieistotne z punktu widzenia rozpatrywanego zagadnienia).

Efektywność obu opisanych czynników lokalizacyjnych zależy zatem od częstotliwości. Międzyuszna różnica czasu bardziej liczy się w przypadku tonów o niskiej częstotliwości, natomiast międzyuszna różnica poziomu ma znaczenie dla tonów o wysokiej częstotliwości (f > 1,5 kHz). W tym ostatnim przypadku tworzy się całkowity lub częściowy cień akustyczny a różnica poziomów docierających do małżowin, w zależności od kąta azymutalnego źródła, może sięgać nawet 20 dB.

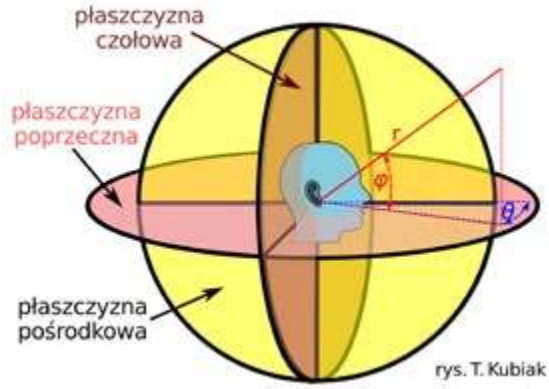
Niestety, w przypadku źródeł zlokalizowanych w płaszczyźnie środkowej ($\theta = 0$) osoba nasłuchująca nie może kierować się bezpośrednio opisanymi wcześniej czynnikami czasowymi i natężeniowymi. W celach poprawy zdolności lokalizacyjnych może wykorzystywać jednak inne, pomocnicze czynniki, np. kształt małżowin usznych, niewielkie ruchy głową czy zmianę charakterystyki wysyłanych sygnałów, które później przekładają się na odbierane echo. W całym procesie echolokacji kluczowa jest oczywiście jego interpretacja, w co zaangażowane są wyspecjalizowane regiony mózgu.

Największym zaskoczeniem może wydawać się fakt, że podczas nasłuchiwania dźwięków echolokacyjnych u ludzi niewidomych, oprócz standardowych ośrodków odpowiedzialnych za percepcję słuchową, uaktywnia się dodatkowo pierwotna kora wzrokowa, co potwierdzają wyniki obrazowania metodą czynnościowego rezonansu magnetycznego (fMRI od ang. „***f**unctional **M**agnetic **R**esonance **I**maging*"). Mózg wykazuje zatem niezwykłą plastyczność i doskonale potrafi radzić sobie z nowymi rodzajami informacji sensorycznej.

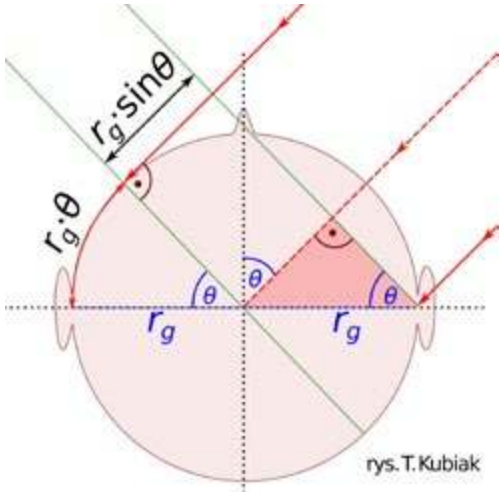
Ludziom bazującym standardowo na percepcji wzrokowej czasami nawet trudno wyobrazić sobie, że dzięki echolokacji wytrenowani niewidomi mogą uzyskać informacje nie tylko o odległości i usytuowaniu przeszkód, ale również o ich wymiarach, kształcie a nawet materiale, z jakiego są wykonane. Dzięki temu zyskują większą samodzielność i mogą sprawniej poruszać się nie tylko w pomieszczeniach, ale również w przestrzeni miejskiej.

Na koniec warto dodać, iż interdyscyplinarne badania nad echolokacją, które łączą w sobie elementy akustyki, biofizyki, neuronauki oraz kognitywistyki, nie tylko pozwalają nam pogłębiać ogólną wiedzę o tym niezwykłym zjawisku, ale również stanowią inspirację dla inżynierów przy projektowaniu urządzeń wspomagających funkcjonowanie osób niewidomych.

[20] W akustyce poziom dźwięku oznacza poziom ciśnienia akustycznego skorygowany krzywą ważenia



Rys. 3. Układ współrzędnych sferycznych, który pozwala określić kierunek powracającego echa. Zaznaczono poszczególne płaszczyzny, promień wodzący r, kąt azymutalny θ, kąt biegunowy ϕ.



Rys. 4. Międzyuszna różnica czasu wynika z niejednakowych dróg, jakie musi pokonać fala akustyczna, aby dotrzeć do każdej z małżowin.

dr Tomasz Kubiak
biofizyk i fizyk medyczny
Wydział Fizyki UAM w Poznaniu

POLECANA LITERATURA:

[1] G. Jones, Echolocation, *Current Biology* 15 (13), 2005, s. 484-488.
[2] H. Raghuram, G. Marimuthu, Donald Redfield Griffin The Discovery of Echolocation, *Resonance* 10, 2005, s. 20-32.
[3] Ch. Dietz, O. Helversen, D. Nill, Nietoperze Europy i Afryki północno- zachodniej. Biologia, rozpoznawanie, zagrożenia, Warszawa 2009, s. 32-57.
[4] D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy Fizyki, tom 2, PWN, Warszawa 2006, s. 173-177.
[5] W.W.L Au, History of Dolphin Biosonar Research, *Acoustics Today* 11(4), 2015, s. 10-17.
[6] L. Thaler, Echolocation in people, *Physiology News* 126, 2022, s. 20-23.
[7] L. Thaler, M. A. Goodale, Echolocation in humans: an overview, Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science 7(6), 2016, s. 382-393.
[8] L. J. Norman, L. Thaler, Human Echolocation for Target Detection Is More Accurate With Emissions Containing Higher Spectral Frequencies, and This Is Explained by Echo Intensity, *i-Perception* 9(3), 2018, s. 1-18.
[9] M. Niewiarowicz, J. Czajka, Lokalizacja źródeł dźwięku. Podstawy teoretyczne oraz wyniki badań eksperymentalnych, *Postępy w Chirurgii Głowy i Szyi* 1, 2005, s. 25-42.
[10] M. Risoud i inni, Sound source localization, *European Annals of Otorhinolaryngology*, Head and Neck diseases 135, 2018, s. 259-264.
[11] R. de Vos, M. Hornikx, Acoustic Properties of Tongue Clicks used for Human Echolocation, *Acta Acustica United with Acustica* 103, 2017, s. 1106-1115.
[12] S. Brinkløv, M. B. Fenton, J. M. Ratcliffe, Echolocation in oilbirds and swiftlets, *Frontiers in Physiology* 4, 2013, 123, s.1-12.

eprasa.pl 7edcb48ebe

Słońce coraz bardziej „jasne jak słońce”

Fot. 1. Wnętrze detektora Borexino - tysiące czujników wypatrujących w podziemnym eksperymencie sygnałów ze Słońca. Źródło: Borexino Collaboration

Naukowcy przez 14 lat w ramach eksperymentu Borexino podglądali neutrina nadlatujące do nas ze Słońca i analizowali ich własności, aby lepiej zrozumieć, co się dzieje we wnętrzu naszej gwiazdy.

Prace nad projektem rozpoczęły się w 1996 r. Sam detektor zbierał dane w latach 2007-2021. Teraz uczestnicy eksperymentu kończą analizować dane i podsumowują działalność.

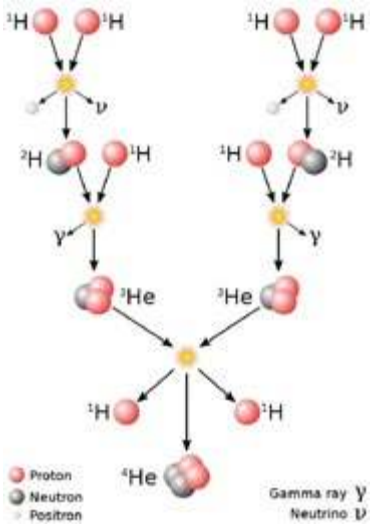
Co rozjaśnił nam ten niezwykły eksperyment – tłumaczy dla Nauki w Polsce prof. Marcin Wójcik, kierownik polskiej grupy fizyków z Uniwersytetu Jagiellońskiego, uczestniczącej w tym przedsięwzięciu.

Słoneczny kocioł

„Nie możemy zajrzeć do jądra Słońca stosując konwencjonalne metody astronomiczne – widzimy wtedy zaledwie powierzchnię gwiazdy we wszystkich zakresach promieniowania elektromagnetycznego. Tylko neutrina umożliwiają nam bezpośrednią obserwację kotła słonecznego, w którym generowana jest energia. A przecież to dzięki tej energii m.in. istnieje życie na Ziemi”

Fuzja dwóch fuzji

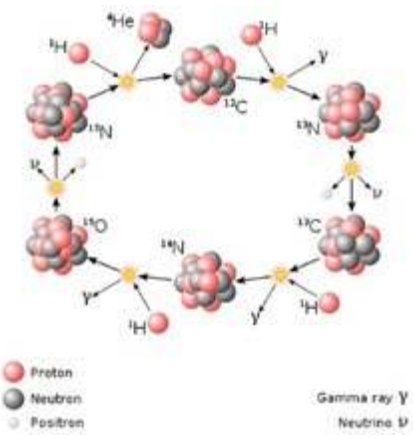
Energię Słońca zawdzięczamy zachodzącej tam fuzji jądrowej. W wyniku tej fuzji jądra najlżejszego pierwiastka – wodoru – łączą się, tworząc jądro cięższego pierwiastka – helu, przy okazji uwalniając cząstki niosące dużo energii. Taka fuzja jądrowa na Słońcu może zachodzić na dwa sposoby. Najważniejszy jest tzw. cykl PP (proton-proton), w którym produkowane jest 99 procent energii słonecznej. Szereg reakcji jądrowych, zapoczątkowanych fuzją dwóch protonów do deuteru, prowadzi tam do powstania stabilnego jądra helu.



Rys. Wikipedia

Drugim sposobem na fuzję jądrową (1 proc. energii Słońca) jest tzw. cykl CNO, gdzie powstanie helu jest możliwe przy obecności innych pierwiastków: węgla, azotu i tlenu, które odgrywają tam rolę katalizatora.

Borexino pozwoliło dokładnie poznać nie tylko działanie cyklu PP, ale po raz pierwszy zaobserwowało istnienie cyklu CNO. Cykl ten odgrywa ważną rolę w produkcji energii, zwłaszcza w większych gwiazdach.



Rys. Wikipedia

Neutrina już pachną inaczej

Kolejnym ważnym osiągnięciem Borexino było zbadanie w obszarze niskich energii (od kilkuset keV do kilkunastu MeV) tak zwanego zjawiska oscylacji neutrin, tj. przekształcania neutrin z jednego rodzaju (zapachu) w inny.

W ramach eksperymentu rejestrowano też tzw. geoneutrina – antyneutrina z wnętrza Ziemi. Pochodzą one z rozpadów promieniotwórczych izotopów (w łańcuchach 238U, 232Th oraz z rozpadu beta 40K).

Po co komu neutrina?

Fizyk z UJ tłumaczy, że neutrina są prawdopodobnie najbardziej powszechnymi cząstkami elementarnymi we Wszechświecie. Powstają podczas szeregu procesów, takich jak rozpady radioaktywne, fuzja jądrowa w centrach gwiazd lub w wyniku eksplozji supernowych. W każdej sekundzie miliardy neutrin słonecznych przenikają nasze ciało zupełnie niezauważone i niezakłócone. Bardzo rzadko jednak jakieś neutrino oddziałuje z materią.

Szansą na poznanie neutrin jest wyłapanie tych unikalnych zderzeń. A to można zrobić za sprawą bardzo czułych detektorów, dokładnie osłoniętych od promieniowania kosmicznego oraz od naturalnej promieniotwórczości.

Słońce pod ziemią

Dlatego detektor w eksperymencie Borexino umieszczony został we włoskim Laboratorium Podziemnym w Gran Sasso – w jednej z odnóg 10-kilometrowego tunelu autostrady biegnącej przez środek masywu górskiego Gran Sasso. Gruba warstwa skał, która detektor chroni, osłabia promieniowanie kosmiczne ponad milion razy.

Poza tym detektor BOREXINO miał cebulowaty kształt; jego kolejne warstwy – kierując się ku środkowi – coraz lepiej zabezpieczały wnętrze urządzenia przed promieniowaniem naturalnym (pochodzącym choćby ze skał).

Fot. 2. Model detektora Borexino. Kolejne warstwy detektora coraz lepiej chronią wnętrze przed promieniowaniem. Borexino Collaboration

W centrum detektora umieszczono prawie 300 ton tzw. ciekłego scyntylatora. Chodzi o substancje, w których pojawia się błysk światła, jeśli uderzy w nie cząstka o dużej energii – np. szybkie neutrino ze Słońca. Błyski te były wychwytywane przez superczułe sensory światła.

W detektorze zainstalowanych było ponad 2000 fotopowielaczy – które niczym najbystrzejsze oczy świata wpatrzone były we wnętrze detektora i poszukiwały tam najsubtelniejszych nawet rozbłysków światła.

Eksperyment więc – z punktu widzenia laika – był dość dziwny: w środku góry, w egipskich ciemnościach przez 14 lat wypatrywano błysków światła ze Słońca.

Ale ten szalony pomysł się powiódł. Prof. Wójcik podaje, że liczba neutrin słonecznych przenikających przez detektor Borexino w ciągu jednego dnia była rzędu tysiąca miliardów miliardów (10^21). Natomiast liczba rejestrowanych oddziaływań neutrin z detektorem w ciągu jednego dnia była rzędu 200, co już pozwalało dobrze je zbadać. Nauka w Polsce, Ludwika Tomala

eprasa.pl 7edcb48ebe

CREDO–Maze: promieniowanie kosmiczne – zapomniani odkrywcy

Foto – Dreamstime

Jak wiedzą wszyscy, a przynajmniej wszyscy, którym zdarzyło się przeczytać teksty o fizyce promieniowania kosmicznego zamieszczone w „Fizyce w Szkole" w numerach 67/2, 26 (2022) i 65/2, 46 (2020), za odkrywcę promieniowania kosmicznego uważa się Victora Franza Hessa, co niejako oficjalnie przyklepano nagrodą Nobla. Jeśli jednak zagłębić się w historię, okaże się, że sprawa wcale nie jest tak oczywista. W fizyce kwestia pierwszeństwa nie zawsze daje się ustalić ponad wszelką wątpliwość.

Tadeusz **Wibig**

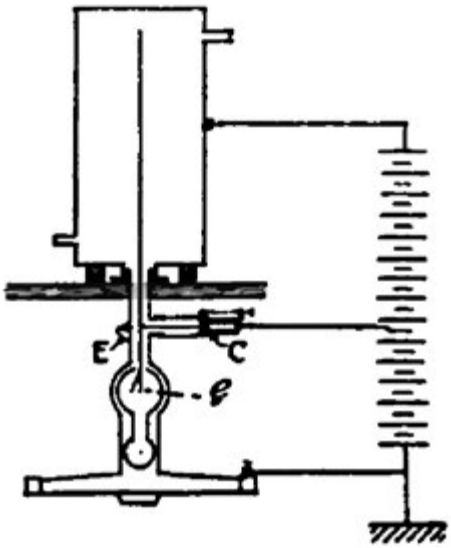
Problemy ważne i do rozwiązania niełatwe pojawiają się w fizyce stale. Można nawet powiedzieć, że istnieją w niej ciągle. Co jakiś czas niektóre z nich stają się w pewnym sensie modne i często wciągają w poszukiwanie odpowiedzi wielu naukowców z różnych miejsc, którzy niezależnie od siebie odpowiedzi poszukują.

I tak też było z pytaniem o naturę zjawiska pojawiania się w powietrzu nie wiadomo skąd jonów, cząsteczek elektrycznie naładowanych. Objawiało się to powolnym, acz konsekwentnie stałym odpływaniem ładunku ze wszystkiego, na czym udało się jakiś elektryczny ładunek zgromadzić.

Do pomiaru szybkości odpływu ładunku używano aparatury podobnej do tej jaką skonstruował na początkach XX wieku C. T. R. Wilson (ten od komory Wilsona, ale to było trochę później). Pokazana jest ona na rysunku. Składała się z komory o pojemności kilkudziesięciu litrów wypełnionej powietrzem. Wewnątrz niej znajduje się metalowy drut połączony elektrycznie ze złotymi listkami elektroskopu. Komora ma pojemność elektryczną 100 pF i połączona była z baterią utrzymującą precyzyjnie stałą różnicę potencjałów między ścianami komory i obudową elektroskopu.

Najciekawszym elementem konstrukcji Wilsona był kompensator. Był to w skrócie kondensator o zmiennej pojemności, którą można było łatwo i dokładnie mierzyć z geometrii płytek. Zasada działania była prosta: ładunek, który odpływał z obudowy komory do pręta kompensowany był przesuwaniem płytek kompensatora.

Poszukując przyczyny jonizacji powietrza zaczęto dokładniej badać przepływ prądu przez rozrzedzone gazy. Jako ciekawostkę możemy wspomnieć o zasłużonym, acz zapomnianym zupełnie brytyjskim aktuariuszu i fizyku



Urządzenie do pomiaru jonizacji powietrza C. T. R. Wilsona.

eprasa.pl 7edcb48ebe

amatorze Williamie Morganie, który badając jeszcze pod koniec XVIII wieku fluorescencję spowodowaną wyładowaniami w powietrzu mógł mieć do czynienia z jonizacją spowodowaną niewidzialnym promieniowaniem, o którym oczywiście wiedzieć nie mógł [W. Morgan, *Electrical experiments made in order to ascertain the non-conducting power of a perfect vacuum,* Phil. Trans. R. Soc. **75**, 272 (1785)], a które nazwane zostało ponad sto lat później przez ich odkrywcę promieniowaniem X [W. C. Röntgen, *On a New Kind of Rays*. Nature **53**, 274 (1896)].

Dziś znamy je jako promieniowanie Röntgena i wiemy, że rzeczywiście wywołuje ono jonizację w powietrzu. W połowie XIX wieku odkryto jeszcze promieniowanie katodowe i później kanalikowe. O promieniowaniu „N" wspomnimy nieco później. Od przełomu wieków epokowe odkrycia z dziedziny promieniotwórczości posypały się lawinowo zaczynając od Henri Bequerela, J. J. Thomsona, Ernesta Rutherforda i wreszcie nie można zapominać o naszej rodaczce, Marii Curie Skłodowskiej. Promieniowanie jako takie stało się modne.

W oczywisty sposób znikanie ładunku elektrycznego z elektroskopu łączono z jakimś rodzajem promieniowania, które jonizowało powietrze, czyniąc je do pewnego stopnia przewodzącym, przewodzącym tym bardziej, im więcej i im szybciej tworzyły się w nim jony. Wiadomo było, że w ziemi znajdują się zasadniczo wszystkie pierwiastki z tablicy Mendelejewa, a więc także i te, o których właśnie dowiedziano się, że spontanicznie, same z siebie emitują promieniowanie jonizujące. Było to najprostsze i zupełnie oczywiste wytłumaczenie tajemniczego zjawiska odpływu ładunków i właściwie można by się nim zadowolić, choć miało ono swoje wady, o których powiemy za chwilę.

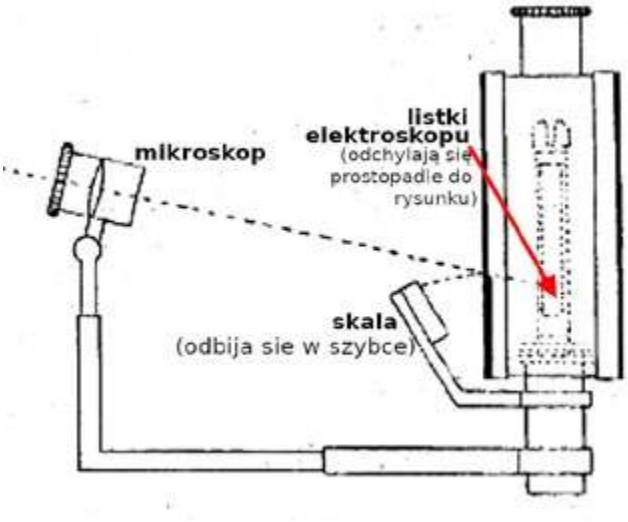
Aby pozbyć się tych wad, zaczęto poszukiwać bardziej egzotycznych wyjaśnień. Zaproponowano, że może źródła promieniowania jonizującego znajdują się poza Ziemią. Wiadomo już było, że w zasadzie Wszechświat składa się z tych samych pierwiastków co i Ziemia. Wśród nich muszą być i pierwiastki promieniotwórcze. Takie na przykład Słońce może spokojnie wysyłać do nas nie tylko światło i ciepło (czyli w sumie też promieniowanie – elektromagnetyczne), ale i promieniowanie alfa, beta i gamma, a może „X", albo jakieś inne, póki co nieznane jeszcze. Może wytłumaczenie to nie było najbardziej przekonujące, ale nie można mu było a priori odmówić fizycznego sensu, a na pewno było bardzo intrygujące. Własności dopiero co odkrytego promieniowania jądrowego nie były znane w szczegółach, a to zostawiało spory margines na różne domysły.

Nasze przypomnienia zapomnianych odkrywców promieniowania kosmicznego zacznijmy od pary kolegów od dziecka, którzy, gdy dorośli, ciągle wspólnie działali odnosząc w fizyce spore sukcesy: Elsterze i Geitelu.

Julius Johann Philipp Ludwig Elster, Hans Friedrich Karl Geitel

Elster był o pół roku starszy od Geitel'a. Obaj mieszkali w sąsiedztwie w małym miasteczku Blankenburg w Hartzu. Chodzili do tej samej szkoły, do tej samej klasy. Obaj okazywali zainteresowanie naukami ścisłymi, a fizyką w szczególności zabawiając się przeprowadzaniem doświadczeń na całkiem wysokim naukowym poziomie. Po zakończeniu szkoły obaj zaczęli studiować fizykę i matematykę na Uniwersytecie w Heidelbergu. Po trzecim semestrze przenieśli się obaj na Uniwersytet w Berlinie, gdzie studiowali u Kirchhoffa, von Helmholtza, czy Weierstraßa.

Po studiach ich losy na krótko rozdzieliły się, Elster wrócił do Heidelbergu zrobił doktorat u Quincke'go, a Geitel do domu matki do Braunschweigu i zaczął starania o posadę nauczyciela. Po roku pracy w Martino-Katharineum został przeniesiony do Gymnasium Große Schule do Wolfenbüttel. W tym czasie Elster obronił doktorat i także zaczął się rozglądać za pracą w szkolnictwie. I jak w powieści trafił w końcu do Große Schule w Wolfenbüttel



Elektroskop skonstruowany przez Elstera i Geitela

eprasa.pl 7edcb48ebe

i obaj pozostali tam do końca życia, mimo iż podobno składano im ciekawe uniwersyteckie propozycje z Berlina i Wrocławia (!).

Podsumowując całe ich naukowe życie w Wolfenbüttel daje się zauważyć, że Elster był utalentowanym i błyskotliwym eksperymentatorem, podczas gdy Geitel był od myślenia, to znaczy, że był raczej teoretykiem. Tym samym stanowili oni idealną parę mogąca dokonać rzeczy wielkich w nauce. Może nie takich „noblowskich", ale zapisali się na stałe w annałach fizyki, a na pewno fizyki elektryczności atmosferycznej. Napisali wspólnie pond 200 artykułów naukowych. Byli dwunastokrotnie nominowali (acz bezskutecznie) do nagrody Nobla nie tylko za osiągnięcia w badaniu elektryczności atmosferycznej ale także i za studia nad radioaktywnością.

Badając powstawanie ładunków w powietrzu stwierdzili w wyrafinowanym eksperymencie, że najpewniej z ziemi do atmosfery dyfunduje radioaktywny gaz [Geitel, H. *Über die durch atmosphärische Luft induzierte Radioaktivität*, Phys. Zeit., **3**, 76, (1901)]. W 1900 roku Friedrich Ernst Dorn odkrył gaz, który nazwał wtedy *emanacją*. Cztery lata później Rutherford dodał do niej jedno słowo i zaproponował nazwę *emanacje radowe*. W roku 1923 International Committee on Chemical Elements ostatecznie ustalił, że to *radon*. Radon rodzi się w ziemi w łańcuchu rozpadów uranu. Jako gaz szlachetny nie wiąże się zasadniczo z niczym i powoli wznosi się, jeśli może, na powierzchnię i miesza się z dolnymi warstwami atmosfery. Koncepcja pochodzenia czynnika jonizującego z ziemi zyskała solidne poparcie.

Karl Wilhelm Franz Linke

O ile Elster i Geitel nie ruszali się generalnie ze swojej Große Schule, o tyle Karl Wilhelm Franz Linke pierwszy ambitny aeronauta, geofizyki i meteorolog, a potencjalnie też badacz promieniowania kosmicznego dokonał od września 1900 roku do sierpnia 1903 tuzina lotów balonowych mierząc szybkość upływu ładunku elektroskopem typu Elstera-Geitela. Wyniki zawarł w pracy *Luftelektrische Messungen bei 12 Ballonflügen* [Abhandlungen der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Band III Weidmannsche Buchhandlung, Berlin (1904)] i swojej pracy doktorskiej *Messungen elektrischer Potentialdifferenzen vermittels Kollektoren im Ballon und auf der Erde*.

Konkludując stwierdził, że porównując pomiary na ziemi z pomiarami na wysokościach od 1 do 3 km stwierdzić należy, że tempo jonizacji nie zmienia się zasadniczo, za to na wysokości 5500 m jest już około 4 razy większe. Jednak ze względu na niedokładność pomiarów nie można stwierdzić, że tak jest naprawdę, tak na 100%. W rezultacie prace Linkego są dziś raczej zapomniane, podobnie jak i on sam.

John Cunningham McLennan

Za oceanem także próbowano się zmierzyć z czynnikiem jonizującym powietrze. Sir John Cunningham McLennan z Uniwersytetu w Toronto w 1907 roku używając elektroskopu Wilsona mierzył powstawanie jonów

5	May	Montreal	34
6	"	"	26
14	"	Ocean, lat. 50°, long. 45°	21
15	"	" " 52° " 38°	64
16	"	" " 54° " 30°	41
1	July	Hornsea, E. Yorkshire Coast	28
2	"	" " "	80
15	"	" " "	53
20	"	" " "	60
22	"	" " "	48
22	Aug.	Seascale, W. Coast, Cumberland	30
24	"	" " "	270

Wyniki pomiarów radioaktywności powietrza podczas rejsu po Atlantyku Eve'go.

w powietrzu w pojemnikach wykonanych z różnych materiałów, które to badania kontynuował później Charles Seymour Wright. W 1908 roku przedstawił on pracę o zmienności przewodności elektrycznej powietrza [C.S. Wright, *On Variations In the Conductivity of Air Enclosed In Metallic Receivers*. Toronto, University Library (1908)], w której przedstawił bardzo szczegółowy opis swoich aparatury, metody i rezultatów przeróżnych pomiarów. Najważniejsze z naszego punktu widzenia był ten z nich, który pokazywał, że nad lądem stałym jonów w powietrzu tworzy się z grubsza dwa razy więcej (~15 w cm^3 na sekundę) niż nad wodami jeziora Ontario (~7/cm^3/sek.). Wynik ten interpretował jako efekt mniejszej zawartości pierwiastków radioaktywnych w wodzie.

Arthur Stewart Eve

Inny zapomniany fizyk Arthur Stewart Eve był Anglikiem. Skończył Cambridge i przez sześć lat uczył w Marlborough College, w Marlborough oczywiście, a potem wsiadł na statek *Ivernia* i popłynął do Nowego Jorku. Profesorem został w Kanadzie na Uniwersytecie McGilla w Montrealu, gdzie współpracował między innymi z Ernestem Rutherfordem.

Zdarzyło mu się pewnego razu płynąć statkiem z Montrealu do Liverpoolu. Podczas podróży co jakiś czas mierzył ilość czynnika jonizującego (emanacji radowych, jak to się wtedy nazywało) w powietrzu. Wyniki te pokazuje tabelka zaczerpnięta bezpośrednio z jego pracy [A. S. Eve, *Some problems on radioactivity,* Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, **14**(1), 25 (1909)].

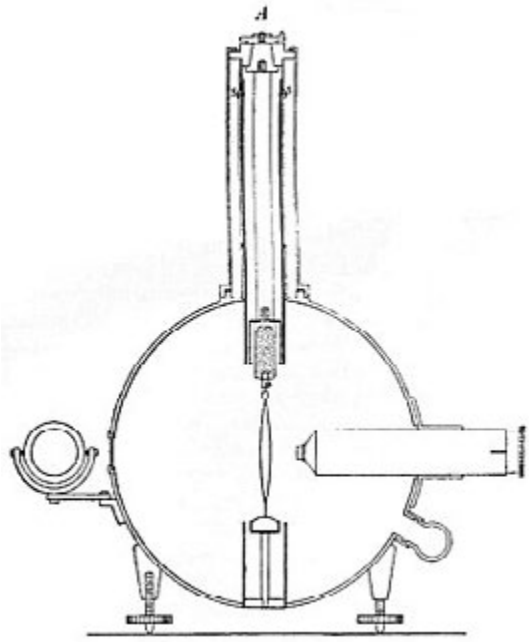
Jak widać nad lądem i nad morzem jonizacji jest z grubsza tyle samo, co, jeśli wziąć pod uwagę precyzję tych pomiarów, nie jest bardzo zaskakujące.

Theodor Wulf

Kolejnym badaczem zjawiska promieniowania jonizującego powietrze, o którym powiedzieć należy koniecznie jest urodzony w 1868 roku Theodor Wulf. Był księdzem. Został wyświęcony na księdza jezuitę w wieku lat 20, a potem rozpoczął studia na Uniwersytecie w Getyndze. Przez kilka lat, oprócz pracy eksperymentalnej, nauczał fizyki na Uniwersytecie Jezuickim w Valkenburgu.

Nie jest on tak zupełnie zapomniany. Pamięta się o nim jako o konstruktorze pomysłowego, dziś powiedzielibyśmy, że nawet innowacyjnego, przenośnego i bardzo

eprasa.pl 7edcb48ebe



Elektroskop Ojca Wulfa (1909).

dokładnego elektroskopu wykorzystywanego później i przez innych, a w tym przez Victora Hessa w jego lotach balonowych dzięki któremu odkrył on to, co odkrył, ale o tym za chwilę. Zapomina się za to niemal zupełnie o pomiarach ojca Wulfa i interesujących, daleko idących, acz w sumie błędnych, jak się później okazało, wnioskach z jego eksperymentów.

Najsłynniejsza jego fizyczna ekspedycja odbyła się w okolicy Wielkiej Nocy 1910 roku w Paryżu. Wspiął się on ze swoim elektroskopem na wieżę Eiffela (300 m ponad ziemię) i … nie udało mu się zaobserwować niczego szczególnego. Wyniki pokazuje tabelka zaczerpnięta z jego pracy [T. Wulf. *Beobachtungen über die Strahlung hoher Durchdringungsfähigkeit auf dem Eiffelturm.* Phys. Zeit. **11**, 811, (1910)].

Może i na szczycie wierzy Eiffela czynnika jonizującego jest odrobinę mniej, ale nie na tyle, na ile się tego spodziewano. Jeśli czynnikiem tym byłoby promieniowanie gamma podobne do tego, jakie badano w laboratoriach studiujących radioaktywność uranu i toru, to powinno zmaleć mniej więcej o połowę po przebyciu w powietrzu 80 metrów. Obserwację Ojca Wulfa tłumaczono obecnością pierwiastków promieniotwórczych w elementach konstrukcyjnych wieży i tłumaczenie to zaakceptowali

Datum	Ort	Ionen / ccm sec
28. März	Valkenburg	22,5
29. „	Paris, Boden	17,5
30. „	„ Eiffelturm	16,2
31. „	„ „	14,4
1. April	„ „	15,0
2. „	„ „	17,2
3. „	„ Boden	18,3
4. „	Valkenburg	22,0

Wyniki otrzymane przez Ojca Wulfa z pomiarów w Paryżu.

wszyscy zgadzając się z Rutherfordem, który już w 1903 roku zauważył, że zgodnie z jego własnymi pomiarami promieniowanie przenikliwe pochodzi też z glinianych cegieł z jakich zbudowane są budynki i laboratoria [E. Rutherford, *Radio-activity of Ordinary Materials,* Nature **67**, 511 (1903)], a więc może zatem i z żelaza, z jakiego Eiffel postawił swoją wieżę.

Poza wspinaniem się na wieżę Eiffela Ojciec Wulf wspinał się też na wysokie góry w okolicy Zermatt w Szwajcarii, ale i schodził pod wysokie góry do tuneli i opuszczał się do jaskiń Han-sur-Lesse w Belgii i do kopalni kredy z Maastrichter położonej opodal jego uczelni w Valkenburgu.

I tam właśnie uzyskał bardzo ciekawe wyniki. Sam pomiar przebiegał tak, że ładowano początkowo elektroskop, a potem sprawdzono, o ile spadnie jego potencjał po godzinie. Następnie wnoszono go pod ziemię na głębokość 15 metrów i tam ponownie mierzono szybkość spadku potencjału. Jako trzecią fazę każdego pomiaru, sprawdzano znów przez godzinę, o ile potencjał spadnie po wyniesieniu elektroskopu ponowne na powierzchnię.

Wyniki prezentuje tabelka. W ostatniej kolumnie podana jest procentowa różnica między pomiarem pod ziemią i na powierzchni.

dzień	czas trwania pomiaru	zmniejszenie potencjału			różnica (w %)
		przed pomiarem	pod ziemią	po pomiarze	
31 X	1 1/3	17.3	9.9	18.6	42
6 XI	1	15.4	9.0	14.2	40
14 XI	5 1/2	13.5	8.3	15.3	40

Oczywiście skłonni bylibyśmy dziś uznać to za dowód, że promieniowanie kosmiczne przychodzi do nas z góry i warstwy ziemi zwyczajnie je osłabiają, ale Ojciec Wulf podążając jednak w głównym nurcie myśli rutherfordowskiej uznał, że pokłady kredy nie zawierają pierwiastków radioaktywnych, a tym samym powietrze w kopalni kredy jest słabiej jonizowane. Wynik ten zgadzał się z obserwacjami Elstera i Geitela, którzy zauważyli podobny efekt w kopalni soli. W ich przypadku spadek szybkości zmniejszania się potencjału elektroskopu wynosił jedynie 28%, ale tym nie mniej był zauważalny. Inny eksperyment Ojca Wulfa, który polegał na umieszczeniu elektroskopu w basenie pod metrową warstwą wody, wykazał interesujący, acz niewielki spadek jonizacji. Zapewne także z powodów czysto technicznych Ojciec Wulf nie poszedł tym tropem, a szkoda.

W sumie jego poszukiwania źródła jonizacji najlepiej podsumowuje kilka zdań z jego pracy z 1909 roku: „*Przedstawione wyniki eksperymentów dowodzą, że źródłem promieniowania przenikliwego są substancje radioaktywne, które znajdują się w górnych warstwach gleby do głębokości około 1 m. Jeśli jakaś część promieniowania przychodzi z atmosfery, musi być tak mała, że nie można jej wykryć za pomocą obecnej aparatury*” [T. Wulf, *Über die in der Atmosphäre vorhandene Strahlung von hoher Durchdringungsfähigkeit,* Phys. Zeit. **1**, 152 (1909)]

eprasa.pl 7edcb48ebe

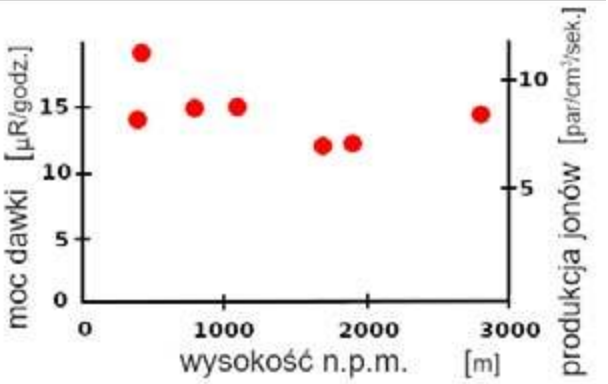
Albert Gockel

Skoro wspomnieliśmy o pomiarach Ojca Wulfa w kopalni, możemy przejść do dokonań kolejnego, nieco bardziej chyba zapomnianego szwajcarskiego fizyka studiującego pochodzenie czynnika jonizującego na Uniwersytecie we Freiburgu: Alberta Gockela, kolegi Wulfa. Razem z nim wnieśli elektroskop jezuity do tunelu Simplon między Włochami a Szwajcarią. Stopień jonizacji powietrza, jaki w nim zmierzyli, okazał się być większy niż na powierzchni, co można jednak było łatwo wytłumaczyć, po rutherfordowsku innym składem otaczających tunel skał.

Działania podziemne nie przyniosły rozstrzygnięcia, więc Gockel ciągle jeszcze razem z Wulfem poszli w góry i mierzyli czynnik jonizujący na różnych wysokościach nad poziomem morza: we Fryburgu (650 m n.p.m.), w Brig (680 m n.p.m.), w Zermatt (1650 m n.p.m.), Schwarzsee (2600 m) i Hörnli (ponad 3000 m) i stwierdzili, że „*nie udało się wykazać wpływu wysokości nad poziomem morza na jonizację powietrza. Na tej podstawie możemy wyciągnąć wniosek, że* ***promieniowanie kosmiczne*** *(daß eine kosmische Strahlung), jeśli w ogóle istnieje, stanowi tylko nieznaczną część promieniowania przenikliwego. Z drugiej strony - i to odkrycie zgadza się z wynikami Mc Lennana i innych - promieniowanie przenikliwe emanuje z ziemi.*" [A. Gockel i Th. Wulf, *Beobachtungen über die Radioaktivität der Atmosphäre im Hochgebirge*, Phys. Zeit. **9**, 908, (1908)].

Trzeba stwierdzić, że wyniki jego wysokogórskich wycieczek nie były tymi działaniami, które przyniosły mu największe naukowe uznanie. Warto jednak zauważyć, że Gockel i Wulf użyli nazwy „promieniowanie kosmiczne" być może po raz pierwszy, a na pewno 18 lat wcześniej, niż wprowadził je do fizyki na stałe Millikan („The birth cries of atoms being born in interstellar space") [*The Origin f the Cosmic Rays,* R.A. Millikan, G.H. Cameron, Phys. Rev. Letters **32**, 533 (1928)]

Gockel zabrał elektroskop Wulfa wyżej jeszcze w tym samym roku na kilka lotów balonem udostępnionym mu przez Aeroklub Szwajcarski. Po pierwszym locie stwierdził, że wyniki pomiarów nie wykazują zmniejszenia intensywności jonizacji z wysokością, czego należało oczekiwać [A. Gockel, *Luftelektrische Beobachtungen bei einer Ballonfahrt*, Phys. Zeit. **11**, 280 (1910)]. Ale Gockel był ambitny i w tym samym jeszcze roku opublikował wnioski różniące się zasadniczo: „ *Aby zbadać, jak intensywność tego promieniowania zmienia się z wysokością, zmierzyłem jego intensywność podczas dwóch lotów balonem. Wynik był taki, że nawet na wysokości 4500 m spadek promieniowania jest bardzo niewielki. [...] Promieniowanie to musi zatem częściowo pochodzić albo z atmosfery, albo z gwiazdy znajdującej się poza Ziemią"* [A. Gockel, *Luftelektrische Messungen bei einer Ballonfahrt*, Bull. Soc. Frib. Sc. Nat., **19**, 20 (1911)]. Gockel nie użył tym razem nazwy *promieniowanie kosmiczne*. Na wszelki wypadek, z ostrożności zapewne, wszak nierozsądnym było tak bardzo nie zgadzać się z Rutherfordem, wyraził pewne wątpliwości, co do niezawodności swoich instrumentów. Wyniki Gockela, jakie pokazujemy na rysunku, pozwalają myśleć o nim jako o „*o-mało-co*" odkrywcy promieniowania kosmicznego.



Zmierzone wartości z pierwszego lotu balonem Gockela w 1910 r.

Karl Friedrich August Bergwitz

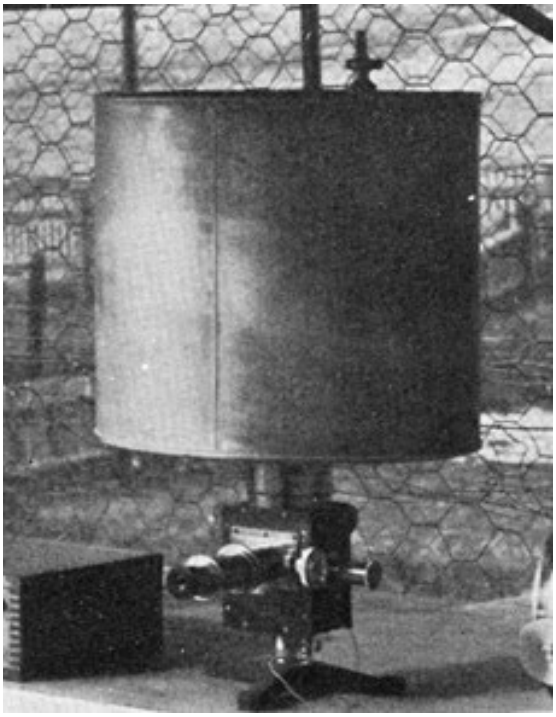
Rezultaty te należało oczywiście zweryfikować i albo odrzucić je, albo zmienić ogólny pogląd na źródła jonizacji powietrza. I tu jest miejsce na kolejnego niemal zapomnianego fizyka aeronautę. Karl Friedrich August Bergwitz urodził się w 1875 roku i po skończeniu szkoły podstawowej rozpoczął naukę w książęcym gimnazjum Große Schule. Tutaj został uczniem wspomnianych już wcześniej Elstera i Geitela. Nie jest żadnym zaskoczeniem, że mając takich nauczycieli Bergwitz też postanowił zostać nie tylko fizykiem, ale nawet nauczycielem fizyki, najlepiej oczywiście w Große Schule.

Po obronie doktoratu Bergwitz udał się do Darmstadt, gdzie udało mu się zdobyć stanowisko asystenta w Instytucie Fizyki. Wytrwał na tej posadzie zaledwie sześć miesięcy. Zrezygnował, by objąć tymczasowe stanowisko asystenta nauczyciela. Gdzie? Oczywiście w Große Schule w Wolfenbüttel. Ale ktoś chyba nie bardzo lubił Bergwitza, bo mimo prób Elstera i Geitela nie udało zamienić etatu Bergwitza z tymczasowego asystenta na prawdziwego nauczyciela. Bergwitz po kolejnych kilku miesiącach został przeniesiony z powrotem do gimnazjum w Gandersheim, a dwa lata później Oberschulrat Wernicke, stary przyjaciel Elstera i Geitela znalazł mu posadę nauczyciela do Oberrealschule w Brunszwiku, o 10 minut podróży od Wolfenbüttel, czyli całkiem blisko jego naukowych idoli Elstera i Geitela. Praca naukowa Karla Bergwitza była oczywiście kontynuacją ich działań. Zaczął od podstaw.

W swojej pierwszej pracy opublikowanej w Physikalische Zeitschrift przedstawił raport z pomiarów przewodności powietrza. Później począł w bardziej szczegółowy sposób analizować źródła promieniowania jonizującego powietrze. Obowiązująca, rutherfordowska teoria mówiąca, że pochodzi ono zasadniczo z pierwiastków promieniotwórczych zawartych w ziemi, zaczynała budzić jego wątpliwości. Jeśli promieniowanie jonizujące jest wyłącznie pochodzenia ziemskiego, efekt promieniowania musiałby i nie ma na to siły, zmniejszać się wraz z odległością od powierzchni ziemi.

Bergwitz poszedł tropem Wulfa i Gockela, pierwszy pomiar wykonał na wieży kościoła św. Andrzeja, ale było to raczej niewysoko. Idąc dalej, a właściwie wyżej, późnym latem 1908 roku podjął próbę wzniesienia się nad

eprasa.pl 7edcb48ebe



Aparatura jonizacyjna używana przez Bergwitza.

ziemię w balonie Braunschweig II. Osiągnął wysokość 2 km. Do rejestracji warunków promieniowania wykorzystał specjalnie skonstruowaną aparaturę wyprodukowaną przez firmę Günther & Tegetmeyer (z Braunschweigu). Wyposażona była ona w dużą komorę jonizacyjną, jak pokazuje to fotografia. Na wysokości 1300 m czynnik jonizujący zmalał o 24% i na tym pomiary się zakończyły. Okazało się, że cienkie ścianki hermetycznej komory wyginają się przy zmianie ciśnienia (czyli wysokości), a to spowodowało, że uzyskane pomiary nie mogły przynieść spodziewanych, jednoznacznych wyników.

Bergwitz upublicznił swoje wyniki dopiero w roku 1910 w rocznych raportach Braunschweiger Verein für Naturwissenschaft. Nieznany z nazwiska starszy kolega stanowczo odradził mu publikację tych wyników w poważnym czasopiśmie wskazując na ewentualną możliwość utraty reputacji naukowej. I tak Bergwitz kontynuował swoje pomiary. Opublikował wszystko dopiero w 1913 roku, kiedy było już „po herbacie" [K. Bergwitz, *On the γ radiation from Earth*. Naturwiss. **3**, 388 (1915)]. Jak wiemy w 1912 roku Austriak Viktor F. Hess, z którym Bergwitz był w osobistym kontakcie, wyeliminował źródła błędów i niedoskonałości przedsięwzięcia Bergwitza, odbył własny lot balonem na dużej wysokości i udało mu się udowodnić, że promieniowanie jonizujące wzrasta wraz z wysokością i za to osiągnięcie otrzymał później Nagrodę Nobla. A Bergwitz? Bergwitz został odznaczony Orderem Zasługi Republiki Federalnej Niemiec w 1955 roku. Jednak ktoś o nim jeszcze pamiętał.

Zanim jednak doszło do lotów Hessa promieniowanie kosmiczne odkryte zostało, jak twierdzą niektórzy, głównie Włosi, ale nie tylko, przez fizyka, o którym dziś prawie nikt o nim nie pamięta, a i wtedy, gdy prezentował światu swoje wyniki, świat nie przejął się specjalnie udając, że go właściwie w ogóle nie ma. Dlaczego? To już historia nie mająca z fizyką wiele wspólnego [P. Carlson, A. De Angelis, *Nationalism and internationalism in science: the case of the discovery of cosmic rays.* EPJ H **35**, 309 (2011)].

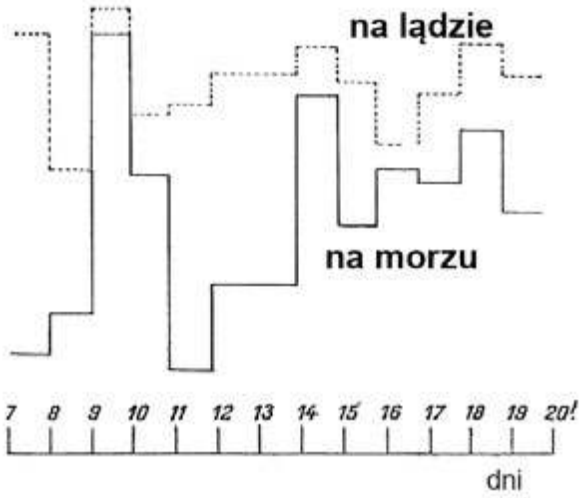
Domenico Pacini

W roku 1878 w miasteczku Marino opodal Rzymu urodził się Domenico Pacini. Na początku XX wieku ukończył studia fizyczne na Uniwersytecie Rzymie, gdzie przez kolejne trzy lata pracował jako młodszy asystent badając przewodnictwo elektryczne w gazach. W 1904 roku postanowił zająć się systematycznie badaniem (nie)sławnych promieni „N". Promienie „N" odkrył Renè Blondlot zaledwie rok wcześniej na Uniwersytecie w Nancy – stąd ich nazwa. Miały bardzo dziwne własności. Najważniejszą z nich była ta, że ich w ogóle nie ma.

Pacini w serii wykonanych przez siebie eksperymentów też stwierdził to samo i napisał o tym w liście do *Nature*. Rok później otrzymał posadę asystenta w *Regio Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica* (Centralne Biuro Meteorologii i Geodynamiki) i zaczął pracować tam nad zagadnieniami elektryczności atmosferycznej. Od roku 1906 prowadził pomiary jonizacji na górskich szczytach, nad brzegiem morza, a nawet na morzu.

W roku 1910 dokonał jednoczesnego pomiaru tempa jonizacji na wybrzeżu i na niszczycielu *Fulmine* na wodach Zatoki Genueńskiej w odległości kilku kilometrów od brzegu i zauważył w wynikach zaskakującą korelację. Wyniki te pokazuje rysunek i choć nie są znane jednostki na osi intensywności, korelacja wydaje się zdecydowanie statystycznie istotna. Podsumowując to Pacini stwierdził, że wynik ten jest w oczywisty sposób sprzeczny z założeniem, że promieniowanie jonizujące ma swoje źródło w powierzchniowych warstwach ziemi.

Najważniejszych jednak pomiarów dokonał Pacini w czerwcu 1911 roku przy nabrzeżu Akademii Marynarki Wojennej w Livorno. Postanowił sprawdzić, jak zmienia się tempo jonizacji, jeśli zanurzać się w wodzie. Skonstruował specjalny wodoszczelny pojemnik, w którym zamknął elektroskop Wulfa i opuścił go pod wodę. Ukazało się, że na głębokości 3 metrów pod powierzchnią tempo jonizacji jest mniejsze o mniej więcej 20% niż na powierzchni:



Wyniki jonizacji powietrza na morzu i na lądzie otrzymane przez Paciniego w 1910 roku.

eprasa.pl 7edcb48ebe

Domenico Pacini dokonuje pomiarów w 1910 roku.

11 jonów/cm^3/sec na powierzchni i 8.9 jonów/cm^3/sec pod powierzchnią. Potwierdził ten wynik kilka miesięcy później w jeziorze Bracciano: 12.4 jonów/cm^3/sec na brzegu i 10.2 jonów/cm^3/sec na głębokości 3 m 300 metrów od brzegu, gdzie głębokość jeziora wynosiła 7 metrów.

Pacini opisał swoje pomiary, wyniki i ich interpretację w notatce zatytułowanej P*enetrujące promieniowanie na powierzchni i w wodzie* [D. Pacini, *La radiazione penetrante alla superficie ed in seno alle acque*, Nuovo Cim., **VI/3**, 93 (1912)] i zrobił to po włosku, co może miało swoje znaczenie. W ostatnim zdaniu napisał tam, że *„istnieje znacząca przyczyna jonizacji w atmosferze, która pochodzi od promieniowania przenikliwego i jest niezależna od bezpośredniego działania substancji radioaktywnych w glebie”*.

Po latach z korespondencji Paciniego z Hessem dowiedzieć się możemy kilku bardzo ciekawych szczegółów.

6 marca 1920 Pacini napisał do Hessa:

*„...miałem okazję przestudiować niektóre z Pana artykułów na temat zjawisk elektryczno-atmosferycznych, które przedłożył Pan Głównemu Dyrektorowi Centralnego Biura Meteorologii i Geodynamiki. O niektórych z tych prac wiedziałem już ze streszczeń, które zostały mi przekazane podczas wojny, ale artykuł Problem przenikliwego promieniowania pochodzenia pozaziemskiego [V. Hess, Die Frage der durchdringenden Strahlung ausserterrestrischen Ursprunges, Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse w Wiedniu **59**, 23 (1919)] był mi nieznany. Chociaż muszę pogratulować jasności w wyjaśnieniu tej ważnej kwestii, to muszę też niestety zauważyć, że brakuje mi w niej stwierdzenia pierwszeństwa pomiarów i obserwacji włoskich. Dotyczy to też wniosków, jakie Pan, Gockel i Kolhörster wyciągnęliście. Bardzo mi z tego powodu przykro, ponieważ w moich własnych publikacjach nigdy nie zapomniałem nikogo wspomnieć i zacytować...”*

Odpowiedź Hessa, datowana na 17 marca 1920 roku, brzmiała:

„Drogi Panie Profesorze, Pański bardzo cenny list z 6 marca był dla mnie szczególnie cenny, ponieważ dał mi możliwość odnowienia naszych kontaktów, które niestety zostały zerwane podczas wojny. Wprawdzie mógłbym skontaktować się z Panem wcześniej, ale niestety nie znałem Pańskiego adresu. Mój krótki artykuł Die Frage der durchdringenden Strahlung ausserterrestrischen Ursprunges jest raportem z konferencji i z tego powodu nie pretenduje do raportu kompletnego. Ponieważ prezentuje on pierwsze pomiary balonowe, nie przedstawiłem w nim głębszego wyjaśnienia Pańskich pomiarów morskich, które są mi dobrze znane. Dlatego proszę o wybaczenie mi mojego nieuprzejmego ich pominięcia, co naprawdę nie było moim zamierzeniem...”

W dniu 12 kwietnia 1920 r. Pacini z kolei odpowiedział Hessowi:

„...to, co mówi Pan o pomiarach promieniowania przenikliwego wykonanych na balonie jest całkowicie słuszne i poprawne, jednakże w artykule Die Frage der durchdringenden Strahlung ausserterrestrischen Ursprunges sporo miejsca poświęcono pomiarom tłumienia tego promieniowania wykonanym przed lotami balonowymi i cytowanych jest tam kilku autorów, jednakowoż ja nie widzę żadnego odniesienia do moich pomiarów w analizowanych kwestiach wykonanych pod wodą w morzu i w jeziorze Bracciano, które doprowadziły mnie do tych samych wniosków, które później potwierdziły loty balonowe”.

Wreszcie, 20 maja 1920 r., Hess odpowiedział Paciniemu:

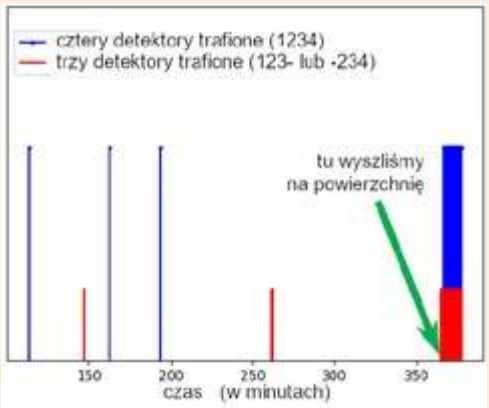
„Wracając do Pańskiej publikacji w Nuovo Cimento, z lutego 1912, jestem gotów przyznać, że z pewnością należy się Panu pierwszeństwo, jeśli chodzi o stwierdzenie, że istnieje promieniowanie pozaziemskie prowadzące do tworzenia na poziomie morza 2 jonów/cm^3 na sekundę. Jednakże, wykazanie istnienia nowego źródła promieniowania przenikliwego przychodzącego z góry pochodzi z mojego lotu balonem na wysokość 5000 metrów w dniu 7 sierpnia 1919 roku, w którym odkryłem ogromny wzrost promieniowania powyżej 3000 metrów”.

Pacini zmarł w 1934 roku, dwa lata później Hess otrzymał nagrodę Nobla.

Tadeusz Wibig
Katedra Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Łódzkiego

W ramach projektu CREDO-Maze „Kosmos widziany z Łodzi”, udaliśmy się z naszą aparaturą w geometrii teleskopu pod ziemię. Zmierzyliśmy, jak wiele mionów przebija się na głębokość ~300 metrów i stwierdziliśmy, że, zgodnie z przewidywaniami, jest ich bardzo mało. Wyniki naszych pomiarów pokazuje rysunek. Każdy słupek to jeden przypadek potrójnej (czerwony) i poczwórnej (niebieski) koincydencji. Ich wielkie skupienie po prawej stronie to wynik wyjścia z teleskopem na powierzchnię.

Jak widać mamy najlepszy, niepodważalny dowód na to, że promieniowanie kosmiczne przychodzi do nas z góry.



eprasa.pl 7edcb48ebe

Foto – Adobe Stock

Przez szczeliny do świata kwantów

Interferencja, odkryta przez Thomasa Younga, zwanego „Ostatnim człowiekiem, który wiedział wszystko", jest zjawiskiem zajmującym w fizyce wyjątkowe miejsce. Pozwala bowiem na badanie przyrody w skali kosmicznej, ale również w skali kwantowej, czym przy użyciu siatki dyfrakcyjnej, można się zajmować, nawet w domowych warunkach co postaram się udowodnić.

Cyprian **Sobczak**

Wstęp

Richard Feynman stwierdził kiedyś, że całą mechanikę kwantową można wytłumaczyć na przykładzie eksperymentu z dwiema szczelinami. Choć przepełnia mnie zachwyt dla tego wspaniałego zjawiska, przyroda ma jeszcze kilka królików w kapeluszu, które wykraczają ponadto stwierdzenie. Niemniej jednak z pewnością eksperyment z dwiema szczelinami, po pewnym udoskonaleniu, jest sposobem na dostrzeżenie efektów opisywanych przez teorię kwantową w bezpośredni sposób. Niektóre z doświadczeń ujawniających kwanty są na tyle proste, że można je przeprowadzić w domu przy pomocy dość prostego urządzenia, jakim jest siatka dyfrakcyjna, co niebawem przedstawię. Aby tego dokonać, muszę przypomnieć o kilku rzeczach, które miałem przyjemność opisać w artykule [1].

Dziedzictwo Younga

Eksperyment z dwiema szczelinami został przeprowadzony przez Thomasa Younga w roku 1802 (zaledwie rok po odkryciu przez Younga interferencji fal na wodzie) i polegał on na przepuszczeniu światła świecy przez otwór w kartce papieru. Zabieg taki powodował, że w dużej mierze światło przechodzące przez otwór stawało się spójne, tzn. podążało mniej więcej z jednego kierunku (zgodnie z zasadą Huygensa, pojedynczy otwór stawał się źródłem fali kulistej). Następnie światło przechodziło przez dwa znajdujące się blisko siebie otwory umieszczone na kolejnej kartce i trafiało na ekran znajdujący się dalej. Zachodziło na nim, zdumiewające zjawisko. Obraz powstały na ekranie, przedstawiał jasne i ciemne paski rozmieszczone naprzemiennie.

Szczeliny były dwie, więc można by się spodziewać dwóch oświetlonych obszarów. Takiego efektu oczekiwalibyśmy, gdybyśmy rzucali kulkami ze śniegu przez dwa otwory w płocie, za którym znajduje się ściana. Kulka przelatywałaby przez jeden otwór albo przez drugi, a następnie przy odrobinie szczęścia, w postaci warunków pogodowych, przylepiałaby się do ściany za otworami w ścianie (Rys.1).

To, co zaobserwował Thomas Young było diametralnie innym, lecz znanym mu zachowaniem się fal na wodzie (Rys.2). Tu, znajduje się główny punkt programu. znanym dla fal... W tamtych czasach, za sprawą sugestii Newtona, sądzono, że światło jest cząstką. Wyobrażano je sobie jako kulki... Różne kulki, bo wiedziano już dzięki pryzmatom, że światło słoneczne można rozbić na składowe kolory, które widzimy jako tęcze. Odkrycie Younga było niezbitym dowodem falowej natury światła na długie lata. Konkretnie do 1905 roku, gdy to Albert Einstein, wyjaśnił zjawisko fotoelektryczne, odkryte w 1899 r. przez Hertza. Ponownie dało to argument do polemiki zwolennikom cząstkowej natury światła [2].

Przypomnę, że efekt fotoelektryczny polega na wydostaniu się z materiału elektronu, za sprawą dostarczenia kwantu energii w postaci odpowiedniej fali światła. Zwolennicy cząstkowej natury światła natychmiast kojarzyli to z wybiciem jednej cząstki drugą.

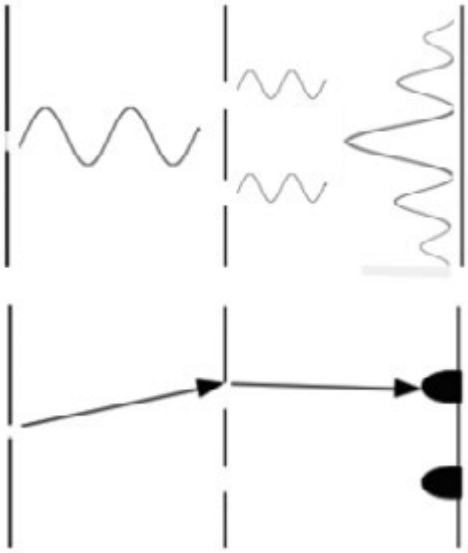
Cząstka czy fala ?

Pojęcie „kwant" pochodzi od Maxa Planka, który użył go przy rozwiązywaniu jednego z „ostatnich problemów fizyki" w XIX wieku. Kwant oznacza porcje, w kontekście użytym przez Planka, porcje energii, emitowanej przez ciało doskonale czarne. Skoro energia jest emitowana

eprasa.pl 7edcb48ebe

w porcjach i te porcje są powiązane ze światłem, to czy ma ono cząstkową naturę? Z drugiej jednak strony Young i jego szczeliny... Co o tym sądzić?

Dzisiaj już powszechnie akceptujemy konkluzje, że foton to i cząstka, i fala jednocześnie (jak pokaże niebawem, to nie tylko domena fotonów). Fotony w pewnych okolicznościach przedstawiają zachowania charakterystyczne dla fal, a w innych dla cząstek. Taką cechę nazywamy dualizmem korpuskularno-falowym. Kłopot w pogodzeniu się z taką naturą obiektów, jak i całą mechaniką kwantową, wynika z perturbacyjnych metod poznawania świata przez człowieka. Chcąc wyjaśnić pewne rzeczy, stwierdzamy, że są do czegoś podobne... tylko inne... Gdy ktoś zapyta, nad morzem czym jest ocean, uczciwie możemy odpowiedzieć, że to takie morze tylko duże, też ma fale tylko większe i również żyją tam ryby, tylko więcej.



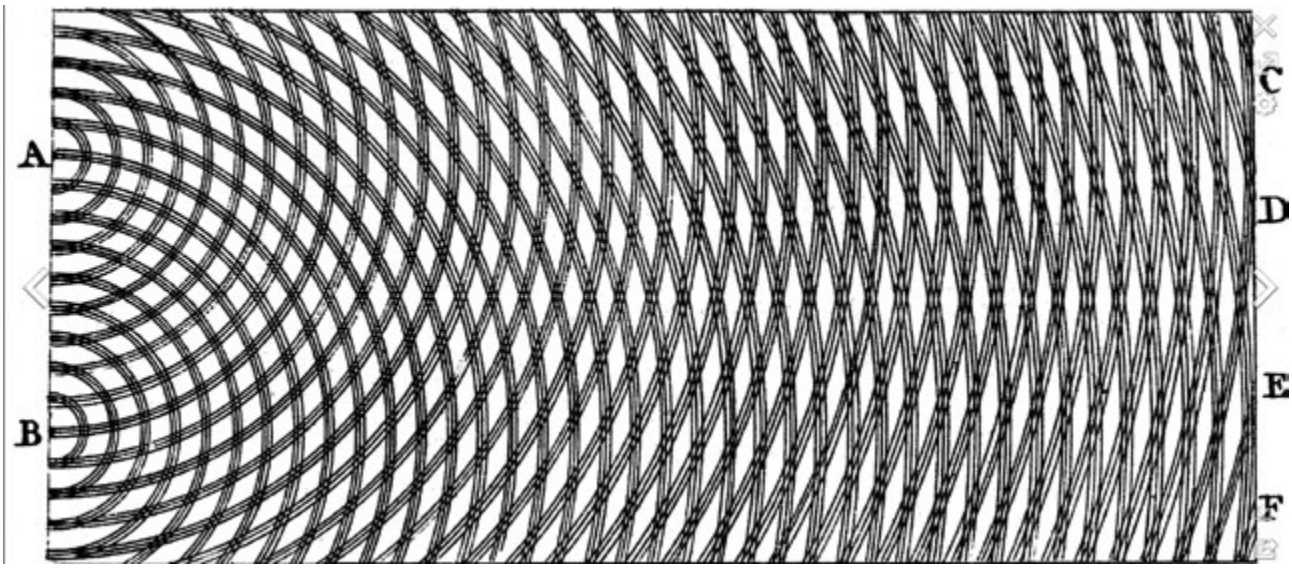
Rys. 1. Przedstawia obraz interferencyjny, powstały po przejściu światła przez podwójną szczelinę (obrazek na górze), falki oznaczają fale świetlne, a obraz na ekranie to schematyczny rysunek obrazu interferencyjnego (im falka jest wyższa tym obszar na ścianie jest jaśniejszy). Druga ilustracja (obrazek na dole), to efekt otrzymany przy rzucaniu śnieżnymi kulkami przez podwójną szczelinę w płocie. Strzałki ilustrują trajektorię lotu kulki, a kropki na ekranie obszary, w które trafiają kulki. Źródło obrazka [1].

Taki opis w naszej „dużej" skali w miarę działa, natomiast w skali kwantowej, nie działa. W świecie kwantów, prawie wszystko jest nowe, a poznajemy go w sposób absolutnie pośredni i statystyczny. Przeprowadzając, eksperyment niszczymy, to na co patrzymy, ponieważ każda obserwacja wpływa na stan układu. To trochę jakby wykoleić pociąg, aby powiedzieć, z jaką prędkością się porusza. W świecie kwantów nawet to dałoby nam jedynie kawałek informacji. Im dokładniej oszacowalibyśmy prędkość pociągu, tym mniej dokładnie znalibyśmy jego położenie (zasada nieoznaczoności). Mając więc pewne przypuszczenia co do tego, jak szybko się poruszał, nie mielibyśmy pojęcia, gdzie leży.

Bądźmy nie ugięci

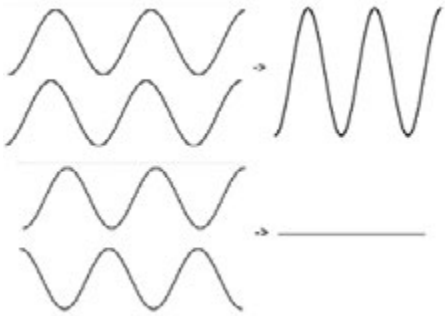
Wróćmy do opisu eksperymentu z dwiema szczelinami, aby lepiej zrozumieć narzędzie, które umożliwi nam zobaczenie kwantów na własne oczy. Dyfrakcja, bo właśnie tak nazywa się zjawisko uginania się fali, przy przechodzeniu obok przeszkody (przez szczelinę), jest powodem tak dziwnego zachowania się fal. Nietypowe cienie, zauważone przez Younga, są natomiast efektem nałożenia się fal, co nazywamy interferencją. W celu lepszego wyobrażenia sobie interferencji, spójrzmy na rysunek 3. Przedstawia on dwie fale, które spotykają się ze sobą. W jednym wypadku fale takie są zgodne w fazie, oznacza to, że po ich nałożeniu się „dołki" będą głębsze, a „górki" wyższe (jasne prążki u Younga). Drugi wypadek przedstawia wypadek, gdy fale są w przeciw fazie, a efektem takiego spotkania będzie wygaszenie fali (ciemne prążki).

Rozmieszczenie jasnych oraz ciemnych prążków, można wyliczyć w prosty sposób przy użyciu trygonometrii. Jak przedstawiono na rysunku 4., przebieg zjawiska można wyrazić schematycznie, korzystając z faktu, że dwa promienie światła, muszą spotkać się w jednym punkcie, aby doszło do interferencji.



Rys. 2. Oryginalna rycina Thomasa Younga z 1807 roku, ilustrująca rozchodzenie się fal światłą za szczelinami. Proszę zwrócić uwagę, iż wrzucenie, dwóch kamieni obok siebie, do zbiornika z wodą wywoła identyczny efekt rozchodzenia się fal [2].

eprasa.pl 7edcb48ebe



Rys. 3. Przedstawia nakładanie się na siebie dwóch fal. Na górnym obrazku „górka" spotyka się z „górką" i w efekcie powstaje fala o dwa razy większej „górce" (amplitudzie). Na dolnym obrazku „górka" spotyka się z „dołkiem" i w efekcie efekt falowania znika [1].

Odległość między przesłoną i ekranem wynosi „L", „d" oznacza odległość między szczelinami, co jak niebawem się okaże, jest bardzo istotną informacją. Odległość „a" jest natomiast różnicą długości dróg świetlnych przechodzących przez szczelinę I i II. Jeżeli długość „a" będzie pełną wielokrotnością długości fali (odległością między dwoma górkami), wtedy interferencja będzie konstruktywna i zobaczymy jasny prążek. Jeżeli odległość będzie połową długości, wtedy interferencja będzie destrukcyjna i zobaczymy prążek ciemny. Bardziej formalnie:

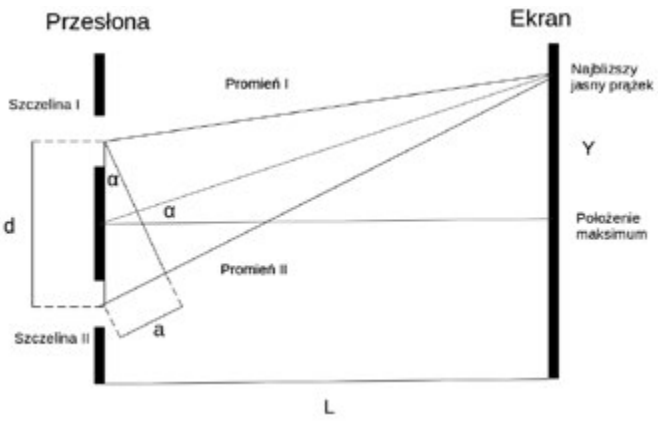
Interferencja konstruktywna:

$$\frac{a}{d} = \sin\alpha \Rightarrow d\sin\alpha \Rightarrow \lambda n = d\sin\alpha$$

Korzystając z podobieństwa trójkątów, sinus można wyrazić jako:

$$\frac{Y}{\sqrt{y^2+L^2}} = \sin\alpha \Rightarrow \lambda n = d\frac{Y}{\sqrt{y^2+L^2}}$$

Pora wyciągnąć królika z kapelusza i powiedzieć, po co to wszystko. Sposób rozumowania przedstawiony na dwóch szczelinach, jest poprawny również w przypadku, w którym szczelin będzie wiele. Układ równo oddalonych od siebie szczelin, nazywamy siatką dyfrakcyjną, w której odległość „d" jest nazywana stałą siatki.



Rys. 4. *Ilustracja przedstawia schemat doświadczenia z dwoma szczelinami. Aby doszło do interferencji, dwa promienie światła muszą się spotkać w jednym punkcie.*

Rys. 5. Światło lasera przechodzące przez siatkę dyfrakcyjną, ulega dyfrakcji i interferencji, w wyniku czego obserwuje się naprzemienne jasne i ciemne prążki (w tym wypadku jasne prążki to kropki).

Mierzenie długości fali

Jak wynika z ostatniego wzoru, jeżeli będziemy znać stałą siatki (jest to informacja dołączona do każdej siatki), będziemy mogli obliczyć długość fali światła, przez zwykłe zmierzenie odległości pomiędzy jasnymi prążkami, oraz odległością między przesłoną, a ekranem. Do przeprowadzenia doświadczenia, zdobyłem siatkę „1000", czyli w jednym milimetrze znajduje się 1000 szczelin, co oznacza, że odległość między szczelinami to 0.000001 [m].

Odległość między maksimami bocznymi (kropkami po bokach) na rysunku 5. a głównym maksimum to 12,6 cm, oraz 12,7 cm. więc przyjmujemy średnią 12.65 cm. Różnice w odległości wynikają z lekkiego przekrzywienia siatki dyfrakcyjnej i jest to efekt, który oczywiście można minimalizować. Odległość siatki od ściany, która pełni role ekranu w tym wypadku wynosi 20,3 cm. Pozostałe parametry naszego układu są następujące: Y = 0,1265 m, L = 0,03 cm, n = 1 d = 0,000001 m.

Wstawiając wszystkie te wielkości do wzoru, otrzymujemy, że: $\lambda = 529$ nm, co dokładnie wpisuje się w długość fali, którą interpretujemy jako światło zielone (495-566 nm).

Charakterystyka, dołączona do lasera przez producenta podaje, iż długość fali, którą emituje laser to 532 +/- 10 nm. Wynik doświadczenia jest więc w pełni zadowalający. Przy tego typu doświadczeniach, stosuje się metody rachunku błędów, minimalizujące wpływ niedokładności pomiarowych takich, jak zaokrąglenie długości na metrówce. Rachunek błędów, który pominąłem, przybliżyłby nas jeszcze dokładniej, do prawidłowego wyniku.

Siatki dyfrakcyjne są bardzo popularnym i tanim narzędziem, które można znaleźć za kilka złotych. Eksperyment zadziałałby także, gdyby zamiast siatki użyć płyty CD. W przypadku płyty musimy jednak spełnić kilka warunków.

1. Płyta musi zawierać jakieś dane (w płytach dane są wypalane i to są właśnie szczeliny naszej siatki).
2. Trzeba ją zniszczyć, zdejmując z niej plastikową okleinę.
3. Stała płyty nie jest znana, więc trzeba najpierw ją wyznaczyć w sposób analogiczny do przedstawionego doświadczenia, gdzie zamiast λ, wyznaczamy d (zazwyczaj na laserach jest podana długość fali, którą laser emituje).

Poruszając kwestie alternatywnych siatek dyfrakcyjnych, należy również wspomnieć o tych stosowanych dla promieni rtg, czyli kryształach. Ugięcie promieni rtg, na płaszczyznach krystalograficznych, jest jedną z metod mierzenia stałej sieciowej w kryształach (prawo Bragga).

Zobaczmy kwanty

Ze wzoru na długość fali, wynika ciekawa informacja. Gdy przyjrzymy się równaniu powyżej, okaże się, że

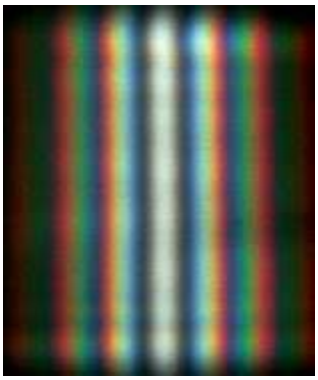
eprasa.pl 7edcb48ebe

odległość jasnych prążków jest zależna od długości fali, to z kolei oznacza, że rozkład linii na ekranie przy przejściu przez siatkę dyfrakcyjną, powinien rozłożyć białe światło na jego składowe! Spójrzmy na zdjęcie poniżej (Rys 6.), prezentuje ono tęczę powstałą w wyniku przejścia światła słonecznego przez siatkę dyfrakcyjną. Widok tęczy jest znany każdemu, w szczególności, gdy ktoś miał do czynienia z pryzmatem.

Pryzmat również rozkłada światło na składowe, jednak dzieje się to za sprawą innego mechanizmu. Prędkości rozchodzenia się światła w ośrodkach, zależy od długości fali, co przekłada się na kąt załamania światła i dlatego pryzmat rozszczepia światło. Natomiast za każdym razem, gdy widzimy tłustą plamę w kałuży, mieniącą się na różne kolory lub skrzydełka owada pobłyskujące do nas barwnie, obserwujemy właśnie interferencje.

Ten mniej oczywisty mechanizm, polega na częściowym przejściu światła przez pierwszą warstwę (np. olej w kałuży), odbiciu się od warstwy poniżej (np. wody, na której unosi się plama oleju) i nałożeniu na promień odbity od pierwszej warstwy. Ta drobną różnica odległości powoduje, że pewne barwy w widmie słonecznym są wygaszane, a my dostrzegamy tylko te pozostałe.

Chociaż widok tęczy nie jest już dla nas czymś zdumiewającym, zdecydowanie jest to efekt kwantowy. Każdy promień świata jest kwantem energii wyemitowanym przez wzbudzone atomy, pozbywające się energii. Innymi słowy, każdy wzbudzony elektron emituje światło o określonej energii (czyli długości fali) podczas powrotu na swój stan podstawowy. Jako że atomy mają określone stany energetyczne, które mogą zajmować w nich elektrony, zakres emisji i absorbcji światła przez wzbudzone atomy odpowiada bardzo konkretnym barwą. Tym samym, można powiedzieć, że każdy atom, ma swój charakterystyczny odcisk „palca", w postaci widma emisyjnego/absorpcyjnego. Korzystamy z tego faktu niemal codziennie, gdy włączamy lampę jarzeniową lub spoglądamy na lampy sodowe, które powoli znikają już z ulic.

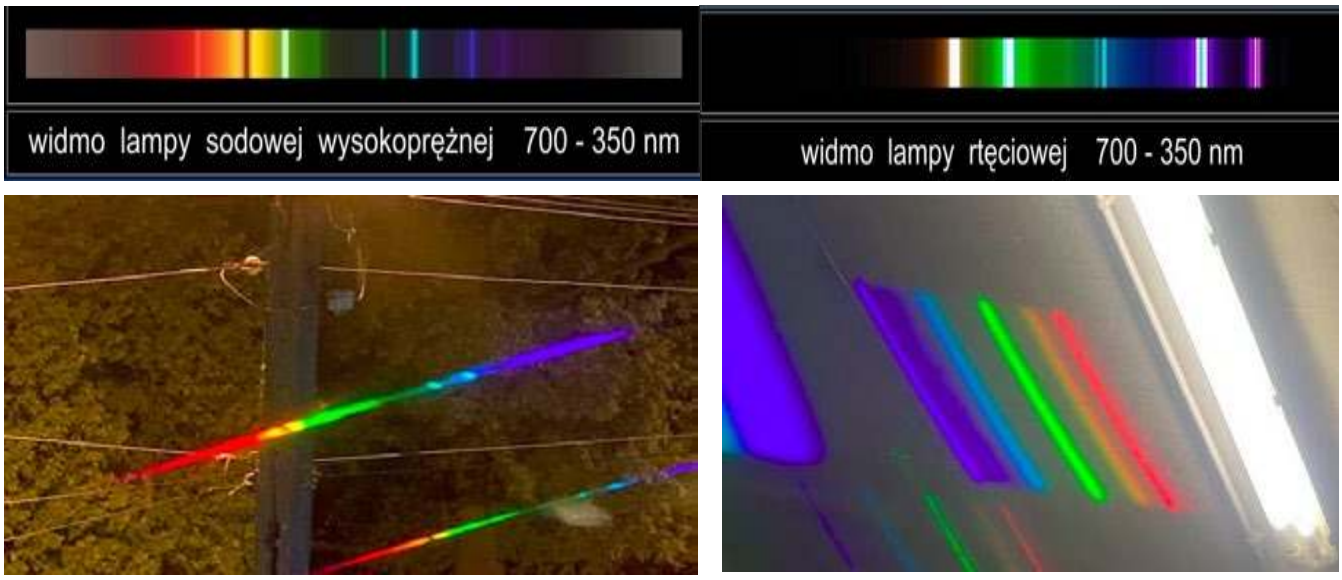


Rys. 6. Wzór prążków interferencyjnych, dla światła słonecznego. Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Do%C5%9Bwiadczenie_Younga#/media/Plik: Double_slit_interference.png

Gdy umieścimy opary gazu pod niskim ciśnieniem (rtęć i sód to metale, ale one także parują) i przyłożymy napięcie, gaz ulega on jonizacji, emitując światło podczas przypadkowych wychwytów elektronów. Tak się składa, że zarówno sód, jak i rtęć, mają bardzo charakterystyczne widmo, które nie zlewa się w trakcie obserwacji (Rys.7.) (gazy szlachetne w neonach również dają się rozróżnić tą metodą). Do tego eksperymentu ponownie użyłem mojej siatki dyfrakcyjnej i telefonu do zrobienia zdjęcia. Powszechność tych narzędzi sprawia, że każdy zainteresowany może, bez inwazyjnie zobaczyć mechanikę kwantową, niemal w każdym miejscu.

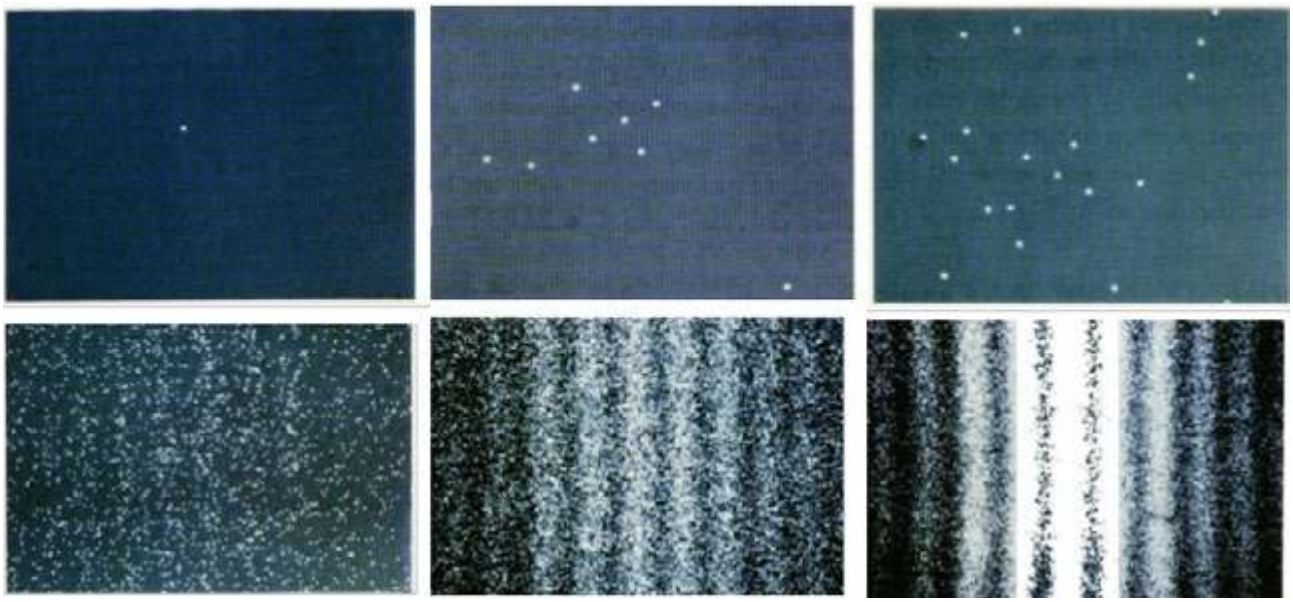
Ilustracja poniżej dowodzi, że efekt jest bardzo dobrze zauważalny. W widmie sodu w obszarze „żółtym" widać charakterystyczną przerwę, nazywaną dubletem sodowym, natomiast w widmie rtęci brakuję jednej linii w zakresie dalekiego fioletu, za to jest dodatkowa linia czerwona. Dzieje się tak za sprawą luminoforu pokrywającego lampę jarzeniową, którego zadaniem jest przekształcenie linii słabo widzialnych przez człowieka, na rzecz ocieplenia światła.

Zaprezentowana metoda rozpoznawania pierwiastków, jest jedną z dobrze znanych metod spektroskopowych. Poddając próbkę jakiegoś materiału spaleniu, otrzymu-



Rys. 7. Ilustracja przedstawia zestawienie widma emisyjnego sodu oraz rtęci, z widmami uchwyconymi przy pomocy aparatu i siatki dyfrakcyjnej „1000". W przypadku widma rtęci (obrazek po prawej), brakuje jednej linii w zakresie dalekiego fioletu, za to jest dodatkowa linia czerwona. Dzieje się tak za sprawą luminoforu pokrywającego lampę jarzeniową, którego zadaniem jest przekształcenie linii słabo widzialnych przez człowieka, na rzecz ocieplenia światła. Widma porównawcze wzięte ze strony: http://www.astro.uni.wroc.pl/ciemna-strona-swiatla/css4/css4.html

eprasa.pl 7edcb48ebe



Rys. 8. *Obraz powstający przy docieraniu do detektora kolejnych elektronów. Na dolnych ilustracjach, kolejno od lewej po: 500, 7 000, 50 000 elektronów na kliszy.*

jemy pewne widmo. Następnie dopasowuje się do niego widma znanych pierwiastków, księgowane przez chemików od XIX wieku. W dużym uproszczeniu dzięki takiemu porównaniu, spektroskop rozpoznaje jakie pierwiastki wchodzą w skład badanego materiału.

Dzięki tej metodzie odkryto hel. Pierwiastek, którego jest bardzo mało w naszej atmosferze, ponieważ jest lekki i niereaktywny. Stanowi on jednak ponad 20% fotosfery słońca, gdzie został po raz pierwszy dostrzeżony. W 1868 roku Pierre Janssen'a, a kilka miesięcy później przez Normana Lockyer'a, w trakcie obserwacji słońca. Uczeni niezależnie zauważyli linie widmowe, niepasujące do żadnych innych pierwiastków, wnioskując tym samym, że muszą one pochodzić od pierwiastka nieznanego dotychczas na ziemi. Nazwa hel pochodzi właśnie od Helios (słońce) i została nadana przez Locker'a [3].

Fale materii

Rozwój mechaniki kwantowej, to prawdziwy poligon, na którym wyobraźnia, zdrowy rozsądek i intuicja, toczą wciąż walkę, którą rozstrzyga eksperyment (jak dotąd zdrowy rozsądek rokuje najsłabiej). Wśród pomysłów, które przysparzały wiele trudu w zaakceptowaniu uczonym z początku XX wieku, zdecydowanie znajduje się koncepcja Louisa de Broglie'a. W 1924 roku, stwierdził on w swej rozprawie doktorskiej, iż materia również powinna przejawiać dualizm korpuskularno-falowy. Pomysł, że materia ma być czasami i falą, wydawał się większości osób zbyt szalony do przyjęcia, ale fakt, że de Broglie'a miał tytuł hrabiego, pomógł mu w uzyskaniu stopnia doktora.

Na szczęście, większość szalonych pomysłów w nauce znajduje w końcu szaleńców, którzy powiedzą: „sprawdzam". W tym przypadku szaleńcami byli C. Davisson i L. Germer, którzy eksperymentując z kryształem niklu odkryli dyfrakcje elektronów na sieci owego kryształu. Był to pierwszy dowód falowej natury materii, z którego wkrótce wyrosła falowa interpretacja mechaniki kwantowej, wyrażona przez Erwina Schrödingera jego słynnym równaniem. To, że elektron, który posiada masę może przejawiać falową naturę było czymś zdumiewającym, a to dopiero początek...

W 1989 roku A. Tonumora postanowił przeprowadzić doświadczenie analogiczne do eksperymentu z dwoma szczelinami. Zamiast strumienia cząstek wykorzystał elektrony, które były emitowane pojedynczo, co oznaczało, że każdy elektron musiał „wybrać", którą ze szczelin przejdzie. Jako detektora użyto odpowiedniej kliszy, na której elektron pozostawiał ślad. Początkowo badanie nie przebiegało zbyt podejrzanie. Elektron padał na klisze zostawiając biały ślad, ale właściwie pojedyncze punkty niewiele mówiły o tym, co się dzieje. Gdy śladów przybywało, wnioski wprawiały w osłupienie. Elektron interferuje sam ze sobą! Z jakiegoś powodu obraz powstały w wyniku wysyłania pojedynczych elektronów, odwzorowywał obraz interferencyjny dla podwójnej szczeliny (Rys. 8.) [4].

Co gorsza, jeżeli spróbujemy ustalić, przez którą ze szczelin przechodzi elektron, efekt ten się nie ujawni! To doprawdy zdumiewające, że mechanika kwantowa chroni swoją prywatność na tyle, aby przy każdej próbie obnażenia jej piękna, prezentowała konwencjonalnych zachowanie. Jakakolwiek próba ustalenia jak porusza się elektron kończy się wybraniem przez niego jednej drogi i obraz powstały na ekranie odpowiada rzucaniu śnieżek przez dziurę w płocie. Gdy zaprzestaniemy śledzenia drogi elektronu, ten ponownie objawi kwantową naturę i ulegnie interferencji. Fotony również nie lubią być podglądane i zachowują się dokładnie w ten sam sposób. Próba ustalenia, którą ze szczelin wybrał foton, natychmiast niszczy jego falowe zachowanie, ale jak się niebawem okaże, nie tylko to jest dziwne.

Można by przymknąć oko na to dziwaczne zachowanie w przypadku fotonów a nawet elektronów, które posiadają masę i usprawiedliwiać je stwierdzeniem, że te cząstki tak już mają, ale nie ma się czym przyjmować, bo i tak nie da się ich zatrzymać i obejrzeć, więc to prawie jak nie cząstki. Być może taka linia obrony przyniosłaby ukojenie zszarganemu zdrowemu rozsądkowi, ale świat ma dla nas więcej niespodzianek. Takie samo zachowanie przejawia jądro

eprasa.pl 7edcb48ebe

wodoru, atom sodu, a w 1999 roku wykazano je również dla fulerenu, cząsteczki zbudowanej z 60 atomów węgla, których układ przestrzenny przypomina piłkę futbolową. 60 atomów węgla, to już w pełni zauważalny gabaryt.

Fizycy wciąż starają się ustalić, do jakiej skali zauważalne są efekty kwantowe. Wiemy już o cząsteczkach, a co w przypadku istot żywych? Czy to przed świadomą analizą mechanika kwantowa wykonuje te wszystkie uniki? Te wszystkie pytania wciąż są otwarte i powodują pewien zgrzyt, który odczuwał również Albert Einstein. Sądził on, że w mechanice kwantowej brakuje czegoś co nada jej sensu, w takiej formie w jakiej go oczekujemy. Logicznych przyczyn i konsekwencji, które są w pełni przewidywalne przy posiadaniu odpowiednich danych. Mawiał on: „Lubie wiedzieć, że księżyc jest na swoim miejscu, nawet wtedy, gdy na niego nie patrzę". Jest to bardzo trafnie ujęta obawa, wobec charakterystycznego dla mechaniki kwantowej „stawania się" świata, za sprawą pomiaru czy obserwacji.

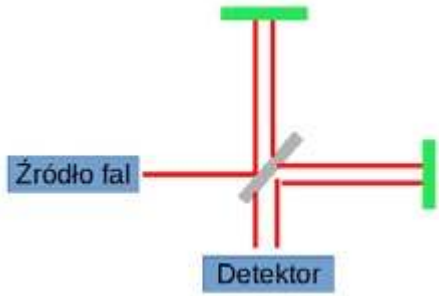
Przez kolejne lata, stawało się jasne, że tak zwanych „zmiennych ukrytych" nie ma. Potwierdził to ostatecznie, wynik doświadczenia sprawdzającego łamanie przez przyrodę nierówności Bella (lecz to temat, na zupełnie inny artykuł), które ujawniłyby statystycznie, że brakuje nam jakichś informacji [5].

Interferometry

Mówiąc o interferencji, należy wspomnieć również o niezwykle precyzyjnych przyrządach wykorzystujących to zjawisko. Interferometry, bo tak się one nazywają, wykorzystują różnice w pokonywanej przez światło drodze. Pozwala to mierzyć różnice w odległościach z dokładnością do długości fali światła i nie tylko jego!

Interferometr składa się z odpowiednio zbudowanych zwierciadeł, które w zależności od rodzaju i zastosowania urządzenia, przepuszczają światło w różnym stopniu. Jednym z głośniejszych w ostatnim czasie pomiarów z wykorzystaniem interferometru, była detekcja fal grawitacyjnych przez LEGO.

Spektakularne wnioski przyniósł również eksperyment Michelsona-Morleya, który przekreślił koncepcje eteru, wykazując izotropowość prędkości światła w przestrzeni, gdzie głównym narzędziem, był również inteferometr. Dla naszych rozważań, szczególnie istotny okaże się interferometr Macha-Zehnder.



Rys. 9. Schemat prostego interferometru. Czerwone linie to promienie (np. światła), szare to zwierciadła półprzepuszczalne, a linie zielone to lustra odbijające światło w pełni. Najmniejsza zmiana, któregokolwiek ramienia w tym układzie, objawi się zmianą układu prążków na detektorze.

Interferimetr Macha-Zehnder – czyli gdzie jest foton ?

Wyobraźmy sobie, układ złożony ze zwierciadła półprzepuszczalnego i dwóch detektorów. W trakcie oświetlania takiego zwierciadła światłem z lasera oba detektory powinny wskazywać równe wartości natężenia światła i rzeczywiście, doświadczenia potwierdzają to przewidywanie (Rys. 10a.). Co zatem wpływa na fakt, że część światła wybiera drogę na wprost, a część zostaje odbita? Co rozróżnia fotony, które wybrały jedną drogę od innych?

W przypadku dyfrakcji na szczelinach, można milcząco przyjąć, że pewne fotony są bliżej jednej szczeliny (np. górnej na rysunku 4.), a inne bliżej drugiej (dolnej) i odpowiednio na bliższych szczelinach, zachodzi ugięcie fali. W tym wypadku ewidentnie widać pewną segregację statystyczną (rzeczą elementarną, przy tego typu doświadczeniach, jest eliminowanie wpływu samego zwierciadła na ten podział). Możemy przyjąć, że z jakiegoś powodu część fotonów lubi skręcać, a część chodzić na wprost i być może udało nam się odsiać jedne od drugich. Oczywiście tak nie jest. Gdybyśmy dostawili kolejne zwierciadło półprzepuszczalne na drodze podzielonej wiązki, znowu światło by się podzieliło!

Nasze klasyczne myślenie o świecie, narzuca nam potrzebę zrozumienia kryterium, według którego światło wybiera drogę. Mechanika kwantowa uczy nas, że takiego kryterium nie ma. Rozbudujmy nasz układ zwierciadeł (Rys.10b.), dodając zwierciadła odbijające światło w całości, oraz kolejne zwierciadło półprzepuszczalne przed detektorami.

Możemy tak dobrać długości ramion interferometru, aby zaobserwować sygnał tylko na jednym detektorze (światło przechodząc przez zwierciadło-półprzepuszczalne na chwile zwalnia, co daje pole do manipulowania fazą światła). Oczywiście dzieje się tak za sprawą interferencji, dwóch wiązek światła poruszających się różnymi drogami. Zaprezentowany układ jest interferometrem Macha-Zehnder, bardzo czułego instrumentu, który reaguje na najmniejsze zmiany w długościach ramion.

Co się stanie, jeżeli zamiast wiązki światła ze źródła wyemitujemy jeden foton? Intuicyjnie zakładamy, że foton musi dokonać wyboru i to dwa razy. Na pierwszym zwierciadle półprzepuszczalnym oraz na drugim, co w konsekwencji sprawi, że foton raz trafi na jeden detektor, a raz na drugi – prawda?

Cały szkopuł tkwi w tym, że dzieje się coś zupełnie innego. Pojedynczy foton, podobnie jak w przypadku interferencji na podwójnej szczelinie interferuje sam ze sobą i zawsze trafia w ten sam detektor, podobnie jak wiązka światła ustawiona poprzednio! Każdy pojedynczy foton, pojawi się dokładnie tam, gdzie cała wiązka lasera.

Od razu widać problem, który w przypadku podwójnej szczeliny był nieco zamaskowany. Którą z dróg wybiera w końcu foton? Spróbujmy wrócić do wariantu z rysunku 10.b. i wstawmy detektory za pierwszym zwierciadłem półprzepuszczalnym. Jeżeli zaczniemy podglądać foton i próbować ustalić, którą drogę wybiera zaczyna się on zachowywać przyzwoicie i zgodnie z przewidywaniem losowo wybierając którąś z dostępnych trajektorii.

eprasa.pl 7edcb48ebe

Gdy zabierzemy detektory, ponownie widzimy interferencje! Jest to coś absurdalnego, ponieważ wniosek płynący z tego doświadczenia jest następujący: w rozważanym interferometrze foton porusza się dwiema drogami równocześnie, a na końcu interferuje sam ze sobą. Jeśli w trakcie jego podróży spróbujemy ustalić, gdzie się znajduje, wtedy zachowa się klasycznie i będzie poruszać się tylko jedną drogą [6].

Rzecz jasna nic nie stoi na przeszkodzie, aby tworzyć coraz bardziej złożone układy, wymuszając na fotonie więcej podziałów, ale konkluzja zawsze będzie ta sama, foton porusza się wieloma drogami na raz. Richard Feynman, rozważając ten aspekt mechaniki kwantowej, na przykładzie podwójnej szczeliny, doszedł do bardzo odważnej myśli. Jeżeli jeden foton, może przechodzić przez dwie szczeliny jednocześnie, to będzie przechodził również przez więcej szczelin naraz, jeżeli na jego drodze postawimy siatkę dyfrakcyjną.

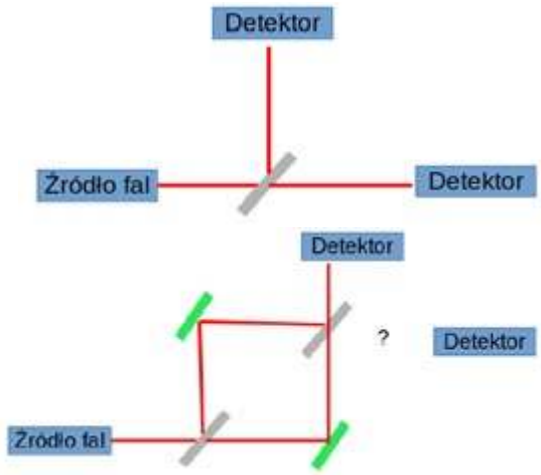
Jeśli pójdziemy krok dalej, to możemy przyjąć, że pusta przestrzeń, jest rodzajem siatki dyfrakcyjnej, z nieskończenie dużą liczbą szczelin. Taki sposób rozumowania doprowadził go do wniosku, że foton porusza się pomiędzy dwoma punktami, po wszystkich trajektoriach jednocześnie, lecz za sprawą interferencji zachowuje się tak, jak gdyby zawsze wybierał drogę, którą pokona najszybciej (trajektorii z najmniejszym działaniem). Najkrótsza droga, jest tylko jedna, a pozostałe znoszą się wzajemnie w wyniku interferencji. Przez najkrótszą drogę, rozumiem w tym wypadku drogę, którą foton najszybciej dotrze do celu.

Proszę sobie wyobrazić następującą sytuację: jedziemy autostradą i nagle widzimy ogromny korek, ciągnący się kilometrami. W takiej sytuacji korzystniejsze jest dla nas, zjechanie z autostrady i przejechanie bocznymi drogami do celu mimo, iż droga może okazać się dłuższa. W taki sam sposób działa światło, gdy decyduje o wyborze trajektorii, przy pokonywaniu ośrodków o różnej gęstości (na przykład szkła). Tak definiowana jest zasada Fermata wyjaśniająca naturę załamania światła. Jeżeli zatem foton porusza się wszystkimi drogami naraz, to można użyć tego opisu do innych cząstek, obsługiwanych przez mechanikę kwantową, takich jak elektron i zobaczyć, czy opis działa... Okazuje się, że ten opis działa i to bardzo dobrze.

Jeżeli Szanowny Czytelnik, czuje się nieswojo po zapoznaniu się z tymi wnioskami, to bardzo dobrze. Wyparcie jest naturalną reakcją na mechanikę kwantową. Szalona koncepcja Feynmana, z której wyprowadził metodę całek po trajektoriach, działa zadziwiająco dobrze, co podkreśla jak słabo nasze przeczucia nadają się do przewidywania natury.

Poprawność takiego ujęcia mechaniki kwantowej potwierdza efekt Aharonova-Bohma, który miałem przyjemność opisać w artykule [1]. Polega on, na zmodyfikowaniu doświadczenia z podwójną szczeliną dla elektronów, o jeden drobny element. Przed szczelinami, umieszcza się cylinder, w którym pojawia się pole magnetyczne (istnieje wariant dla pola elektrycznego), które wpływa na wzór interferencyjny.

Doświadczenie jest skonstruowane tak, że na gruncie fizyki klasycznej nie da się go wyjaśnić, ponieważ cylinder ekranuje pola, które znajdują się w jego wnętrzu. To spektakularne doświadczenie potwierdza istnienie odpowiednich potencjałów, ale również nie lokalność mechaniki kwantowej. To tak jakby elektron, zaglądał do wnętrza cylindra i stwierdzał, że w obecności pola w jego wnętrzu musi wygaszać inne trajektorie, niż w przypadku jego braku. Jak wspomniałem wyżej, opór przy zderzeniu z mechaniką kwantową jest naturalny, a na jej akceptacje potrzeba wiele czasu, ale jak dotąd wszystkie doświadczenia wskazują na to, że jest ona poprawna, a świat jest bardzo dziwny.



Rys. 10. Rysunek na górze 10.a przedstawia źródło światła, które natrafia na zwierciadło półprzepuszczalne. W wyniku tego zajścia, połowa światła skręca, do detektora odbijając się, natomiast druga połowa światła przechodzi przez zwierciadło i trafia na detektor umieszczony po drugiej stronie zwierciadła.
Rysunek poniżej 10.b jest schematem interferometru Macha-Zehnder. Po przejściu światła, przez zwierciadło półprzepuszczalne, natrafia ono na zwierciadła w całości odbijające je w kierunku, zwierciadła półprzepuszczalnego, za którym umieszczone są detektory.

Podsumowanie

Mechanika kwantowa stanowi wielkie wyzwanie dla umysłu ludzkiego, który zwyczajnie nie nadaje się do tego, aby ją wyczuć i swobodnie interpretować. W trakcie jej poznawania jej dziwność przeszkadza niemal każdemu, lecz w nauce o wszystkim przesądza eksperyment, a jak dotąd każdy eksperyment potwierdza, że to nasza intuicja jest w błędzie.

Teoria kwantów jest o tyle istotna, że bez dwóch zdań można jej przypisać zmianę w wyglądzie świata w ciągu ostatnich 100 lat. Telefony komórkowe, komputery mniejsze niż przeciętna kawalerka, cała elektronika, nowe materiały, rozwój chemii i cała gama instrumentów oraz narzędzi medycznych, to postęp, który zawdzięczamy pracy nad zrozumieniem mechaniki kwantowej.

Ostatecznie my również zawdzięczamy jej nasz istnienie. Być może mechanika kwantowa jest głęboką konsekwencją teorii względności, być może nigdy się nie dowiemy czym jest. Jednak w razie przewlekłego niezadowolenia z praw rządzących naszym wszechświatem, pozostaje poszukać sobie innego.

Mgr Cyprian Sobczak
UKSW MCB, Unipress

ŹRÓDŁA:

[1] Cyprian Sobczak, „Mechanika kwantowa- od pojęcia kwantu do całek po trajektoriach", Fizyka w szkole z astronomią, Warszawa 2021.
[2] Kajetan Wróblewski, „Historia Fizyki", PWN, Warszawa 2006.
[3] Hugh Aldersey-Williams, „Fascynujące pierwiastki", Pruszyński i S-ka, Warszawa 2012.
[4] Akira Tonomura, „The Quantum World Unveiled by Electron Waves", World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapur 1998.
[5] Lucjan Piela, „Idee chemii kwantowej", PWN, Warszawa 2006.
[6] Paweł Pęczkowski, „Tajemnicza mechanika kwantowa",„ŁośGraf, Warszawa 2011.

eprasa.pl 7edcb48ebe

Żywoty fizyków

Kapitan Round

Tadeusz **Wibig**

Henry Joseph Round (1881–1966) nie kojarzy się zapewne wielu osobom z fizyką. W ogóle raczej w naszym kraju nie kojarzy się z niczym. Trochę inaczej jest zapewne w Zjednoczonym Królestwie, gdzie być może są tacy, którzy pamiętają go jako człowieka, który położył wielkie zasługi w rozwój brytyjskiego radia. A tak naprawdę powinien on być pamiętany jako ktoś, kto dokonał fizycznego odkrycia, które zmieniło świat. Eksperymentując zauważył w pewnej chwili delikatny błysk światła. Tak mały, że nikt nie zwrócił nań wtedy uwagi. A dziś pozwala on nam widzieć cały świat.

Kapitan Round urodził się w Kingswinford i oczywiście nie był wtedy jeszcze kapitanem. Swojego stopnia dosłużył się podczas I wojny światowej. Początkowo był zwyczajnym małym Henry Josephem. W swoim czasie poszedł do szkoły, a w pierwszym roku XX wieku ukończył z wyróżnieniem studia w Royal College of Science.

Po studiach zatrudnił się w *Marconi Company* znanej wówczas jako *Marconi's Wireless Telegraph Company*. Była to firma z branży „nowych technologii". Właśnie przeprowadziła pierwszą transatlantycką transmisję radiową przesyłając (lub nie, jak twierdzą niektórzy) literę „S" alfabetem Morse'a z Poldhu w Cornwalli do Nowej Funlandii w Kanadzie.

Nic więc dziwnego, że Round zajął się technologią radiową.

Jak wiadomo, indukowany w antenie przez przychodzącą falę elektromagnetyczną prąd zmienia kierunek swojego przepływu bardzo szybko: zgodnie z częstotliwością fali nośnej. Obwód rezonansowy LC jest tam zasadniczo z przyczyn czysto technicznych. Aby wyizolować z niego użyteczny sygnał modulujący nadawaną falę nośną, niezbędny jest prostownik. O co chodzi wyjaśniają rysunki.

W początku XX wieku jako element prostujący w odbiornikach radiowych Marconiego używano wymyślonego przez **Édouarda Branlyego** w samym końcu XIX wieku *koherera*. Była to rurka szklana zaopatrzona na obu końcach w elektrody wypełniona opiłkami żelaza. To proste, acz wyrafinowane teoretycznie urządzenie o dziwo działało. Aby jednak zapewnić ciągłe prostowanie prądu, należało co jakiś czas w rurkę postukać. Niewątpliwie utrudniało to pracę radiotelegrafistom i rozwiązanie to zostało dość szybko zastąpione innym, jeszcze bardziej teoretycznie tajemniczym urządzeniem prostującym: kryształkiem. Kryształek był to rzeczywiście kryształek, najczęściej galeny, naturalnej formy siarczku ołowiu (PbS), albo pirytu, czyli dwusiarczku żelaza (FeS_2). Inne minerały też miewają podobne własności.

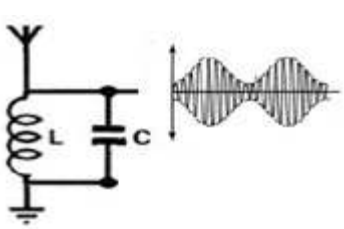
Jagadish Chandra Bose z Kalkuty jako pierwszy użył kryształka galeny w odbiorniku radiowym, W 1901 roku złożył wniosek o amerykański patent na „*Urządzenie do wykrywania zakłóceń elektrycznych*", w którym wspomniano o użyciu kryształka galeny. Patent został mu przyznany w 1904 r., (No. 755840). Prostownik kryształkowy, a moglibyśmy nawet powiedzieć dioda ostrzowa, bo tym on właśnie był, składał się z kryształka połączonego elektrycznie z jedną z elektrod i cieniutkiego drucika nazywanego z oczywistych powodów „*kocim wąsem*", który podłączony był do drugiej elektrody i delikatnie dotykał kryształka. W miejscu styku powstaje coś w rodzaju złącza „pn" i tak dziś tłumaczy się działanie kryształkowego radia.

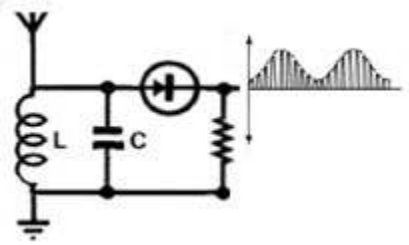
Kapitan Round, który rozpracowywał początkowo niuanse technologii koherera, przerzucił się na najnowszą technologię kryształkową i właśnie wtedy dokonał swojego wielkiego odkrycia.

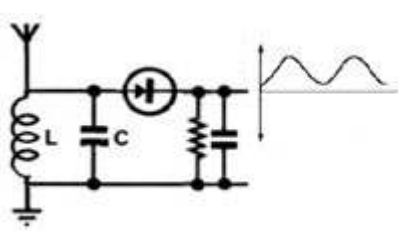
Badał on różne kryształy i różne geometrie kryształkowej diody i pewnego dnia z nieznanych nam dziś powodów podłączył do kryształu karborundu (węglika krzemu – SiC) napięcie znacznie większe od tego jakie mogłoby pojawić się w odbiorniku radiowym i zauważył jasne światło dochodzące z miejsca styku wąsa i kryształka. Napisał o tym do czasopisma *Electrical World* i list jego ukazał się 9 lutego 1907 roku.

„*Podczas badania niesymetrycznego przepływu prądu przez styk karborundu i innych substancji zaobserwowano ciekawe zjawisko. Po przyłożeniu potencjału 10 wolt między dwoma punktami na krysztale emitował on żółtawe światło...*"

Niestety nikt nie odpowiedział na jego apel zawarty w ostatnim zdaniu tego listu: „*Autor byłby zadowolony z odniesień do wszelkich opublikowanych opisów badań tego lub pokrewnych zjawisk*".







eprasa.pl 7edcb48ebe

To the Editors of Electrical World:

SIRS:—During an investigation of the unsymmetrical passage of current through a contact of carborundum and other substances a curious phenomenon was noted. On applying a potential of 10 volts between two points on a crystal of carborundum, the crystal gave out a yellowish light. Only one or two specimens could be found which gave a bright glow on such a low voltage, but with 110 volts a large number could be found to glow. In some crystals only edges gave the light and others gave instead of a yellow light green, orange or blue. In all cases tested the glow appears to come from the negative pole, a bright blue-green spark appearing at the positive pole. In a single crystal, if contact is made near the center with the negative pole, and the positive pole is put in contact at any other place, only one section of the crystal will glow and that the same section wherever the positive pole is placed.

There seems to be some connection between the above effect and the e.m.f. produced by a junction of carborundum and another conductor when heated by a direct or alternating current; but the connection may be only secondary as an obvious explanation of the e.m.f. effect is the thermoelectric one. The writer would be glad of references to any published account of an investigation of this or any allied phenomena.

NEW YORK, N. Y. H. J. ROUND.

Dziś możemy tłumaczyć to tym, że Round wyprzedził swoje czasu o co najmniej pół wieku.

On sam też nie badał dalej odkrytego przez siebie zjawiska. Zatrudniony stale w firmie Marconiego miał inne zadania i trzeba przyznać, że wywiązywał się z nich z dużymi sukcesami. Jako osobisty asystent Marconiego poprawił wydajność stacji transatlantyckiej w Galway. Był też delegowany do pracy w Kanadzie i we Włoszech, a także w brazylijskiej dżungli w okolicach Manaus i w Nowej Szkocji. Gdy wreszcie wrócił do Wielkiej Brytanii, rozwijał powstałą niedawno i burzliwie rozwijającą się technologie lamp elektronowych konstruując lampy wielkiej mocy niezbędne w urządzeniach nadawczych. I wtedy właśnie wybuchła I wojna światowa.

Henry Joseph Round oczywiście zaciągnął się i jako „Kapitan X" trafił do wywiadu. Jego pierwszym tajnym zadaniem było stworzenie sieci stacji radiolokacyjnych na froncie zachodnim i później analogicznej na wybrzeżu, by mogła być wykorzystywana do śledzenia U-Bootów, Zeppelinów i ogólnie manewrów statków operujących na Morzu Północnym. Odegrała ona istotną rolę w bitwie jutlandzkiej w 1916 roku, w wyniku której Royal Navy zachowała panowanie na wodach europejskich. Kapitan Round za swoją działalność podczas wojny został odznaczony w 1918 roku Krzyżem Wojskowym.

Po wojnie Kapitan Round wrócił do *Marconi Company*. W 1919 roku nadzorował między innymi instalację dużej bezprzewodowej stacji telefonicznej w Ballybunion w Irlandii z nadajnikiem opartym o opracowane przez siebie słynne lampy elektronowe, triody MT1 i MT2. Miały one moc 20 kW i nadając na fali 80 kHz był pierwszą europejską radiostacją słyszalną w Ameryce!

Dla pozyskania nowych słuchaczy Kapitan wpadł na rewolucyjny wtedy pomysł nadawania przez radio muzyki, a w końcu, w roku 1920 zainaugurowano regularny serwis informacyjny telefonii bezprzewodowej. Dwa lata później także przy użyciu nadajnika Kapitana Rounda zaczęła nadawanie i nadaje do dziś stacja BBC.

Zaangażowany w rozwój radiofonii Kapitan Round będąc wtedy pierwszym i głównym inżynierem *Marconi's Wireless Telegraph Company* skonstruował też niezwykle czuły mikrofon zwany wtedy *magnetofonem* (typu Marconi-Sykes). Umożliwił on w roku 1924 pierwszą plenerową transmisję spoza studia i oczywiście „na żywo". W roli głównej wystąpił słowik towarzyszący w ogródku popisom czołowej wiolonczelistki tamtych lat Beatrice Harrison. Choć BBC ujawniło niedawno, że jak twierdzą niektórzy, transmisja ta nie była do końca prawdziwa, bo wszystkie słowiki w okolicy zostały wypłoszone przez ekipę radiowców rozstawiającą swój sprzęt, zasługi Kapitana Rounda dla technologii łączności bezprzewodowej są olbrzymie i niepodważalne. No a poza tym odkrył zjawisko elektroluminescencji.

Doświadczenie domowe:

Dioda elektroluminescencyjna (LED)

A. Potrzebne materiały

1. Kryształek karborundu (do kupienia za parę złotych w internecie)
2. 4 bateryjki 9 V (6F22)
3. 4 klipsy/zatrzaski do bateryjek 9V z przewodami zakończonymi krokodylkami
4. Igła

B. Narzędzia (niepotrzebne)

C. Kolejność czynności

1. Do bateryjek przyczepiamy klipsy/zatrzaski.
2. Łączymy krokodylki tak, by bateryjki były połączone szeregowo.
3. Krokodylek z dodatniego bieguna szeregu bateryjek przyczepiamy do kryształu karborundu.
4. Krokodylkiem z ujemnego końca szeregu bateryjek chwytamy igłę.
5. Gasimy światło (albo przynajmniej znacznie zmniejszamy oświetlenie).
6. Dotykamy delikatnie końcem igły kryształka.

Jeśli mamy szczęście, uda się zaobserwować jasne światło z miejsca zetknięcia igły i kryształka, jeśli szczęścia nie mamy, dotykamy igłą w innych miejscach – do skutku.

eprasa.pl 7edcb48ebe

Przestrzeń i czas Hermanna Minkowskiego – w rocznicę przełomowego wykładu

Był nauczycielem Alberta Einsteina. Wprowadził idee geometryczne do fizyki matematycznej, teorii względności i teorii liczb. Ogromną zasługą Minkowskiego jest rozwinięcie poglądu na czas i przestrzeń oraz podanie matematycznych podstaw teorii względności.[1] W 1908 r. przedstawił przełomowy wykład zatytułowany „Przestrzeń i czas". Zaprezentował nowatorskie idee dotyczące czasoprzestrzennej struktury świata i czterowymiarowej fizyki czasu i przestrzeni.

Kazimierz **Mikulski**

Rodzicami Hermanna Minkowskiego byli Lewin Minkowski i Rachela z domu Taubmann. Urodził się dnia 22 czerwca 1864 r. w Alexotas koło Kowna (w Aleksocie) w guberni suwalskiej Królestwa Polskiego, w rodzinie żydowskiej. Rodzice byli Niemcami. Hermann urodził się, gdy mieszkali w Rosji. Kiedy miał osiem lat, rodzina wróciła do Niemiec i zamieszkała w Królewcu, gdzie ojciec prowadził interesy. Interes po ojcu przejął najstarszy brat Hermanna, Max (1844-1930). Był kolekcjonerem dzieł sztuki i konsulem francuskim w Królewcu. Drugi brat Oskar (1858-1931) był lekarzem, najbardziej znanym ze swojej pracy nad cukrzycą i ojcem astrofizyka Rudolfa Minkowskiego (1895-1976). Miał starszą siostrę Fanny (1863-1954) i młodszego brata Toby'ego (1873-1906).

Osiemnastoletni laureat

Swój talent matematyczny ujawnił podczas nauki w Gimnazjum w Królewcu. Jako uczeń czytał dzieła Dedekinda, Dirichleta i Gaussa[2]. Wybitne zdolności, zostały odnotowane w 1881 r. w liście, który Weber[3], będący wówczas na Uniwersytecie w Królewcu, napisał do Dedekinda.[4]

Od kwietnia 1880 r. studiował na uniwersytecie w Królewcu. Spędził trzy semestry na Uniwersytecie Berlińskim, w tym semestr zimowy w latach 1882-83. Podczas pobytu w Królewcu zaprzyjaźnił się z Dawidem Hilbertem (1862-1943), studiującym w tym samym czasie co Minkowski. W 1884 r. w Królewcu, szybko zaprzyjaźnił się z nowym nauczycielem akademickim Adolfem Hurwitzem (1859-1919).

Minkowski doktoryzował się w 1885 r. w Królewcu. Przedstawił pracę pt. *Untersuchungen über quadratische Formen, Bestimmung der Anzahl verschiedener Formen, welche ein gegebenes Genus enthält*, (*Studia nad kształtami kwadratowymi, określające liczbę różnych form, zawierających dany rodzaj*). Formami kwadratowymi zainteresował się już na studiach.

Fotografia 1, 2. Hermann Minkowski (1864-1909) w 1883 r. i Henry John Stephen Smith (1826-1883)
Źródło: https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Minkowski/pictdisplay/ https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Smith/pictdisplay/

W 1883 r. Akademia Nauk w Paryżu ogłosiła, że Grand Prix w dziedzinie nauk matematycznych, będzie przyznane za rozwiązanie problemu liczby reprezentacji liczby całkowitej jako sumy pięciu kwadratów.

Ferdynand Gotthold Max Eisenstein (1823-1852) podał wzór na liczbę takich reprezentacji w 1847 r., ale nie przedstawił dowodu wyniku. Akademia nie była tego świadoma, jak również tego, że problem został już rozwiązany w 1867 r. przez Henry'ego Johna Stephena Smitha (1826-1883).

Minkowski, mając zaledwie osiemnaście lat, zrekonstruował teorię form kwadratowych Eisensteina i stworzył piękne rozwiązanie problemu Grand Prix. Smith przerobił swój wcześniejszy dowód, dodając szczegóły i także przedłożył go Akademii.

2 kwietnia 1883 r. Akademia przyznała im Nagrodę Główną dzieląc ją **między** Minkowskim i Smithem. Był to oszałamiający początek matematycznej kariery młodego Minkowskiego.

[1] Więcej https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Minkowski/ https://pl.wikipedia.org/wiki/Hermann_Minkowski#cite_note-mactutor-1

[2] Juliusz Wilhelm Richard Dedekind (1831-1916); Johann Peter Gustav Lejeune Dirichlet (1805-1859); Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1855).

[3] Heinrich Martin Georg Friedrich Weber (1842-1913), był niemieckim matematykiem, którego główne prace dotyczyły algebry, teorii liczb, analizy i zastosowań analizy w fizyce matematycznej. https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Weber_Heinrich/

[4] https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Minkowski/

eprasa.pl 7edcb48ebe

Rozprawa doktorska Minkowskiego, złożona w 1885 r., była kontynuacją nagrodzonej pracy. Doktoryzował się pod kierunkiemFerdynanda von Lindemanna (1852-1939), znanego ze swojego dowodu opublikowanego w 1882 r., że π (pi) jest liczbą przestępną, tzn. że nie jest pierwiastkiem żadnego wielomianu o współczynnikach wymiernych, a sam otrzymał doktorat za prace pod kierunkiem Felixa Kleina z geometrii nieeuklidesowej.

Praca naukowa

Po uzyskaniu doktoratu Minkowski kontynuował pracę naukową w Królewcu, ale już w 1887 r. ubiegał się o stanowisko profesora na uniwersytecie w Bonn. Zgodnie z regulaminem uniwersytetów niemieckich musiał złożyć ustnie na wydziale oryginalną pracę, jako Habilitationsschrift. Przedstawił rozprawę *Räumliche Anschauung und Minima positiv definiter quadratischer Formen* - (*Intuicja przestrzenna i minima dodatnio określonych form kwadratowych*), która wówczas nie była publikowana,. Jednak w 1991 r. wykład ukazał się drukiem,[5] a Jean Alexandre Eugène Dieudonné (1906-1992) tak pisze: *Wykład ten jest szczególnie interesujący, ponieważ zawiera pierwszy przykład metody, którą Minkowski rozwinie kilka lat później w swojej słynnej „geometrii liczb”.*

Minkowski wykładał w Bonn od 1887 r. Awansował na docenta w 1892 r., ale dwa lata później przeniósł się z powrotem do Królewca, gdzie przez kolejne dwa lata wykładał, zanim został powołany na Eidgenössische Polytechnikum Zürich (*Politechniki Federalnej w Zurychu*), gdzie był nauczycielem Einsteina. Tu spotkał swojego przyjaciela Hurwitza, który zastąpił na stanowisku Ferdynanda Georga Frobenius (1849-1917) po wyjeździe w 1892 r. do Berlina.

Minkowski poślubił w Strasburgu w 1897 r. Auguste'a Adlera. Mieli dwie córki, Lily urodzoną w 1898 r. i Ruth urodzoną w 1902 r. W roku urodzenia drugiej córki opuścił Zurych, gdyż przyjął katedrę na Uniwersytecie w Getyndze w 1902 r. To Hilbert **sprawił**, że stanowisko powstało specjalnie dla niego i piastował je do końca życia. W Getyndze zainteresował się fizyką matematyczną, wzbudzając entuzjazm Hilberta i jego współpracowników. Uczestniczył w seminarium z teorii elektronów w 1905 r. i zapoznał się z najnowszymi wynikami i teoriami elektrodynamiki.

W 1907 r. zdał sobie sprawę, że dzieło Hendrika Antoona Lorentza (1853-1928)[6] i Alberta Einsteina (1879-1955)[7] z zakresu fizyki relatywistycznej można najlepiej zrozumieć w przestrzeni nieeuklidesowy.

Geometria ***nieeuklidesowa*** to geometria, w której *postulat równoległości Euklidesa* zawodzi. Minkowski uważał, że przestrzeń i czas, które wcześniej uważano za niezależne, są połączone razem w czterowymiarowe „*kontinuum czasoprzestrzenne*”. Opracował czterowymiarowe podejście do elektrodynamiki. Jego główne prace w tej dziedzinie to *Raum und Zeit* - „*Przestrzeń i czas*”, z 1907 r. i *Zwei Abhand lungen über die Grundgleichungen der Elektrodynamik* - „*Dwa wkłady w podstawowe równania elektrodynamiki*” z 1909 r.

Morris Kline (1908-1992) recenzując rękopis Minkowskiego pisze[8]:

„Kluczowym punktem artykułu jest różnica w podejściu do problemów fizycznych fizyków matematycznych i fizyków teoretyków. W artykule opublikowanym w 1908 r. Minkowski przeformułował artykuł Einsteina z 1905 r., wprowadzając czterowymiarową (czasoprzestrzenną) geometrię nieeuklidesową, krok, o którym Einstein wtedy nie myślał zbyt wiele. Ale ważniejsza jest postawa czy filozofia, jaką Minkowski, Hilbert (z którym Minkowski pracował przez kilka lat), Felix Klein i Hermann Weyl dążyli, a mianowicie, że względy czysto matematyczne, w tym harmonia i elegancja idei, powinny dominować w przyjmowaniu nowych faktów fizycznych. Można powiedzieć, że matematyka miała być mistrzem, a teoria fizyczna mogła kłaniać się mistrzowi. Inaczej mówiąc, fizyka teoretyczna była subdomeną fizyki matematycznej, która z kolei była subdyscypliną czystej matematyki. Z tego punktu widzenia Minkowski podążał za Poincaré, którego filozofią było to, że fizyka matematyczna, w przeciwieństwie do fizyki teoretycznej, może dostarczyć nowych zasad fizycznych. Ta filozofia wydaje się być przeniesieniem (oczywiście zmodyfikowanym) z osiemnastowiecznego poglądu, że świat jest zaprojektowany matematycznie, a co za tym idzie, świat musi przestrzegać zasad i praw odkrytych przez matematyków, takich jak zasada najmniejszego działania

Fotografia 3, 4. Dawid Hilbert (1862-1943), Hermann Minkowski (1864-1909)
Źródło: https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Hilbert/pictdisplay/
https://pl.wikipedia.org/wiki/Hermann_Minkowski#/media/Plik:De_Raum_zeit_Minkowski_Bild.jpg

[5] J Schwermer, Räumliche Anschauung und Minima positiv definiter quadratischer Formen. Zur Habilitation von Hermann Minkowski 1887 w Bonn, Jahresber. niemiecki. Matematyka-Verein. 93 (2) (1991), 49-105.

[6] Lorentz pracował nad skróceniem długości obiektu przy prędkościach relatywistycznych (FitzGeralda–Lorentza). Transformacje Lorentza, które wprowadził w 1904 r., stanowią podstawę szczególnej teorii względności Einsteina. Opisują wzrost masy, skrócenie długości i dylatację czasu ciała poruszającego się z prędkością bliską prędkości światła. George Francis FitzGerald (1851-1901) irlandzki fizyk znanym ze skrócenia FitzGeralda. https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/FitzGerald/

[7] https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Einstein/

[8] L Pyenson, *Hermann Minkowski i szczególna teoria względności Einsteina: z dodatkiem do rękopisu „Funktiontheorie” Minkowskiego*, Arch. Historia Dokładne Sci. 17 (1) (1977), 71-95

eprasa.pl 7edcb48ebe

Maupertuisa, Lagrange'a i Hamiltona. Einstein był fizykiem teoretykiem i dla niego matematyka musi być dostosowana do fizyki."[9]

To kontinuum czasoprzestrzenne dostarczyło ram dla wszystkich późniejszych prac matematycznych w teorii względności. Idee te zostały wykorzystane przez Einsteina przy opracowywaniu ogólnej teorii względności. W rzeczywistości Minkowski miał duży wpływ na Einsteina, jak wskazuje Corry: *„W pierwszych latach swojej kariery naukowej Albert Einstein uważał matematykę za zwykłe narzędzie w służbie fizycznej intuicji. W późniejszych latach zaczął uważać matematykę za samo źródło twórczości naukowej. Głównym motywem tej zmiany był wpływ dwóch wybitnych niemieckich matematyków: Davida Hilberta i Hermanna Minkowskiego."*[10]

Minkowski i Hilbert byli bliskimi przyjaciółmi. Mniej znany jest fakt, że Minkowski faktycznie zasugerował Hilbertowi, co powinien wziąć za temat swojego słynnego wykładu w Paryżu w 1900 r. Minkowski w liście do Hilberta z 5 stycznia 1900 r. pisze:

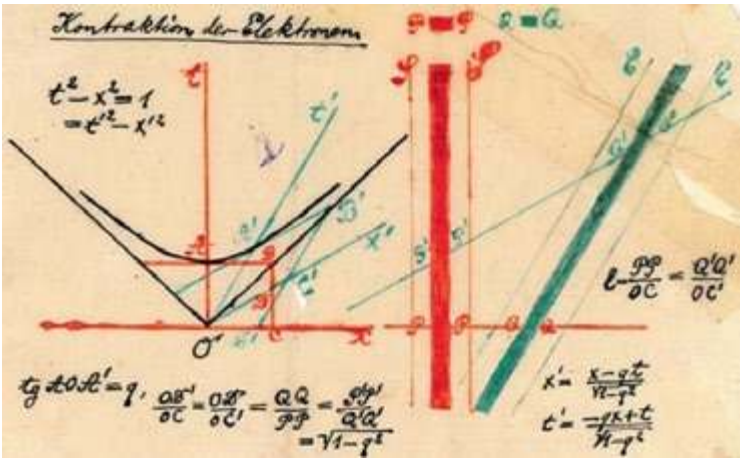
„Największy wpływ miałaby próba zaprezentowania przyszłości, czyli naszkicowania problemów, którymi powinni się zajmować przyszli matematycy. W ten sposób mógłbyś być może upewnić się, że ludzie będą rozmawiać o twoim wykładzie przez dziesięciolecia w przyszłości."

Międzynarodowa kariera

Czas pokazał, że Minkowski miał rację. Pierwszy Międzynarodowy Kongres Matematyków (ICM) odbył się w Zurychu w 1897 r.[11] Minkowski dołączył do komitetu organizacyjnego w grudniu 1896 r. i został powołany do podkomisji odpowiedzialnej za wybór mówców. Zasugerował zaproszenie Hilberta do wygłoszenia przemówienia na wypadek, gdyby Klein nie mógł uczestniczyć w kongresie. Również zaproponował, że sam wygłosi referat na jednym z posiedzeń sekcji, ale z niewyjaśnionych przyczyn ostatecznie tego nie zrobił. Na zjeździe przewodniczył sekcji I: Arytmetyka i Algebra.

Minkowski był jednym z sekretarzy ICM w Paryżu w 1900 r. i wygłosił referat w sekcji I w Heidelbergu w 1904 r., zatytułowany *Zur Geometrie der Zahlen* (O geometrii liczb). W tym momencie reprezentował Uniwersytet w Getyndze, podobnie jak w 1908 na ICM w Rzymie. Zainteresowania matematyczne Minkowskiego dotyczyły czystej matematyki i spędzał większość czasu na badaniu form kwadratowych i ułamków ciągłych.

Najbardziej oryginalnym osiągnięciem była jednak „*geometria liczb*", którą zapoczątkował w 1890 r. *Geometrie der Zahlen* (Geometria liczb) została opublikowana po raz pierwszy w 1910 r., ale pierwsze 240 stron (z całości 256) ukazało się już w 1896 r . Została przedrukowana w 1953 r. i w 1968 r. przez Chelsea w Nowym Jorku.



Rysunek 1. Ręcznie kolorowana przezroczystość przedstawiona przez Minkowskiego w jego wykładzie Raum und Zeit z 1908 r. Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Spacetime

Minkowski opublikował *Diophantische Approximationen: Eine Einführung in die Zahlentheorie* (Przybliżenia diofantyczne: wprowadzenie do teorii liczb) w 1907 r. Dało to podstawową relację z jego pracy nad geometrią liczb i jej zastosowań w teorii aproksymacji diofantycznej i liczbach algebraicznych. Praca nad geometrią liczb doprowadziła do pracy nad ciałami wypukłymi i do pytań o problemy pakowania, sposoby umieszczania figur o danym kształcie w innej danej figurze.

Czasoprzestrzeń Minkowskiego

W 1908 r. Minkowski zdał sobie sprawę, że szczególna teoria względności, wprowadzona przez jego byłego ucznia Alberta Einsteina w 1905 r. i oparta na wcześniejszych pracach Lorentza (1892–1904) i Poincarégo, może być najlepiej zrozumiana w czterowymiarowej przestrzeni, znanej dzisiaj jako „*czasoprzestrzeń Minkowskiego*", w której czas i przestrzeń nie są odrębnymi bytami, ale są w czterowymiarowej czasoprzestrzeni i w której geometrię Lorentza[12] szczególnej teorii względności można skutecznie przedstawić za pomocą niezmiennego przedziału $x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 - x_4^2$ (patrz Historia szczególnej teorii względności pod adresem https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_special_relativity).

Matematyczne podstawy przestrzeni Minkowskiego są w hiperboloidalnym modelu przestrzeni hiperbolicznej znanym już w XIX w. Izometrie lub ruchy w przestrzeni można odnieść do przekształceń Lorentza, do których duży wkład wnieśli badacze tacy jak: Wilhelma Killinga (1880,1885), Henri Poincaré (1881), Homersham Cox (1881), Alexander Macfarlane (1894) i inni (patrz *Historia przemian Lorentza* https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_Lorentz_transformations).[13]

Dokończenie na str. 37

[9] https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Minkowski/

[10] L. Corry, Wpływ Davida Hilberta i Hermanna Minkowskiego na poglądy Einsteina na temat wzajemnych relacji między fizyką a matematyką, Endeavour 22 (3) (1998), 95-97. https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Minkowski/#reference-7

[11] SU Eminger, CF Geiser i R Rudio: ludzie stojący za pracą doktorską Pierwszego Międzynarodowego Kongresu Matematyków St Andrews (2014) 123 - 130 . / Publikacje/Eminger.pdf https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Minkowski/#reference-8 https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Publications/Eminger.pdf

[12] https://en.wikipedia.org/wiki/Lorentz_transformation

[13] https://en.wikipedia.org/wiki/Hermann_Minkowski#Work_on_relativity

eprasa.pl 7edcb48ebe

Prawo Archimedesa w zastosowaniach

To prawo jest zapewne jednym z najbardziej znanych i najwcześniej odkrytych praw przyrody. Uzasadniają to fakty, że Archimedes żył w latach 287–212 przed naszą erą, zaś z odkryciem jego prawa wiążą się chętnie cytowane legendy.

Stanisław **Bednarek**

Prawo Archimedesa ma również bardzo duże znaczenie praktyczne i jest wykorzystywane w wielu dziedzinach techniki oraz w życiu codziennym, dlatego warto poświecić nieco uwagi jego zastosowaniom. Przedstawienie wybranych przykładów tych zastosowań jest celem niniejszego artykułu.

Równowaga ciała pływającego

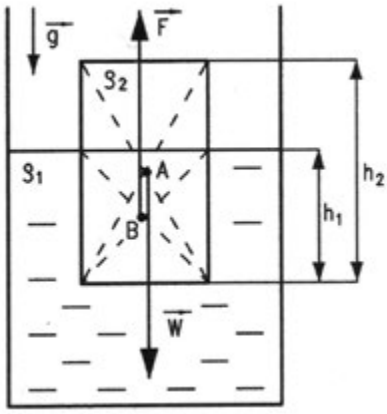
Realizując temat prawo Archimedesa rozpatruje się ciało pływające, zwykle prostopadłościan, w pozycji pionowej. Można postawić pytanie, jak zachowa się taki prostopadłościan, kiedy zostanie odchylony o pewien kąt od pionu. Na początek zostanie przyjęte założenie, że prostopadłościan jest jednorodny i wykonany z materiału o gęstości ρ_2 mniejszej od gęstości cieczy ρ_1 (rys. 1).

Na pływający prostopadłościan działa jego ciężar **W** i siła wyporu **F**. Obie siły mają kierunek pionowy, równe wartości, ale przeciwne zwroty. Ponieważ prostopadłościan jest w stanie spoczynku, to siły **W** i **F** równoważą się wzajemnie Ponadto, jeżeli prostopadłościan nie jest całkowicie zanurzony w cieczy, to punkty przyłożenia tych sił są różne. Dla jednorodnego prostopadłościanu ciężar **W** jest przyłożony w jego środku ciężkości A, który jest jego środkiem symetrii, a siła wyporu **F** jest przyłożona w środku wyporu B, który jest środkiem symetrii części prostopadłościanu zanurzonej w cieczy. Oba punkty A i B są na tej samej prostej pionowej, ale punkt A znajduje się wyżej, niż punkt B.

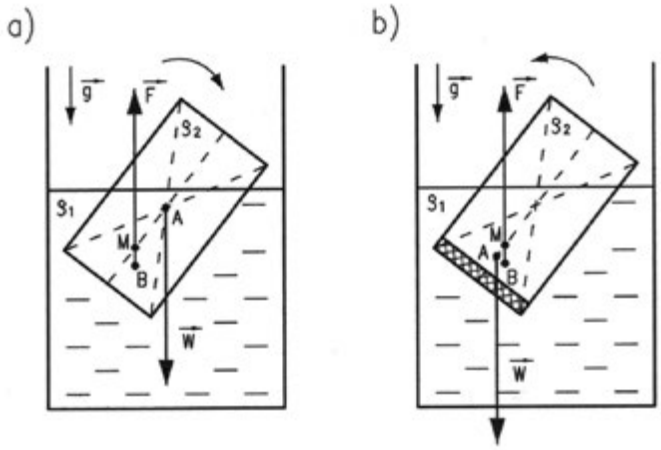
W tej sytuacji, po odchyleniu prostopadłościanu od pionu siły **W** i **F** stają się tzw. parą sił. Wypadkowa pary sił nadal jest równa zero, ale dają one moment, powodujący obrót prostopadłościanu. Jeżeli kąt odchylenia prostopadłościanu od pionu będzie mały, to obrót nastąpi przeciwnie do odchylenia i prostopadłościan wróci do pozycji pionowej. Jeżeli jednak kąt odchylenia przekroczy pewną wartość graniczną, wtedy obrót będzie zachodził zgodnie z odchyleniem (rys. 2.a). Skutkiem tego prostopadłościan nie powróci do stanu początkowego, ale „przewróci się" i będzie pływał w pozycji poziomej. Opisany efekt ma podstawowe znacznie dla równowagi jednostek pływających, szczególnie jachtów.

Żeby zwiększyć graniczny kąt odchylenia, do dolnej postawy prostopadłościanu należy przymocować element wykonany z materiału o możliwie dużej gęstości (rys. 2.b), Masa tego elementu nie może być jednak zbyt duża, żeby nie doprowadziła do zatopienia prostopadłościanu. Ten element spowoduje przesunięcie punktu A, poniżej punktu B, czyli środek ciężkości będzie poniżej środka wyporu. Wtedy moment pary sił **W** i **F** w większym zakresie kątów odchylenia będzie powodował obrót w kierunku przywracającym prostopadłościan do stanu początkowego.

Ten efekt wyjaśnia, dlaczego w jachtach stosuje się balast, czyli dodatkowe obciążenie umieszczone w najgłębiej zanurzonej części kadłuba w tzw. skrzyni balastowej. Jako ćwiczenie można zaproponować uczniom przeanalizowanie zachowania się prostopadłościanu wykonanego z materiału, którego gęstość będzie równa gęstości cieczy, czyli $\rho_1 = \rho_2$. W rozważaniach, dotyczących warunków równowagi jednostek pływających podczas przechyłów często wprowadza się pojęcie metacentrum [1]. W rozpa-



Rys. 1. Siły działające na pływający prostopadłościan ustawiony pionowo; **W** *– ciężar prostopadłościanu,* **F** *– siła wyporu,* **g** *– przyspieszenie ziemskie, ρ_1 – gęstość cieczy, ρ_2 – gęstość materiału prostopadłościanu, A – środek ciężkości prostopadłościanu, B – środek wyporu (punkt przyłożenia siły wyporu), h_1 – głębokość zanurzenia prostopadłościanu, h_1 – wysokość prostopadłościanu.*



Rys. 2. Siły działające na pływający prostopadłościan odchylony od pionu: a) bez obciążenia, b) z dodatkowym obciążeniem; M – metacentrum, pozostałe oznaczenia są takie same, jak w opisie rys. 1.

eprasa.pl 7edcb48ebe

trywanym przypadku jest to punkt M, znajdujący się na przecięciu podłużnej osi symetrii odchylonego prostopadłościanu oraz linii pionowej, przechodzącej przez środek wyporu B. Z porównania rys. 2.a i 2.b wynika, że obciążenie dolnej części prostopadłościanu powoduje przesunięcie środka ciężkości A poniżej metacentrum M i wtedy zwiększa się stabilność pływającego ciała.

Głębokość zanurzenia

Gdy pływające ciało jest wykonane z jednorodnego materiału i ma kształt graniastosłupa o pionowych ścianach i podstawach, znajdujących się naprzeciw siebie, czyli graniastosłupa prostego, pływającego w jednorodnej cieczy, to obliczenie jego głębokości zanurzenia nie stanowi problemu. Podobnie jest, kiedy ściana boczna takiego ciała będzie powierzchnią zakrzywioną, ale skierowaną pionowo, np. powierzchnią walca. Takie przypadki są tematem często spotykanych zadań obliczeniowych [2, 3]. Oznaczając, podobnie jak na rys. 1, gęstość cieczy przez ρ_1 oraz gęstość materiału ciała przez ρ_2, łatwo obliczyć ciężar ciała W i siłę wyporu F z następujących wzorów

$$W = Sh_2\rho_2 g \tag{1}$$

$$F = Sh_1\rho_1 g \tag{2}$$

gdzie S oznacza pole podstawy ciała, h_2, h_1 – odpowiednio wysokość ciała i głębokość jego zanurzenia, zaś g przyspieszenie ziemskie. Jeżeli ciało pływa, to $F = W$ i wtedy ze wzorów (1) i (2) otrzymuje się

$$h_1 = h_2\frac{\rho_2}{\rho_1} \tag{3}$$

Oczywiście musi być $\rho_1 > \rho_2$, ponieważ w przeciwnym przypadku byłoby $h_1 > h_2$, czyli wysokość części ciała zanurzona w cieczy byłaby większa od jego całkowitej wysokości i taki wynik nie miałby sensu. Wiadomo jednak, że dla $\rho_1 < \rho_2$ ciało tonie w cieczy i nie można wtedy skorzystać z zależności $F = W$.

Znacznie ciekawsze jest obliczanie głębokości zanurzenia pływającego ciała, którego powierzchnie boczne nie są pionowe, np. stożka lub kuli. Wtedy obliczenia są bardziej skomplikowane i pomocne staje się skorzystanie ze wzorów na objętości rozpatrywanych brył podanych w tablicach matematycznych [4, 5]. Dla jednorodnego stożka o promieniu podstawy R i wysokości H, wykonanego z materiału o gęstości ρ_2 i pływającego w cieczy o gęstości $\rho_1 > \rho_2$ w pozycji wierzchołkiem zwróconym w dół, wzory na W i F przyjmują postać

$$W = \frac{1}{3}\pi R^2 H\rho_2 g \tag{4}$$

$$F = \frac{1}{3}\pi r^2 h\rho_1 g \tag{5}$$

Gdzie h oznacza głębokość zanurzenia stożka, zaś r jest promieniem podstawy jego części zanurzonej, który na podstawie podobieństwa trójkątów otrzymanych z przekroju osiowego stożka wyraża się zależnością

$$r = h\frac{R}{H} \tag{6}$$

Porównując W i F, a następnie korzystając ze wzoru (6) i dokonując niezbędnych uproszczeń otrzymuje się

$$h = H\sqrt[3]{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \tag{7}$$

Gdy ten sam stożek pływa wierzchołkiem zwróconym ku górze, to wtedy wzory (5) i (6) należy zastąpić wzorami

$$F = \frac{1}{3}\pi R^2 H\rho_1 g - \frac{1}{3}\pi r^2 (H-h)\rho_1 g \tag{8}$$

$$r = (H-h)\frac{R}{H} \tag{9}$$

z których po dołączeniu równania (4) i takim samym postępowaniu, jak poprzednio otrzymuje się

$$h = H\left(1 - \sqrt[3]{1 - \frac{\rho_2}{\rho_1}}\right) \tag{10}$$

Łatwo zauważyć, że dla $\rho_1 = \rho_2$ ze wzorów (7) i (10) otrzymuje się $h = H$, czyli stożek pływa całkowicie zanurzony w cieczy, natomiast dla $\rho_1 >> \rho_2$ pojawia się $h << H$, co oznacza, że w cieczy o dużej gęstości pływający stożek jest zanurzony do niewielkiej głębokości. Oba wnioski są prawidłowe i zgodne z intuicyjnymi oczekiwaniami.

Dla pływającej kuli o promieniu r, zanurzone do głębokości h (rys. 3) wzory na W i F mają postać

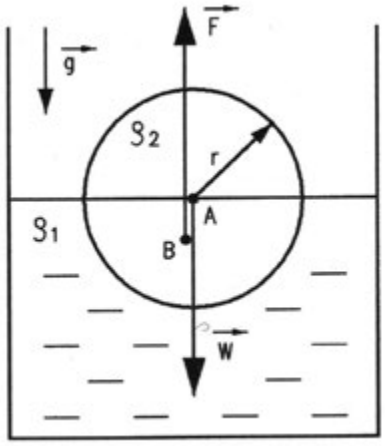
$$W = \frac{4}{3}\pi r^3\rho_2 g \tag{11}$$

$$F = \frac{4}{3}\pi r^2\left(r - \frac{h}{3}\right)\rho_1 g \tag{12}$$

Do napisania wyrażenia (12) wykorzystano wzór na objętość kuli ściętej podany w tablicach matematycznych [4]. Porównując siły W i F dane wzorami (11) i (12), a następnie upraszając otrzymane wyrażenie, otrzymuje się dla h równanie trzeciego stopnia w postaci

$$\rho_1 h^3 - 3r\rho_1 h^2 + 4r^3\rho_2 = 0 \tag{13}$$

Rozwiązanie równania (13) w ogólnym przypadku wymaga zastosowania wzorów Cardana, dostępnych w tablicach i poradnikach matematycznych [4, 5]. Ze względu na skomplikowaną postać ogólne rozwiązanie będzie tu pominięte. Warto jednak zwrócić uwagę, że dla szczególnych



Rys. 3. Siły działające na pływającą kulę; **W** *– ciężar kuli,* **F** *– siła wyporu,* **g** *– przyspieszenie ziemskie, ρ_1 – gęstość cieczy, ρ_2 – gęstość kuli, A – środek ciężkości kuli, B – środek wyporu (punkt przyłożenia siły wyporu), r – promień kuli.*

eprasa.pl 7edcb48ebe

wartości ρ_1, ρ_2 rozwiązania bardzo łatwo wynikają wprost z równania (13). I tak, wystarczy podstawić $\rho_1 = \rho_2$, żeby otrzymać $h = 2r$, czyli kula o gęstości równej gęstości cieczy pływa w niej całkowicie zanurzona.

Podobnie dla $\rho_2 << \rho_1$ zachodzi $h << r$, a więc kula o bardzo małej gęstości pływa niemal po powierzchni cieczy. Z kolei dla $\rho_2 = \rho_1/2$ pojawia się $h = r$, czyli kula jest zanurzona do połowy, gdy jej gęstość równa się połowie gęstości cieczy. Chociaż w początkowych etapach nauczania fizyki, umiejętność posługiwania się nieco bardziej skomplikowanymi wzorami nie jest konieczna, to analiza takich problemów stanowi dobrą okazją do pokazania zastosowań matematyki w fizyce i korelacji między tymi przedmiotami.

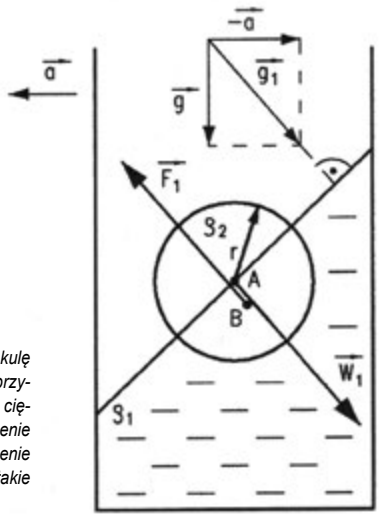
Układ z przyspieszeniem liniowym

Dotychczas rozpatrywane układy znajdowały się spoczynku i wystarczyło uwzględnić tylko przyspieszenie ziemskie **g**. Niech teraz naczynie z cieczą i pływającym w nim ciałem porusza się w kierunku poziomym z przyspieszeniem **a**. Wtedy układ związany z tym naczyniem jest nieinercjalny i należy w nim uwzględnić siły bezwładności, zwrócone przeciwnie do przyspieszenia **a**.

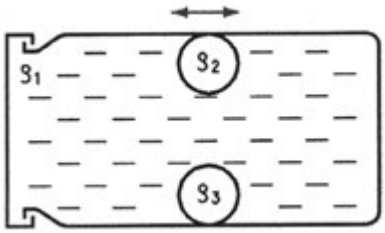
W ogólnym przypadku te siły mają wpływ na równowagę pływających ciał, powodując m.in. ich przesunięcie, odchylenie od pionu lub obrót. Z tego powodu cysterny powinny być wypełnione cieczą do odpowiednio dużej objętości, żeby podczas przyspieszania i hamowania pojazdu ograniczyć jej przemieszczanie się, powodujące niebezpieczeństwo zmiany kierunku jazdy.

Jeżeli rozpatrywane naczynie jest częściowo wypełnione cieczą, to jej powierzchnia swobodna w stanie równowagi musi być prostopadła do wypadkowej ciężaru i siły bezwładności, czyli ustawi się ukośnie (rys. 4). Takie ustawienie powierzchni wynika z tego, że ciecze nie mają własnego kształtu. Gdyby powierzchnia cieczy nie była prostopadła do wypadkowej siły, to pojawiłyby się składowe tej siły styczne do powierzchni cieczy, które spowodowałyby jej przepływ.

Te przypadki są łatwe do zademonstrowania. W tym celu wystarczy szybko przesunąć naczynie po powierzchni stołu, najlepiej przezroczyste, np. zlewkę lub szklankę z pływającym w nim klockiem o dużej wysokości. Gdy pływającym ciałem będzie kula zanurzona do połowy, to



Rys. 4. Siły działające na pływającą kulę w układzie poruszającym się ruchem przyspieszonym w kierunku poziomym; $\mathbf{W}_1$ *– ciężar kuli,* $\mathbf{F}_1$ *– siła wyporu,* **a** *– przyspieszenie ruchu postępowego,* $\mathbf{g}_1$ *– przyspieszenie wypadkowe, pozostałe oznaczenia są takie same, jak w opisie rys. 3.*



Rys. 5. Prosty przyrząd do pokazu pływania kulek w układzie poruszającym się ruchem przyspieszonym, ρ_1 *– gęstość cieczy wypełniającej słoik,* ρ_2, ρ_3 *– gęstości zanurzonych w niej kulek.*

Fot. 1. Przykład wykonania przyrządu z pęcherzykiem powietrza do pokazu pływania w układzie poruszającym się ruchem przyspieszonym. (fot. autor)

można zauważyć tylko odchylnie powierzchni swobodnej cieczy, gdyż z powodu symetrii kuli jej obrót wokół środka jest niezauważalny.

Do zademonstrowania zachowania się ciał o różnych gęstościach, zanurzonych w cieczy w układzie nieinercjalnym można wykorzystać bardzo prosty przyrząd pokazany na rys. 5. W wysokim słoiku zamykanym zakrętką są umieszczone dwie kulki o jednakowych średnicach. Pierwsza z nich, wykonana np. z drewna, ma gęstość ρ_2 mniejszą niż gęstość wody ρ_1, a gęstość drugiej kulki ρ_3, zrobionej np. ze stali, jest większa od gęstości wody. Słoik należy całkowicie napełnić wodą, szczelnie zamknąć i skierować poziomo. Oczywiście, pierwsza kulka będzie pływała, a druga zatonie.

Jeżeli tak przygotowany słoik zostanie szybko poruszony w kierunku poziomym, kulki przemieszcza się w przeciwne strony. Kulka o mniejszej gęstości ρ_2 ulegnie przesunięciu w kierunku ruchu, zaś kulka o większej gęstości ρ_3 przesunie się znacznie mniej, ponieważ ma większą bezwładność i trudniej ją wprawić w ruch. Zamiast kulki o mniejszej gęstości ρ_2 w słoiku można pozostawić pęcherzyk powietrza (fot.1). Jeszcze lepiej do przeprowadzenia tego doświadczenie nadają się czasem spotykane słoiki w kształcie beczkowatym o lekko wypukłych ściankach. Zamiast słoika można też użyć kawałka sztywnego węża o średnicy 2-3 cm i długości 20-30 cm, wykonanego z przezroczystego tworzywa sztucznego.

Układ wirujący

Poprzednio opisany słoik z kulkami można też wprawić ręcznie w ruch obrotowy wokół pionowej osi, przechodzącej w połowie jego długości w sposób pokazany na rys. 6. Kulka o większej gęstości ρ_3 przesunie się w stronę jednego z końców słoika, a kulka o mniejszej gęstości ρ_3 pozostanie w pobliżu osi obrotu. Przyczyną takiego zachowania się kulek jest teraz siła odśrodkowa bezwładności,

eprasa.pl 7edcb48ebe

działająca w wirującym układzie odniesienia, który jest też układem nieinercjalnym.

Jak uzasadniono wcześniej, powierzchnia swobodna cieczy w stanie równowagi jest prostopadła do kierunku wypadkowej siły, działającej na ciecz. Ta prawidłowość zostanie wykorzystana do wyprowadzenia równania, opisującego kształt powierzchni swobodnej wirującej cieczy. W tym celu należy uwzględnić dwa elementy sił składowych, pokazane na rys. 7. Są to element siły odśrodkowej bezwładności dF, skierowany poziomo wzdłuż odległości r od osi obrotu i element ciężaru dW, skierowany pionowo w dół. Elementy sił dF i dW wyrażają się wzorami

$$dF = \rho\omega^2 r dV \tag{14}$$

$$dW = \rho g dV \tag{15}$$

w których dV oznacza element objętości cieczy, ρ – gęstość cieczy oraz ω – prędkość kątową ruchu cieczy. Z podstaw rachunku różniczkowego jest znany wzór na tangens kąta nachylenia α stycznej do krzywej, który przy oznaczeniach przyjętych na rys. 7 można zapisać jako [6]

$$tg\alpha = \frac{dh}{dr} \tag{17}$$

Ponadto na podstawie rys. 7 łatwo zauważyć zależność

$$tg\alpha = \frac{dF}{dW} \tag{18}$$

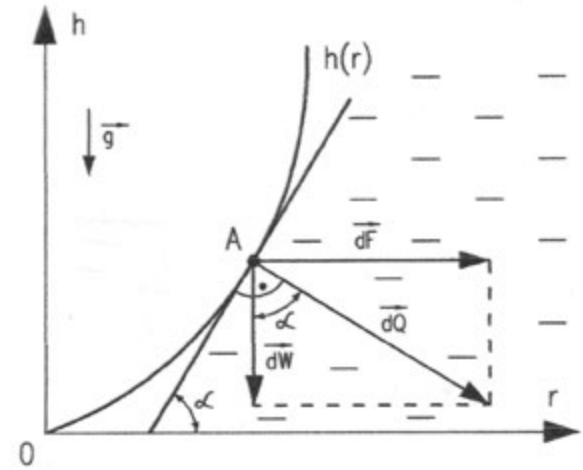
Porównując stronami wzory (17) i (18) oraz podstawiając do otrzymanego wyrażenia wzory (14), (15) otrzymuje się bardzo proste równanie różniczkowe, opisujące kształt krzywej przekroju osiowego powierzchni wirującej cieczy

$$\frac{dh}{dr} = \frac{\omega^2 r}{g} \tag{19}$$

Po rozdzieleniu zmiennych i scałkowaniu obu stron równania (19) oraz nałożeniu na stałą całkowania warunku $h(r=0) = 0$ zostaje wyprowadzone równanie poszukiwanej krzywej w postaci

$$h = \frac{\omega^2 r^2}{2g} \tag{20}$$

Z równania (20) wynika, że wysokość h wzniesienia cieczy w wirującym naczyniu jest wprost proporcjonalna



Rys. 7. Kształt powierzchni swobodnej cieczy w obracającym się naczyniu; **dF** *– element siły odśrodkowej,* **dW** *– element ciężaru ciała,* **dQ** *– element siły wypadkowej, α – kąt nachylenia stycznej do powierzchni cieczy,* **g** *– przyspieszenie ziemskie, r – odległość od osi obrotu, h – odległość od dna naczynia, A – punkt przyłożenia elementów sił, h(r) – funkcja opisująca kształt powierzchni cieczy.*

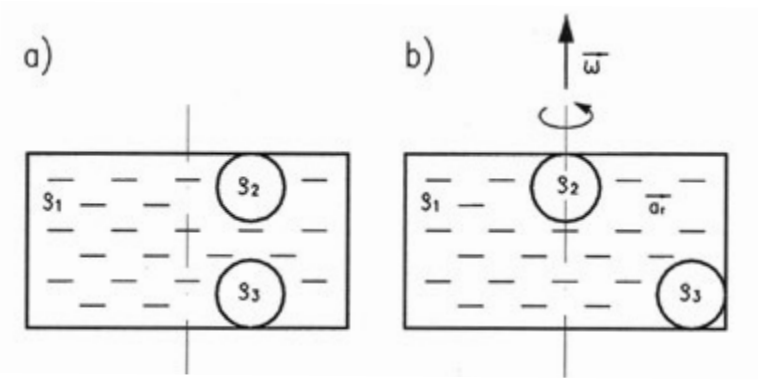
do kwadratu odległości r od osi obrotu, a więc powierzchnia swobodna cieczy tworzy paraboloidę. Ponadto, kształt tej paraboloidy nie zależy od gęstości cieczy, natomiast wysokość h jest wprost proporcjonalna do kwadratu prędkości kątowej ω, czyli paraboloida staje się bardziej stroma dla szybkich obrotów.

Paraboloidalny kształt powierzchni cieczy bardzo łatwo można zauważyć podczas mieszania herbaty lub kawy. Ponieważ zwierciadło paraboliczne nie wykazuje aberracji sferycznej, to podejmowane są próby wytworzenia zwierciadła nie mającego tej wady optycznej przy użyciu stopionego metalu, jako wirującej cieczy.

W celu zilustrowania prawa Archimedesa w wirującym układzie odniesienia można wykorzystać otwarte naczynie, częściowo wypełnione cieczą o gęstości ρ_1, np. wodą, w której są umieszczone dwie kulki o jednakowych średnicach (rys. 8). Pierwsza z tych kulek ma gęstość $\rho_2 < \rho_1$ i pływa w cieczy, a druga o gęstości $\rho_3 > \rho_1$ leży na dnie naczynia. Po wprawieniu naczynia w ruch obrotowy, np. za pomocą wirownicy szkolnej, pierwsza kulka przemieści się w stronę osi obrotu, a druga w kierunku ściany naczynia. Przyczyną tego jest różnica wartości sił odśrodkowych, działających na kulki, która wynika z różnicy ich gęstości.

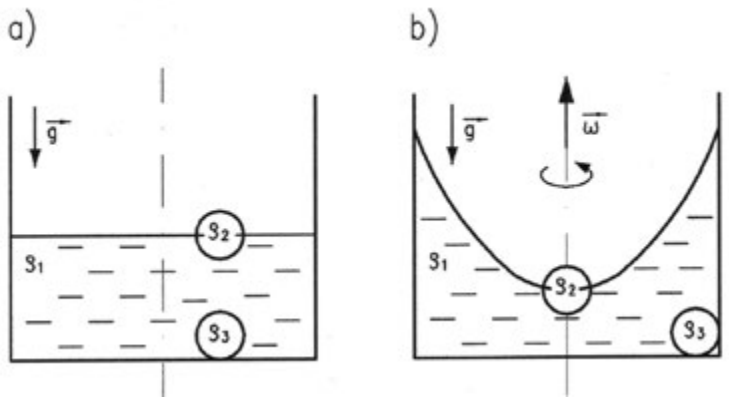
Interesujący sposób na pokazanie pływania ciał w wirującym układzie odniesienia polega na wykorzystaniu w tym celu rurki w kształcie litery V, zamkniętej na końcach i całkowicie wypełnionej cieczą (rys. 9). Wewnątrz rurki znajdują się dwie kulki, takie same jak w poprzednim doświadczeniu. Gdy rurka pozostaje nieruchoma i jest ustawiona pionowo, to kulka o większej gęstości ρ_3 zajmuje najniższe położenie na osi rurki, a kulka o mniejszej gęstości ρ_2 znajduje się w górnym końcu jednego z ramion rurki. Po wprawieniu rurki w ruch obrotowy wokół jej osi symetrii, kulka o większej gęstości ρ_3 wypłynie w górnym końcu jednego z ramion, a luka o mniejszej gęstości ρ_2 opadnie do środkowej części rurki.

Podane przykłady są tylko niewielką częścią licznego zbioru zastosowań prawa Archimedesa. Opisane w ostatnim doświadczeniu, zaskakujące zachowanie się kulek bywa tematem zadań podczas konkursów fizycznych [7]. Zamiast kulki o mniejszej gęstości można wprowadzić pęcherzyk powietrza i rozważyć jego zachowanie się w takiej rurce.

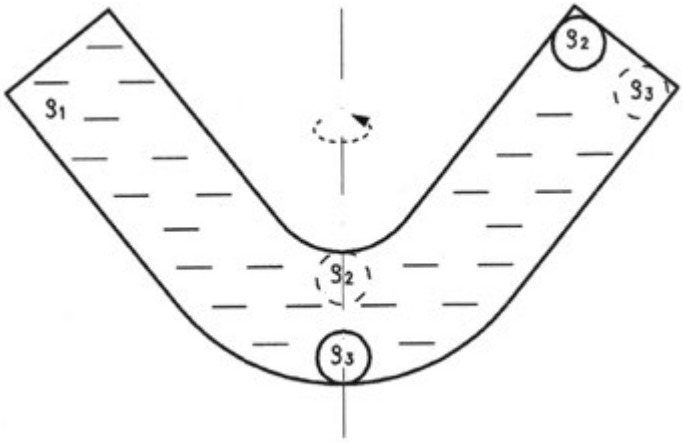


Rys. 6. Pływanie kulek o różnych gęstościach w zamkniętym wirującym naczyniu; ρ_1 – gęstość cieczy wypełniającej naczynie, ρ_2, ρ_3 – gęstości zanurzonych w niej kulek, $\rho_1 > \rho_2$, $\rho_1 > \rho_3$, $\rho_3 > \rho_2$, **ω** *– prędkość kątowa,* $\mathbf{a}_r$ *– przyspieszenie odśrodkowe.*

eprasa.pl 7edcb48ebe



*Rys. 8. Zachowanie się kulek o różnych gęstościach w otwartym naczyniu; a) nieruchomym, b) wirującym; ρ_1 – gęstość cieczy zawartej w naczyniu, ρ_2, ρ_3 – gęstości kulek, $\rho_2 < \rho_1 < \rho_3$, **g** – przyspieszenie ziemskie, **ω** – prędkość kątowa.*



Rys. 9. Zachowanie się kulek o różnych gęstościach w zamkniętej, wirującej rurce w kształcie litery V; ρ_1 – gęstość cieczy wypełniającej rurkę, ρ_2, ρ_3 – gęstości kulek, $\rho_2 < \rho_1 < \rho_3$.

Obracające się naczynia z pływającymi kulkami są modelami wirówek, znajdujących szerokie zastosowania, m.in. w laboratoriach do rozdzielania składników zawiesin, w przemyśle mleczarskim do produkcji śmietany, a także podczas szkolenia pilotów i kosmonautów. Poprawa równowagi obiektów pływających ma ważne znacznie dla bezpieczeństwa żeglugi. Podsumowując można wyciągnąć wniosek, że tego rodzaju przykłady pozwalają lepiej zrozumieć znacznie prawa Archimedesa.

Stanisław Bednarek,
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Łódzkiego

LITERATURA

[1] S. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, część I, mechanika i akustyka, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1972.
[2] J. Jędrzejewski, Zbiór zadań z fizyki dla uczniów szkół średnich i kandydatów na studia, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2012.
[3] B. Mendel, Zbiór zadań z fizyki dla szkół ponadgimnazjalnych zakres podstawowy, Wydawnictwo Nowa Era, Warszawa 2012.
[4] W. Mizerski (red.), Tablice matematyczne, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2008.
[5] I. N. Bronsztejn, K. A. Siemiendiajew, G. Musiol, H. Mühling, Nowoczesne kompendium matematyki, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
[6] I. Dziubiński, T. Świątkowski (red.), Poradnik matematyczny, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1980.
[7] P. Goldstein, P. Kniaź, A. Smulski, D. Sokołowska, W. Zawadzki, Ogólnopolski Konkurs Fizyczny Lwiątko, zadania z rozwiązaniami, Wydawca: Fundacja Akademia Młodych Fizyków, Kraków 2019.

Przestrzeń i czas Hermanna Minkowskiego

Dokończenie ze str. 37

Część jego przemówienia zatytułowana „***Przestrzeń i czas***” wygłoszona na 80. Zgromadzeniu Niemieckich Przyrodników i Lekarzy (21 września 1908 r.) jest teraz znana:

Poglądy dotyczące czasu i przestrzeni, które pragnę wam przedstawić, wyrosły z gruntu fizyki doświadczalnej i w tym tkwi ich siła. Są radykalni. Odtąd sama przestrzeń i sam czas są skazane na to, by rozpłynąć się w cieniu i tylko pewnego rodzaju zjednoczenie obu tych elementów może zachować niezależną rzeczywistość.

Z historii czasoprzestrzeni

Dodanie czwartego wymiaru pojawia się w opracowaniu „*Wymiary*” autorstwa Jean-Baptiste le Rond d’Alembert (1717-1783) opublikowanym w 1754 r.[14] Matematyka więcej niż trzech wymiarów pojawiła się dopiero w XIX w., a koncepcja przestrzeni euklidesowej została w pełni rozwinięta przez szwajcarskiego matematyka Ludwiga Schläfliego przed 1853 r. Praca ta nie cieszyła się dużym zainteresowaniem za jego życia. Opublikowana została w 1901 r.[15] W międzyczasie czwarty wymiar euklidesowy został ponownie odkryty przez innych. W 1880 r. Charles Howard Hinton spopularyzował ją w eseju „*Co to jest czwarty wymiar*?”[16], w którym wyjaśnił pojęcie „*czterowymiarowego sześcianu*” z uogólnieniem krok po kroku właściwości linii, kwadratów i sześcianów. Najprostszą formą metody Hintona jest narysowanie dwóch zwykłych sześcianów 3D w 2D przestrzeni, z których jedna obejmuje drugą, oddzielonych „*niewidoczną*” odległością, a następnie narysowanie lini między ich równoważnymi wierzchołkami.

Przestrzenie o wymiarach większych niż trzy stały się od tego czasu jedną z podstaw formalnego wyrażania współczesnej matematyki i fizyki. Teoria względności Einsteina jest sformułowana w przestrzeni 4D. Koncepcja czasoprzestrzeni Einsteina ma strukturę czasoprzestrzeni Minkowskiego opartej na geometrii nieeuklidesowej z trzema wymiarami przestrzennymi i jednym wymiarem czasowym, zamiast czterech symetrycznych wymiarów przestrzennych przestrzeni euklidesowej 4D Schläfliego[17].

Minkowski zmarł nagle w wieku 44 lat.

dr Kazimierz Mikulski
Maksymilianowo

[14] Cajori, Florian (1926). „Początki koncepcji czwartego wymiaru”. The American Mathematical Monthly (opublikowany 6 marca 2018 r.). 33 (8): 397–406. doi: 10.1080/00029890.1926.11986607 https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00029890.1926.11986607

[15] Schläfli, Ludwig (1901) [1852], Graf, JH (red.), *Theorie der vielfachen Kontinuität*, ponownie opublikowane przez Cornell University Library historyczne monografie matematyczne 2010 (w języku niemieckim), Zurych,

[16] Więcej https://en.wikisource.org/wiki/What_is_the_Fourth_Dimension%3F

[17] https://en.wikipedia.org/wiki/Regular_4-polytope

eprasa.pl 7edcb48ebe

Ile jest praw Pascala?

(Miniatura dydaktyczna)

Waldemar **Reńda**

Czytając podręczniki fizyki, można mniemać, że tyle jest rodzajów sformułowań owego prawa, ilu jest autorów tych podręczników. Zdarza się nawet, że niektórzy z nich, zapewne dostrzegając trudność w jego sformułowaniu, pomijają go. Tak było np. w podręczniku fizyki dla kl. I liceum E. Gabrielskiego.

Zadaniem dydaktyki danego przedmiotu jest m.in. uściślanie definicji wielkości fizycznych oraz sformułowań praw fizycznych. I właśnie temu celowi ma służyć ta praca.

Nie dotarłem do tego, czy i ewentualnie jak B. Pascal sformułował to prawo.[1] Obecnie najczęściej spotyka się następującą jego postać:

„Ciśnienie wywierane z zewnątrz na ciecz rozchodzi się w niej jednakowo we wszystkich kierunkach.” Dodaje się także, że owo prawo obowiązuje również w gazach.

Ale bywają inne wersje. Oto np. w podręczniku dla gimnazjum[2] była taka jego wersja: „Wzrost ciśnienia wywieranego na ciecz lub gaz wywołuje takie samo zwiększenie ciśnienia w całej objętości cieczy lub gazu.”

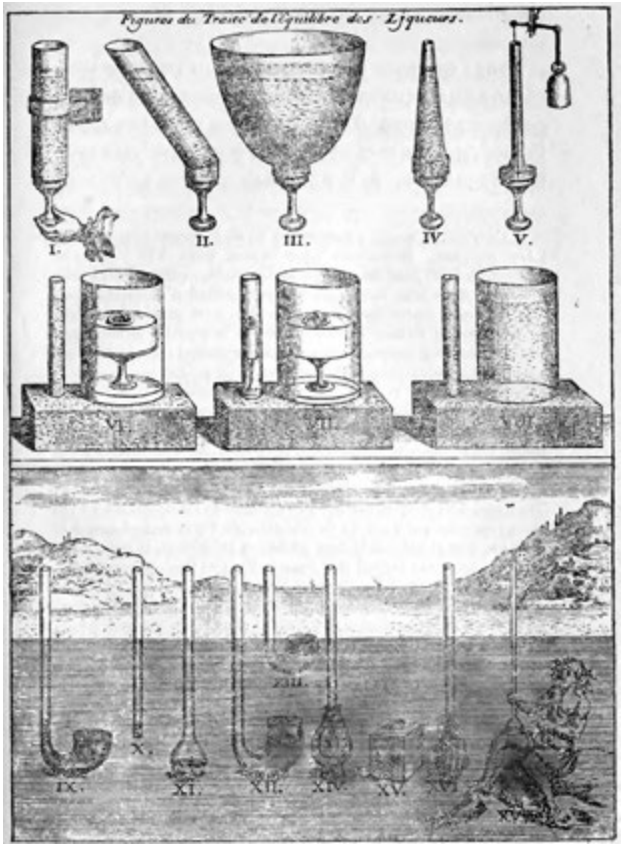
H. Kuchling w swej *Fizyce*[3] pisze: „Jeśli na ciecz zostaje wywarte ciśnienie z zewnątrz, rozkłada się ono w niej równomiernie”, ale nie nazywa tego prawem Pascala.

W *Ilustrowanej encyklopedii dla wszystkich*[4] czytamy: „…ciśnienie dodatkowe w całej objętości jest stałe.”

W 6-tomowej *Encyklopedii Powszechnej*, w tomie 4. na str. 793. czytamy: „Jeżeli pominiemy siły ciężkości, to w każdym punkcie cieczy panuje jednakowe ciśnienie równe ciśnieniu zewnętrznemu.”

Natomiast w podręczniku fizyki R. Resnicka i D. Halliday’a w tomie I na s. 432. czytamy: „Ciśnienie wywierane na zamknięty płyn jest przekazywane niezmienione na każdą część płynu oraz na ścianki naczynia.”

Aby ocenić poprawność wyżej wymienionych sformułowań, muszę najpierw parę słów poświecić wielkości fizycznej jaką jest ciśnienie.



Plansza z traktatu o właściwościach płynów

W przypadku gazów jest ono jednym z parametrów określających stan fizyczny danej masy gazu.[5] Związane jest ono z gęstością cząsteczek gazu oraz średnią energią kinetyczną ruchu postępowego tych cząsteczek, czyli temperaturą gazu.

W dydaktyce szkolnej pojęcie ciśnienia wiążemy z wzajemnym oddziaływaniem ciał. Jeżeli na przykład ciecz naciska na ścianki naczynia, to siła nacisku działająca na element powierzchni ΔS jest proporcjonalna do tej powierzchni. Zapis wektorowy owej zależności jest następujący: $\mathbf{F} = p \cdot \Delta \mathbf{S}$, gdzie $\Delta \mathbf{S}$ jest wektorem o długości/wartości równej ΔS i zwrocie zgodnym ze zwrotem siły $\mathbf{F}$. W tym przypadku wielkość fizyczna oznaczona symbolem p jest współczynnikiem owej proporcjonalności.

Z powyższej zależności wynika, że: $p = F/\Delta S$. Iloraz ten jest ilorazem wartości wektorów $\mathbf{F}$ i $\Delta \mathbf{S}$, gdyż nie należy dzielić wektora przez wektor. W efekcie otrzymaliśmy wielkość skalarną, którą nazwano ciśnieniem. W praktyce szkolnej definiuje się ją jako stosunek **wartości** siły działającej na daną powierzchnię do wielkości tej powierzchni.

[1] Prawdopodobnie sformułowano je później w oparciu o opisane przez Pascala doświadczenie z beczką, które wykonano w 1653 roku pod jego kierunkiem. Dodam, że B. Pascal „dla przyjemności” obliczył ciężar atmosfery ziemskiej, otrzymując 8 283 889 440 000 000 000 funtów. (Źródło: A. K. Wróblewski, *Historia fizyki*, Warszawa PWN 2006, s. 143.) Proponuję – również dla przyjemności – sprawdzenie tego wyniku, zakładając, że wówczas we Francji obowiązywał funt karoliński równy ok. 0,409 kg.

[2] J. Poznańska, M. Rowińska, E. Zając, *Ciekawa fizyka*, Część 1. s. 85. WSiP, Warszawa 2009. Dodam, że autorki słusznie stosują nazwę „rozszerzalność temperaturowa” a nie „cieplna” ciał.

[3] H. Kuchling, Fizyka, PWN Warszawa 1971, s. 126. Dodam, że zamiast nazwy „swobodny spadek”, pisze on: „**swobodne spadanie** ciał w polu grawitacyjnym”. I to jest wersja dydaktycznie poprawna, bo dotyczy przebiegu zjawiska, a nie jednorazowego faktu.

[4] *Ilustrowana encyklopedia dla wszystkich. Fizyka* pod redakcją A. Januszajtisa i J. Langera, WN-T, Warszawa 1987. s. 194.

[5] Por. równanie Clapeyron.

eprasa.pl 7edcb48ebe

Oczywiście definicja ta jest poprawna, gdy siła nacisku rozkłada się równomiernie na całej powierzchni, na którą działa. W innych przypadkach otrzymamy wartość średnią.

Wróćmy jednak do prawa Pascala

W przytoczonych wyżej sformułowaniach mówi się o „ciśnieniu **wywieranym** na ciecz…" Czy słusznie? Mam wątpliwości, bo „wywieranie" wiąże się raczej z działaniem skierowanym, a więc z siłą, a ciśnienie jest wielkością skalarną.

Dalej: czy ciśnienie „rozchodzi się" po całej cieczy? Użyłbym raczej stwierdzenia, że jest przenoszone lub przekazywane przez cząsteczki ośrodka. Ale taki proces musi się wiązać z upływem czasu. Czy zatem zmiana wartości ciśnienia w całym zbiorniku jest natychmiastowa, czy wymaga czasu? Należy zauważyć, że chcąc wywołać nacisk na dane ciało, musimy zadziałać na cząsteczki ośrodka siłą. W wyniku tego działania cząsteczki te ulegną nieznacznemu przemieszczeniu. Tworzy się chwilowe zgęszczenie ośrodka. Powstaje zatem impuls falowy, który rozchodzi się w cieczy jako fala podłużna. A zatem zmiana ciśnienia rozprzestrzenia się w cieczy czy gazie z taką prędkością, z jaką biegnie fala dźwiękowa w tym ośrodku. Ponieważ jest to bardzo duża prędkość, zatem na ogół czas zmiany ciśnienia w danym zbiorniku jest niedostrzegalnie mały. Może on jednak być zauważalny w rurociągach o znacznej długości.

Zwykle zastrzega się, że prawo Pascala jest słuszne dla cieczy nieściśliwej, ale przecież prawo to jest słuszne również dla ściśliwych gazów, a i ciecze mają, wprawdzie znikomo małą, ale różną od zera ściśliwość. Ostatecznie przecież biegnie przez nie podłużna fala dźwiękowa, a zatem mogą w nich występować niewielkie zgęszczenia i rozrzedzenia cząsteczek.

Jak zatem należałoby sformułować owo prawo?

Zacznijmy od początku. Jeżeli ciecz jest w otwartym zbiorniku i jest w spoczynku, to na głębokości *h* ciśnienie ma wartość: $p = \rho \cdot g \cdot h$, gdzie ρ to gęstość cieczy, a *g* jest wartością przyspieszenia ziemskiego. Przy czym ciśnienie to nazywamy ciśnieniem hydrostatycznym i jest jednym z parametrów stanu tej cieczy.[6] Wiemy dalej, że ciśnienie to wywołane jest ciężarem cieczy. I tu uwaga! Na ciężar, czyli siłę ciężkości ciała, składa się zarówno oddziaływanie grawitacyjne jak i bezwładnościowe. Dlatego w obliczeniach uwzględniamy wartość przyspieszenia ziemskiego ***g*,** które jest sumą wektorową przyspieszenia grawitacyjnego **γ** (natężenia pola grawitacyjnego w danym punkcie przestrzeni) oraz przyspieszenia odśrodkowego związanego z siłą odśrodkową bezwładności. Wynika to stąd, że ów zbiornik z cieczą znajduje się w nieinercjalnym układzie odniesienia związanym z obracającą się Ziemią.[7]

Ponieważ jednak nad cieczą znajduje się atmosfera, która wywiera nacisk na powierzchnię cieczy, zatem do wartości ciśnienia hydrostatycznego należy dodać wartość ciśnienia zewnętrznego/atmosferycznego. Tak więc w każdym punkcie cieczy ciśnienie jest sumą ciśnienia zewnętrznego i hydrostatycznego. I to może być jedna z form prawa Pascala dla tego typu przypadków.

W przypadku zbiorników zamkniętych (piłka, opona, bojler, hydrofor), pomijając gradient ciśnienia hydrostatycznego (tym bardziej aerostatycznego), możemy stwierdzić, że ciśnienie w każdym punkcie cieczy lub gazu ma tę samą wartość.

Może jednak być inna sytuacja: Jeżeli na ciecz zamkniętą w sztywnym zbiorniku[8] zadziała siła **F** poprzez tłok o powierzchni S, to w każdym punkcie tej cieczy ciśnienie wzrośnie o: $\Delta p = F \cdot S$.

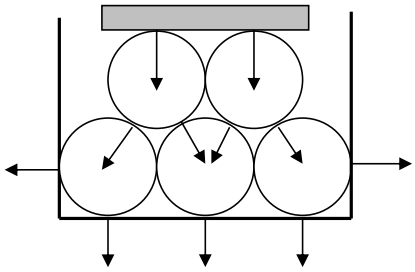
I to jest druga wersja owego prawa. Oczywiście przyrost wartości tego ciśnienia nie jest momentalny, ale o tym pisałem już wcześniej. W przypadku niewielkich zbiorników możemy przyjąć, że wzrost ten nastąpi równocześnie w całej objętości cieczy.

Jaki wynika stąd wniosek? Ano taki, że formuła prawa Pascala zależy od opisywanego przypadku. I na lekcji fizyki warto omówić te przypadki.

A jak owo prawo wprowadzać na lekcjach fizyki w szkole podstawowej?

Proponuje zacząć od demonstracji następującego doświadczenia:

Do przeźroczystego i elastycznego pojemnika wrzucamy kilka lub kilkanaście piłeczek do ping-ponga. Naciskając na nie z góry, zauważamy odkształcanie się ścianek pojemnika. (Rys.)



Jak widać, siły działające na piłeczki przenoszone są we wszystkich kierunkach. Podobnie przenoszone są oddziaływania w cieczy czy gazie. Oczywiście każdej z tych sił odpowiada równa jej i przeciwnie skierowana siła reakcji. Dlatego też cały układ jest w równowadze.

I na koniec: wyciskając sok z cytryny czy też pastę do zębów z tubki, wspomnijmy genialnego uczonego francuskiego Blaise (Błażeja) Pascala i jego prawo.

Waldemar Reńda
Olkusz, 2023

[6] W przypadku gazów jest to ciśnienie aerostatyczne.

[7] Siły te należy również uwzględnić, gdy zbiornik znajduje się w innych układach nieinercjalnych jak np. w startującej rakiecie czy też w przyspieszającym lub hamującym pojeździe.

[8] To znaczy taki zbiornik, który nie ulega dokształceniu pod wpływem działających na niego sił.

eprasa.pl 7edcb48ebe

Fizyka w 950 kapsułkach

Anna **Kaczorowska**

Jak nauczyciel fizyki może wykorzystać platformę edukacyjną Ministerstwa Edukacji Narodowej

Na platformie edukacyjnej o adresie www.zpe.gov.pl znajdziecie Państwo prawie tysiąc materiałów edukacyjnych pomocnych w pracy dydaktycznej. Są one wynikiem realizacji projektu Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej o nazwie „Fizyka w 950 kapsułkach". Autorami tekstów są młodzi pracownicy naukowi Wydziałów Fizyki Politechniki Warszawskiej i Uniwersytetu Warszawskiego oraz doświadczeni nauczyciele liceów. W sumie ponad dwadzieścia osób.

Materiały wyczerpują podstawę programową dla profilu podstawowego i rozszerzonego, ale nie tylko. Oprócz zagadnień zawartych w podstawie jest cykl 20 biogramów wybitnych fizyków oraz 50 materiałów dotyczących zagadnień przekrojowych i metodologicznych związanych z fizyką. O ich opracowanie poprosiliśmy prof. Andrzeja K. Wróblewskiego (biogramy) i profesora Jana Plutę (zagadnienia przekrojowe). Kierownikiem projektu był prof. dr inż. Przemysław Duda.

1. Jak wygląda każdy z kilku setek materiałów?

Każdy z materiałów został opracowany według tego samego schematu:

- krótki wstęp, w którym informujemy, co będzie treścią materiału i na jakie pytania uczeń znajdzie odpowiedź,
- opracowane merytorycznie zagadnienie,
- interakcyjne medium wraz z 2-3 pytaniami sprawdzającymi zrozumienie treści podanych w medium,
- 8 interakcyjnych zadań sprawdzających skonstruowanych według taksonomii Blooma,
- scenariusz lekcji dla nauczyciela z wykorzystaniem materiału.

2. Czym nie jest ten projekt?

Projekt nie jest podręcznikiem z logicznie uporządkowanym układem treści. Jest zbiorem materiałów, z których teoretycznie każdy nauczyciel może stworzyć swój własny podręcznik do własnego programu. Z materiałów można korzystać w sposób wybiórczy. W tabeli podane są linki do krótkich instruktarzowych filmów.

3. Czym jest ten projekt i jak z niego korzystać?

Projekt jest zbiorem bardzo dobrze i bardzo szczegółowo opracowanych zagadnień na poziomie liceum i technikum o różnym poziomie trudności. Jeden problem fizyczny jest pokazany na 3-4 sposoby z użyciem różnych mediów i to czyni go bardziej atrakcyjnym i lepiej rozumianym. Podam przykład: ruch ciała na równi pochyłej. W projekcie poświęcamy mu pięć materiałów o następujących tytułach:

- Rozkład sił na ciał znajdujące się na równi – medium grafika interaktywna.
- Jak opisać ruch ciała na równi pochyłej – medium – film samouczek.
- Ruch ciała na równi pochyłej z uwzględnieniem siły tarcia – medium – film samouczek.
- Ciało na równi pochyłej w zadaniach – medium – gra edukacyjna.
- Narciarz na stoku – medium – symulacja interaktywna.

Każdy z materiałów spełnia wymogi układu treści, o których była mowa wcześniej, a więc uczeń ma do dyspozycji 40 zadań interaktywnych oraz jeden z materiałów poświęcony tylko sposobom rozwiązywania zadań.

4. O mediach bardziej szczegółowo

Najciekawszą i oryginalną częścią każdego materiału są media. Autorami tej części był zespół informatyków zatrudnionych do projektu a pomysłodawcą autor tekstu konkretnego materiału.

- Animacja

Wykonaliśmy ich 127. Jest to forma graficzna obrazująca zjawisko, którą uczeń ogląda bez możliwości zmiany parametrów lub miejsca obserwacji. Na przykład ogląda reakcję łańcuchową rozszczepienia jądra atomowego bez możliwości zmiany jąder i współczynnika powielenia.

- Symulacja interaktywna

Jest ich 124. Wiele z nich wykonane jest w geo-gebrze. Uczeń nie tylko obserwuje graficzny obraz zjawiska, ale może zmieniać parametry i punkt obserwacji.

- Audiobook

38 materiałów ma takie medium. Jest to nagranie tekstu uzupełniającego informacje zawarte w części głównej. Na

Wprowadzenie

Czy to nie ciekawe

Niby prosta zabawa- bujanie się na huśtawce, a można, analizując jej ruch powiedzieć wszystko o energii w ruchu drgającym. A więc: w ruchu tym występują dwa rodzaje energii i jeden w sposób płynny przechodzi w drugi. Ruch jest tłumiony i, gdyby nie dostarczać energii z zewnątrz, to by zanikł. Dostarczanie energii z zewnątrz nie może odbywać się sposób dowolny, a tylko taki, by wywołać rezonans. Czy to nie ciekawe?

eprasa.pl 7edcb48ebe

przykład w biogramach dotyczących uczonych w audiobookach zawarliśmy ich dokonania naukowe.

- Film edukacyjny (standardowy)

Skorzystaliśmy z tej formy 78 razy. Posłużyła nam do sfilmowania doświadczeń fizycznych wykonanych w szkolnej pracowni fizycznej, w pracowni pokazów lub pracowni badawczej Politechniki Warszawskiej. Znalazły się również wywiady z uczonymi, którzy zaprezentowali nam swoje osiągniecia lub wyniki badań.

- Film samouczek

Wykonaliśmy ich 286. Film samouczek to jakby filmowana tablica szkolna w czasie rozwiązywania na niej zadania lub wyprowadzenia zależności fizycznych. Jednocześnie głos lektora informuje – odczytuje zapisywane wzory na „tablicy". Bardzo dobra forma służąca nauce rozwiązywania zadań. Uczeń może wielokrotnie powtórzyć sobie tok rozumowania przedstawiony w materiale.

- Gra edukacyjna

Stworzyliśmy ich 25. Każda z nich ma pewną strategię. Nie są to gry, które rozgrywa kilku grających. To raczej sprawdzenie się, sprawdzenie swojej wiedzy w atrakcyjnej formie. Szczególnie ciekawe są gry w materiałach dotyczących astronomii. Symulują one wyprawy do planet Układu Słonecznego, a dotarcie do celu jest zdeterminowane wynikiem gry.

- Grafika interaktywna

139 razy pojawia się w naszym projekcie. Jest to rodzaj interaktywnego plakatu podzielonego na fragmenty, które pojawiają się jako nagroda za dobre odpowiedzi ucznia.

- Mapa pojęciowa

Tę formę wykorzystaliśmy 14 razy. Głównie w materiałach podsumowujących dział, przekrojowych, gdzie dobrą formą powtórzenia jest klasyfikacja. Tworzenie mapy pojęciowej to tworzenie swoistej „pajęczyny" pokazującej zależności pomiędzy pojęciami fizycznymi.

- Wirtualne Laboratoria (2 rodzaje)

To najtrudniejsza dla autorów i informatyków forma. Występuje w 41 materiałach. Wirtualne laboratorium służy uczniowi do wykonania symulacji doświadczenia, które w bardzo wielu wypadkach może wykonać (lub powtórzyć) w odpowiednio wyposażonej pracowni fizycznej. Gorąco do tego zachęcamy. Część tych laboratoriów wyposażonych jest w instrukcję doświadczenia krok po kroku, a część to laboratoria, w których uczeń musi sam wybrać przyrządy z tych, które są mu zaprezentowane i sam musi wymyślić strategię postępowania, aby zweryfikować hipotezę. W dalszej części podany jest sposób opracowania danych, sporządzenia wykresu, sformułowania wniosku.

Lp	tytuł	link
1 (951)	Ruch jednostajny prostoliniowy	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DEe0TBuwj?lang=pl
2 (952)	Ruch jednostajnie zmienny po prostej	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D15UDWpF1?lang=pl&wcag=
3 (953)	Ruch po okręgu	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DEUVOXk1X?lang=pl
4 (954)	Zasady dynamiki	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DYtSFQqJ7?lang=pl
5 (955)	Praca i moc	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DeWIQVKyb?lang=pl
6 (958)	Statyka i kinematyka bryły sztywnej	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DcAWvvnRS?lang=pl
7 (959)	Energia i moment pędu bryły sztywnej	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DwMep1vUA?lang=pl
8 (960)	Grawitacja	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D9OWWQ3x7?lang=pl
9 (961)	Prawa Keplera	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D15scIlkM?lang=pl
10 (962)	Astronomia podstawy	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DDDKKDMQg?lang=pl
11 (964)	Gwiazdy i galaktyki	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D1DeSm3er?lang=pl
12 (965)	Ruch drgający	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DiyaXHVEi?lang=pl
13 (966)	Energia w ruchu harmonicznym	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D6rakMvHO?lang=pl
14 (967)	Przemiany gazowe	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D1dELCs2Y?lang=pl
15 (968)	Przemiany fazowe	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D1EVLzDMn?lang=pl
16 (969)	Zasady termodynamiki	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DZ9vNlNxN?lang=pl
17 (970)	Pole elektrostatyczne	https://edytor.zpe.gov.pl/x/Dxo3ZWd2A?lang=pl
18 (971)	Kondensatory	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DqMW77AL4?lang=pl
19 (973)	Prawo Gaussa i jego konsekwencje	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DgiQkQ162?lang=pl
20 (974)	Prąd elektryczny	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D1BhGZck0?lang=pl
21 (975)	Prawa Kirchhoffa i obwody elektryczne	https://edytor.zpe.gov.pl/x/Dhn7wSmTY?lang=pl
22 (976)	Półprzewodniki	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DmgIzplAd?lang=pl
23 (977)	Zastosowanie półprzewodników	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DdHmrJFv0?lang=pl
24 (978)	Opór elektryczny	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D16QGZ0Dw?lang=pl
25 (979)	Indukcja elektromagnetyczna	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D1Em7MeEy?lang=pl
26 (981)	Równania Maxewlla	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D1HsiizsA?lang=pl
27 (982)	Soczewki	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D6PX10aIx?lang=pl
28 (983)	Zwierciadła	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D1B5Zhj90?lang=pl
29 (985)	Dyfrakcja i interferencja	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D5NBegSXK?lang=pl
30 (988)	Zasada zachowania pędu i zderzenia	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D1HriLc0L?lang=pl
31 (989)	Widmo fal elektromagnetycznych	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DPuVabeGq?lang=pl
32 (990)	Widma emisyjne i absorpcyjne	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DWGqLfNLq?lang=pl
33 (991)	Fizyka Atomowa	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DL00CJnaH?lang=pl&wcag=
34 (992)	Teoria względności	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DMJy1iqGU?lang=pl
35 (993)	Jądro atomowe	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DqxbLBs7b?lang=pl
36 (994)	Rozpady promieniotwórcze	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DasUUO0v?lang=pl
37 (1000)	Ewolucja Wszechświata	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DPqinFkhF?lang=pl
38 (1002)	Cząstki naładowane i siły elektryczne	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DLco8TymT?lang=pl
39 (1006)	Ruch złożony	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DWmXq0CX?lang=pl
40 (1007)	Zjawisko tarcia	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D1BbEqvkR?lang=pl
41 (1008)	Układy nieinercjalne	https://edytor.zpe.gov.pl/x/Ddx7Gr4PW?lang=pl
42 (1009)	Energia mechaniczna	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D1Htb2eTe?lang=pl
43 (1010)	Hydrostatyka	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DvQnY1AaW?lang=pl
44 (1011)	Model bryły sztywnej i dynamika bryły sztywnej	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DKfqUrLLQ?lang=pl
45 (1012)	Okres drgań w ruchu harmonicznym	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DG7OM5OV6?lang=pl
46 (1013)	Siły w polu magnetycznym	https://edytor.zpe.gov.pl/x/Dtz4BeKGU?lang=pl
47 (1014)	Pole magnetyczne	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D10AwSb5Q?lang=pl
48 (1015)	Prąd zmienny	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D4Io4l3T5?lang=pl
49 (1016)	Polaryzacja	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DtaFVeLzE?lang=pl
50 (1017)	Fale mechaniczne	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D7X9tDL07?lang=pl
51 (1018)	Reakcje jądrowe	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DFkU1zMLQ?lang=pl
52 (1019)	Promieniowanie jonizujące	https://edytor.zpe.gov.pl/x/D13bQu9CS?lang=pl
53 (1020)	Energetyka jądrowa	https://edytor.zpe.gov.pl/x/DXTr55fyS?lang=pl

Wszystkie materiały zostały przystosowane również dla uczniów niewidomych i niedowidzących. Była to ogromna praca specjalistów. Takie dostosowanie polega na stworzeniu tekstów- opisów tego, co uczeń widzący widzi na ekranie.

Bardzo trudno jest z liczby ponad 900 materiałów wybrać te, które byłyby przydatne do realizacji lekcji. Dlatego zostały nagrane krótkie filmy, w których przedstawiamy po kilka wybranych materiałów, wskazując ich kolejność i sposób wykorzystania na lekcji. W tabeli podane są działy fizyki oraz adresy, pod którymi są instruktażowe filmy.

Dr Anna Kaczorowska
W projekcie lider zespołu autorów i autorka tekstów.
Nauczycielka fizyki XIX Liceum Ogólnokształcącego im. Powstańców Warszawy w Warszawie.

eprasa.pl 7edcb48ebe

Jak uczyć się rozwiązywania zadań fizycznych, jak doskonalić tę umiejętność i jak sprawdzić wyniki rozwiązania zadania?

Czesław **Surowiec**

Co należy wiedzieć o fizyce?

Fizyka jest podstawową nauką o przyrodzie zajmująca się badaniem zjawisk zachodzących w otaczającym nas świecie. W opisie zjawisk i ich wyjaśnieniu posługujemy się:

Nazwami – nazwa (określenie, termin) jest to wyraz lub połączenie wyrazowe oznaczające kogo lub co.

Pojęciami – pojęcie jest to treść, znaczenie nazwy (opis istotnych cech) np. zdefiniuj pojęcie oznacza „wyjaśnij znaczenie tego słowa"

Wielkościami – wielkość fizyczna jest to cecha mierzalna ciała lub zjawisk posiadająca wartość liczbową, wymiar (miano). Każda wielkość fizyczna posiada umowne oznaczenie literowe np. droga s, czas t, powierzchnia S, objętość V.

Prawami – prawo fizyczne jest to twierdzenie dotyczące zjawiska fizycznego uzasadnione doświadczalnie, posiadające pewne ograniczenia.

Zasadami – zasady fizyczne mają postać powszechnie obowiązujących praw (uniwersalnych).

Teoriami – teoria fizyczna jest to układ (system) praw opisujących zjawisko fizyczne lub całą klasę zjawisk fizycznych.

Co należy wiedzieć o zadaniach fizycznych?

Zadania fizyczne w szkole podstawowej, zazwyczaj stanowią niewielki problem możliwy do rozwiązania za pomocą:

a) Logicznego wnioskowania.
b) Działań matematycznych.
c) Doświadczenia.
d) Sporządzeniu wykresu lub rysunku.

Zgodnie z tym, co określiliśmy jako różne sposoby rozwiązywania zadań dzielimy je na:

a) Jakościowe.
b) Obliczeniowe.
c) Doświadczalne.
d) Graficzne.

Co sprawdzają zadania fizyczne?

a) Zrozumienie posiadanej wiedzy fizycznej.
b) Umiejętność praktycznego jej zastosowania.
c) Umiejętność dokładnego analizowania treści zadania i wyciągania z niej wniosków.
d) Prawidłowość zastosowania praw fizycznych i zasad.
e) Umiejętności matematyczne.

Jakich umiejętności od uczniów wymaga rozwiązanie zadania?

a) Właściwego rozumienia znaczenia słów występujących w treści zadania.
b) Wyciąganie wniosków z treści zadania.
c) Właściwego doboru zależności, praw i zasad do zjawiska opisanego w zadaniu.
d) Posiadanie niezbędnej wiedzy matematycznej pozwalającej na otrzymanie właściwego wyniku.

Jak korzystać ze wskazówek dotyczących zasad i schematów rozwiązywania poszczególnych rodzajów zadań?

a) Z treści zadania należy ustalić do jakiego rodzaju zadań należy zaliczyć to zadanie.
b) Zapoznać się z treścią wskazówek dotyczących rozwiązywania danego rodzaju zadań, omówione w moim artykule zawarte w Fizyce w Szkole z Astronomią nr 1 z roku 2019.
c) Rozwiązując zadanie wykorzystywać wskazówki, których zadaniem jest ułatwienie rozwiązania i wypracowanie sposobu postępowania przy rozwiązywaniu zadań tego rodzaju.

Od czego zacząć rozwiązywanie zadania?

a) Zapoznając się z treścią rozwiązywanego zadania, zwróćmy szczególną uwagę na rozumienie znaczenia wszystkich słów występujących w jego treści. Jeśli nie rozumiemy znaczenia któregoś słowa, posłużmy się w jego wyjaśnieniu dostępnymi źródłami: encyklopedią fizyczną, słownikiem języka polskiego, Internetem itp., zwracając jednocześnie uwagę na różnicę znaczenia słów w języku potocznym i w fizyce.
b) Jeśli w treści zadania pojawia się jakieś zjawisko powinniśmy się zapoznać z dokładnym jego opisem w dostępnym dla nas źródle.
c) Jeśli zadanie rozwiązujemy na lekcji a treści zadania nie są w pełni zrozumiałe i budzą wątpliwości powinniśmy poprosić nauczyciela o wyjaśnienie wątpliwości.
d) Jeśli treść zadania jest dla nas całkowicie zrozumiała i jednoznaczna, możemy przystąpić do jego rozwiązania posługując się wskazówkami dla danego rodzaju zadań, oraz przykładami rozwiązań zadań z podręcznika.

Jak postępować, jeśli rozwiązywanie zadań nadal sprawia nam trudności?

a) Podjąć próbę samodzielnego rozwiązania zadania, którego rozwiązanie jest podane przykładowo w zbiorku zadań lub podręczniku (nie zapoznając się z nim) wykorzystując wskazówki podane w punkcie 6.
b) Porównać własne rozwiązania z rozwiązaniem przykładowym wyciągając wnioski z popełnionych błędów i unikając ich w przyszłości.
c) Rozwiązując podobne zadanie samodzielnie potwierdzimy postęp w opanowaniu umiejętności rozwiązywania zadań.

eprasa.pl 7edcb48ebe

d) Próby samodzielnego rozwiązywania zadań należy kontynuować, aż uzyskamy pełną zgodność rozwiązania i odpowiedzi.
e) Należy zwrócić uwagę na to, że rozwiązanie zadania możemy przeprowadzić różnymi poprawnymi sposobami, jednak wyniki uzyskane muszą być takie same.

Jak doskonalić umiejętność rozwiązywania zadań?

a) Jeśli potrafimy samodzielnie rozwiązywać proste zadania wykorzystując wskazówki dla danego rodzaju zadań możemy przystąpić do rozwiązywania zadań o podwyższonym stopniu trudności, które zazwyczaj w zbiorkach zadań i podręcznikach są specjalnie oznakowane.
b) Jeśli rozwiązując zadania o podwyższonym stopniu trudności popełniamy błędy, dobrze jest początkowo posługiwać się zbiorkami zadań zawierającymi pełne rozwiązania z dokładnymi objaśnieniami sposobu rozwiązywania, aby znaleźć przyczynę popełnianych błędów, jeśli wskazówki dotyczące rozwiązywania zadań danego rodzaju nie wystarczają do uniknięcia błędów.
c) Doskonaląc umiejętność rozwiązywania trudniejszych zadań, należy zwrócić uwagę na możliwość rozwiązania zadania różnymi sposobami i wybrać ten sposób, który w krótszym czasie i w sposób bardziej zrozumiały otrzymać rozwiązanie, gdyż jest to szczególnie ważne w przypadku sprawdzianu i konkursu, kiedy czas jest ograniczony.
d) Poprawność wyniku otrzymanego rozwiązania możemy sprawdzić jedną z metod podanych niżej.

Jak sprawdzić wyniki rozwiązania zadania?

a) Metoda wymiarów.

- Rozwiązując zadanie na oznaczeniach literowych otrzymujemy wynik w postaci zależności wielkości szukanej od danych.
- Przed wykonaniem obliczeń celowe jest sprawdzenie czy wymiar wielkości szukanej jest zgodny z wymiarem drugiej strony zależności, wykorzystując działania tylko na wymiarach wielkości występujących w zależności, zwłaszcza w przypadku, jeśli w wyniku występuje zależność złożona z dużej ilości wielkości
- Wymiary wielkości występujące w zależności powinny być wyrażone w o obowiązującym układzie SI.
- Niezgodność wymiarów obydwu stron zależności może być spowodowana błędem popełnionym podczas przekształcania zależności, co pozwala wykryć błąd i wyeliminować go.
- Metoda ta nie pozwala na wykrycie błędu, jeśli do rozwiązania zadania zastosowaliśmy niewłaściwy wzór (np. dla ruchu niejednostajnie zmiennego, wzór dla ruchu jednostajnego).

b) Metoda symetrii.

- Symetria jest to własność układu fizycznego, polegająca na tym, że dokonanie pewnych zmian opisujących układ wielkości prowadzi do układu fizycznego o takich samych właściwościach fizycznych, jak układ wyjściowy.
- Metodę tę możemy stosować, jeśli w opisie zadania pojawiają się jednakowo wymiarowo wielkości (elementy) w sposób symetryczny tak, że zmiana wskaźników nie zmienia zadania
- Jeśli symetryczne są elementy zadania, to taka sama symetria powinna się pojawić w odpowiedzi uzyskanej w wyniku rozwiązania zadania.
- Należy przez to rozumieć, że jeśli w otrzymanym wzorze, który jest rozwiązaniem zadania, zamienimy miejscami wskaźniki dla wielkości o tym samym wymiarze, to powinniśmy otrzymać taki sam wynik.

c) Metoda sprawdzania na prostych przypadkach

- Rozwiązując zadanie otrzymujemy ogólny wzór, który sprawdzamy dobierając najprostsze wartości dla wielkości występujących w zadaniu, dla których odpowiedź jest oczywista, czy dla nich otrzymujemy taki sam wynik jaki daje ogólny wzór.
- Jeśli podczas sprawdzania wyniku rozwiązania nie otrzymujemy oczekiwanej zgodności, powinniśmy sprawdzić czy właściwie dobraliśmy wartości najczęstszego przypadku.
- Przyczyną braku zgodności może być niewłaściwy dobór wybranego przypadku, który nie leży w zakresie dopuszczalnych wartości.
- Jeśli w wyniku rozwiązania występuje iloczyn wielkości lub potęga, podstawiamy wartość zero jednej z wielkości.
- W innych przypadkach powinniśmy przejść do przypadku granicznego, gdzie wybrana wielkość dąży do zera lub nieskończoności.

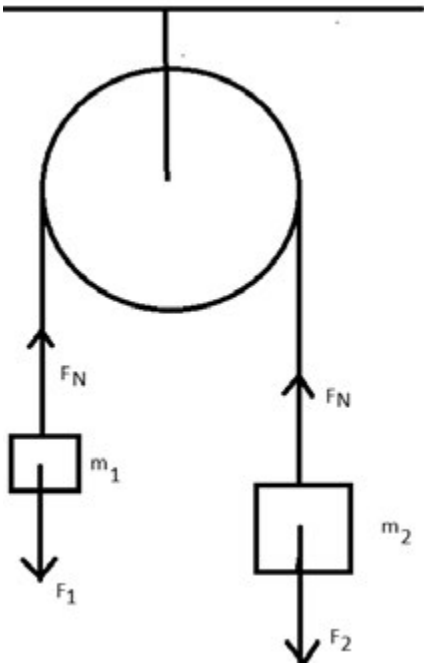
d) Metoda zakresu dopuszczalnych wartości.

- Metodę stosujemy, jeśli w wyniku rozwiązania zadania w liczniku lub mianowniku zależności otrzymanej po rozwiązaniu zadania pojawia się różnica wielkości.
- Jeśli w wyniku rozwiązania zadania w jego liczniku pojawia się różnica wielkości należy zwrócić szczególną uwagę dla jakich wartości tych wielkości wartość licznika wynosi zero.
- Jeśli w mianowniku rozwiązania występuje różnica wielkości, należy sprawdzić dla jakich wartości mianownik przyjmuje wartość zero.

PRZYKŁAD

Przez nieruchomy krążek przeciągnięto nierozciągliwą nieważką nić, do końca której przywiązano masy m_1 i m_2. Pomijając tarcie nici o krążek i opór powietrza oblicz:

a) Przyspieszenie układu.
b) Czas t potrzebny do przebycia drogi s dla $v_0=0$.
c) Naprężenie nici.
d) Sprawdź otrzymane wyniki tymi czterema metodami.



Rozwiązanie

a) Przyspieszenie układu obliczamy dla $m_2 > m_1$ korzystając z zależności

eprasa.pl 7edcb48ebe

$$a = \frac{\sum F}{\sum m}$$

$$a = \frac{m_2 g - m_1 g}{m_1 + m_2} = (m_2 - m_2) \cdot \frac{g}{m_1 + m_2} \qquad ①$$

b) Czas przebycia drogi s obliczamy z zależności:

$$s = \frac{at^2}{2} \quad \text{stąd} \quad t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$$

Podstawiając za ① otrzymujemy:

$$t = \sqrt{\frac{2s(m_1 + m_2)}{(m_2 - m_1)g}} \qquad ②$$

c) Stosując II zasadę dynamiki dla m_1

$$m_1 a = F_n - m_1 g$$

stąd

$$F_N = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} g \qquad ③$$

d) Sprawdzenie otrzymanych wyników

1. Metodą wymiarów sprawdzamy wzór ②

$$t = \sqrt{\frac{\mathrm{m} \cdot \mathrm{kg}}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m} \cdot \mathrm{s}^{-2}}} = \sqrt{\mathrm{s}^2} = \mathrm{s}$$

2. Stosując metodę symetrii zamieniamy F wskaźnik 1 na 2 dla masy m_1 poza wskaźnik 2 na 1 dla masy m_2 dla zależności ② i ③

Przed zmianą $a = (m_2 - m_1) \cdot \frac{g}{m_1 + m_2}$

po zmianie $a' = (m_1 - m_2) \cdot \frac{g}{m_1 + m_2} = -a$

Przed zmianą $F_N = 2m_1 \cdot m_2 \cdot \frac{g}{m_1 + m_2}$

po zmianie $F'_N = 2m_1 \cdot m_2 \cdot \frac{g}{m_1 + m_2} = F_N$

Jak łatwo zauważyć IaI =Ia′I i $F_N = F'_N$

3. Stosując metodę prostych przypadków możemy przyjąć, że m_1 lub $m_2 = 0$, otrzymujemy wówczas

dla $m_1 = 0 \quad a = \frac{m_2 \cdot g}{m_2} = g$

dla $m_2 = 0 \quad a = \frac{m_1 \cdot g}{m_1} = g \quad F_N = 0, \quad t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$

co jest czasem spadania swobodnego na drodze s

4. Stosując metodę dopuszczalnych wartości dla zależności ① m_2-m_1=0 otrzymujemy

$m_1 = m_2$ a=0, ponieważ na układ działają siły równoważące się, jeśli prędkość początkowa układu wynosi 0 układ pozostaje w spoczynku.

W przypadku zależności ② t musi spełniać warunek t > 0 dlatego

$$\frac{2s(m_1 + m_2)}{m_2 - m_1} \cdot g > 0 \quad \text{stąd} \quad m_2 > m_1$$

Czesław Surowiec
Dębica

Co w fizyce piszczy

Polscy naukowcy zajmą się kwantami

Polskie zespoły naukowców wezmą udział w aż ośmiu spośród 24 projektów wyłonionych w europejskim konkursie konsorcjum QuantERA. W programie tym finansowane są najlepsze międzynarodowe projekty badawcze z zakresu technologii kwantowych.

Czwarty konkurs sieci QuantERA został ogłoszony w styczniu 2023 roku przez 35 organizacji finansujących badania naukowe z 28 państw - w Polsce były to Narodowe Centrum Nauki i Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

W gronie laureatów jest aż 8 zespołów badawczych z Polski w tym 4 z polskimi koordynatorami na czele. 5 projektów otrzyma finansowanie z NCN (zakres badań podstawowych), natomiast 3 projekty zostaną sfinansowane przez NCBR (zakres badań stosowanych).

Konsorcja badawcze kierowane przez polskich naukowców będą pracować nad zaawansowanymi metodami szyfrowania danych poprzez kryptografię kwantową. Projekt FiGAnti (Światłowodowe przestrajalne źródła pojedynczych fotonów z obszarem aktywnym w postaci pojedynczej kropki kwantowej z GaSb zastosowane do implementacji kwantowej dystrybucji klucza w warunkach polowych) koordynowany jest przez dr inż. Annę Musiał z Politechniki Wrocławskiej.

Dr hab. Adam Wojciechowski z Uniwersytetu Jagiellońskiego pokieruje z kolei pracą nad technologiami przetwarzania informacji, metrologii i obrazowania biomedycznego z użyciem nanodiamentów. Badania te mogą przyczynić się m.in. do rozwoju narzędzi diagnostycznych w medycynie (projekt AQuSeND – Zaawansowane wykrywanie kwantowe z nanodiamentami).

Polacy koordynują też projekt dotyczący rewolucyjnego potencjał obliczeń stosowanych w komputerach kwantowych (ResourceQ – Unifikacja i optymalizacja kwantowych zasobów. Kierownikiem projektu jest dr John Selby z Uniwersytetu Gdańskiego.

Z kolei mikroskopią multimodalną zajmie się projekt QM3 – Quantum Multi-Modal Microscopy (finansowanie z NCBR), koordynowany przez dra Radka Łapkiewicza z Uniwersytetu Warszawskiego (we współpracy z zespołami z Francji, Niemiec i Szwajcarii).

Polacy wezmą też udział w projektach: QuCABOoSE (Aktywacja koherencji kwantowych przez układy otwarte i środowiska), TouQan (W poszukiwaniu użytecznej przewagi kwantowej), EXTRASENS (Color centers in diamond nanoneedles for intra- and EXTRA-cellular quantum SENSing) oraz MEEDGARD (Memory-Enhanced Entanglement Distribution with Gallium ARsenide quantum Dots)

QuantERA (ERA-NET Cofund in Quantum Technologies) to międzynarodowa sieć łącząca agencje finansujących badania z 31 krajów. Sieć ta od 2016 roku stymuluje współpracę pomiędzy naukowcami i agencjami finansującymi badania naukowe, monitoruje europejskie działania i strategie w zakresie technologii kwantowych, tworzy wytyczne dotyczące odpowiedzialnego prowadzenia badań naukowych, a przede wszystkim organizuje konkursy na międzynarodowe projekty badawcze.

Źródło: Nauka w Polsce

eprasa.pl 7edcb48ebe

Ruch obiegowy Ziemi i jego następstwa

Zjawiska dobowe związane ze Słońcem, tzn. jego wschód, górowanie, zachód i dołowanie wynikają z dobowego obrotu sfery niebieskiej. Uważna obserwacja tych zjawisk prowadzona przez dłuższy okres czasu prowadzi do wniosku, że nie przebiegają one codziennie jednakowo.

Marcin **Wesołowski**

Miejsca wschodu i zachodu Słońca, długość łuku dziennego i wysokość górowania zmieniają się w ciągu roku w dość znacznych granicach. Tak samo długość dnia i nocy ulega w ciągu roku dużym wahaniom.

Obserwacje Słońca prowadzone na przestrzeni roku w Rzeszowie prowadzą do wniosku, że 21 III Słońce wschodzi dokładnie w punkcie wschodu E, wysokość Słońca w chwili górowania wynosi 40°, a zachodzi dokładnie w punkcie zachodu W. W tym dniu Słońce porusza się dokładnie po równiku niebieskim (jego deklinacja jest równa zero), dzień i noc trwają po 12 godzin - jest to dzień równonocy wiosennej.

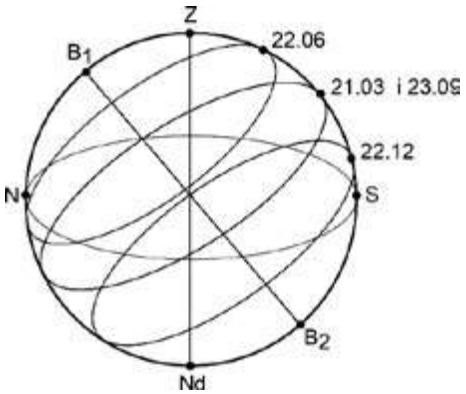
W dniach następnych punkt wschodu Słońca przesuwa się w kierunku północno – wschodnim, wysokość w chwili górowania z każdym dniem zwiększa się, punkt zachodu przesuwa się w kierunku północno – zachodnim; zwiększa się długość łuku dziennego a co za tym idzie, zwiększa się długość dnia a maleje długość nocy.

Najdłuższy łuk dzienny Słońce zakreśla dnia 22 VI i wtedy dzień trwa najdłużej a noc najkrócej. W tym dniu wysokość Słońca w chwili górowania jest największa i wynosi w Rzeszowie 63,5°. Dzień ten nazywamy dniem przesilenia letniego. W dniach późniejszych Słońce zakreśla krótsze łuki dzienne, punkt wschody Słońca cofa się w kierunku wschodnim E a punkt zachodu w kierunku zachodu W. Maleje długość dnia i wysokość Słońca w chwili górowania, rośnie długość nocy.

Dnia 23 IX Słońce zakreśla taki sam łuk dzienny jak dnia 21 III. Dzień i noc trwają wtedy również po 12 godzin i dlatego mówimy wtedy o dniu równonocy jesiennej. Następnie Słońce zakreśla coraz krótsze łuki dzienne, dzień trwa coraz krócej a noc coraz dłużej. Punkt wschodu Słońca przesuwa się w kierunku południowo – wschodnim a punkt zachodu w kierunku południowo – zachodnim. Wysokość Słońca w chwili górowania maleje.

Najkrótszy łuk dzienny Słońce zakreśla 22 XII. Dzień trwa wtedy najkrócej w roku a noc najdłużej. Najmniejsza jest wtedy wysokość Słońca w chwili górowania i w Rzeszowie wynosi 16,5°. Mówimy wtedy o dniu przesilenia zimowego.

Po dniu 22 XII łuki dzienne zakreślane przez Słońce zwiększają się, punkt wschodu Słońca przesuwa się w kie-



Rys. 1. Miejsca wschodu i zachodu oraz wysokość Słońca w południe nad horyzontem w Krakowie.

eprasa.pl 7edcb48ebe

runku wschodu E, a punkt zachodu Słońca przesuwa się w kierunku zachodu W. Zwiększa się również długość dnia i wysokość w chwili kulminacji górnej. Od 21 III sytuacja powtarza się cyklicznie (rys. 1).

Ponieważ ilość ciepła otrzymana przez Ziemię od Słońca zależy od długości dnia i wysokości Słońca, dlatego wyróżnia się cztery pory roku:

- 21 III – 22 VI – WIOSNA
- 22 VI – 23 IX – LATO
- 23 IX – 22 XII – JESIEŃ
- 22 XII – 21 III – ZIMA

Fakt, że długość łuku dziennego i wysokość Słońca zmieniają się, nasuwa przypuszczenie, że Słońce w ruchu dziennym porusza się po różnych równoleżnikach niebieskich w ciągu roku. Wynika z tego, że deklinacja Słońca ulega zmianom na przestrzeni roku.

Aby wyznaczyć przedział zmienności deklinacji Słońca rozpatrzmy bliżej ekstremalne wysokości górowania Słońca. Obserwacje wysokości Słońca w momencie górowania prowadzone w Rzeszowie (szerokość geograficzna $\varphi = 50°$ N) dają następujące wyniki:

- 22 VI $h_1 = 63{,}5°$ – największa wysokość roku w momencie górowania
- 22 XII $h_2 = 16{,}5°$ – najmniejsza wysokość w roku w momencie górowania.

Na rys. 2 koło NZSNd oznacza południk, B_1 i B_2 – bieguny niebieskie, Z – zenit, Nd – nadir, R'OR – ślad przecięcia południka płaszczyzną równika. 22 VI Słońce góruje w punkcie A. Na podstawie rys. 2 otrzymujemy:

$ZOR = NOB_1$ (kąty o ramionach wzajemnie prostopadłych) wówczas:

$h_1 = ROS + V_1 = (90° - \varphi) + \delta_1$

$h_1 = 90° - \varphi + \delta_1$

$\delta_1 = h_1 + \varphi - 90° = 63{,}5° + 50° - 90° = 23{,}5°$.

Z rys. 3 wynika, że:

$h_2 = ROS - |\delta_2|$

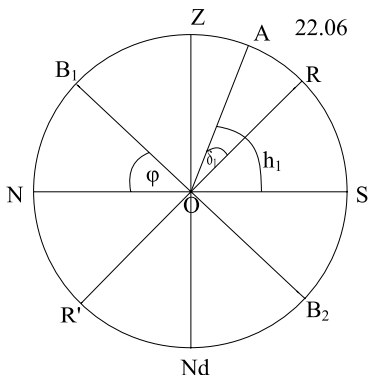
$h_2 = 90° - \varphi - |\delta_2|$

$|\delta_2| = 90° - \varphi - h_2$

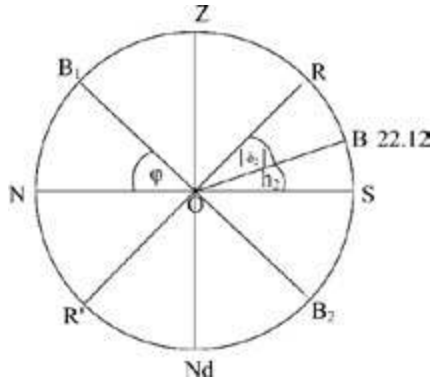
$\delta_2 = 90° - 50° - 16{,}5°$

$\delta_2 = 23{,}5°$

Ale Słońce znajduje się pod równikiem niebieskim, więc ma deklinację ujemną ($\delta_2 < 0$),czyli ostatecznie $\delta_2 = -23{,}5°$.



Rys.2. Górowanie Słońca 22.06 w Rzeszowie ($\varphi = 50^0$).



Rys. 3 przedstawia górowanie Słońca w punkcie B w dniu 22 grudnia.

Tak więc zakres zmienności deklinacji Słońca zawiera się w przedziale: <–23,5°, +23,5° >. Ponieważ wysokość Słońca w chwili kulminacji górnej zależy od jego deklinacji i szerokości geograficznej miejsca obserwacji, więc wyróżnia się na kuli ziemskiej pewne szczególne równoleżniki:

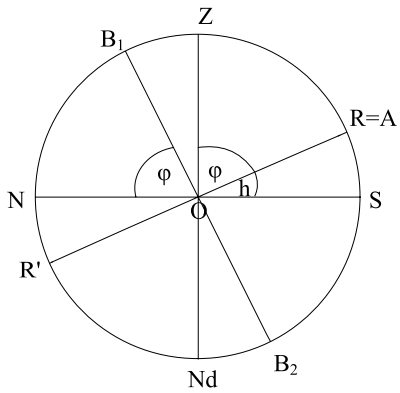
Koło podbiegunowe północne jest to równoleżnik o najmniejszej szerokości geograficznej północnej, na którym Słońce nie zachodzi w ciągu doby. Szerokość geograficzna koła podbiegunowego północnego wynosi 66,5° N. Na półkuli południowej analogicznie wyróżnia się koło podbiegunowe o szerokości 66,5° S. Zwrotnik Raka jest to równoleżnik wysunięty najbardziej na północ, na którym Słońce w chwili kulminacji górnej może znajdować się w zenicie. Szerokość geograficzna zwrotnika Raka wynosi 23,5° N. Odpowiednikiem tego zwrotnika na półkuli południowej jest zwrotnik Koziorożca o szerokości geograficznej 23,5° S. Prześledźmy bliżej wysokości Słońca w chwilki kulminacji górnej na kołach podbiegunowych, zwrotnikach Raka i Koziorożca oraz równiku w dniach równonocy i przesileń.

Dla Koła podbiegunowego północnego ($\varphi = 66{,}5°$) mamy:

21 III i 23 IX, $\delta = 0°$

A – Słońce w chwili górowania

$h = 90° - \varphi = 90° - 66{,}5° = 23{,}5°$



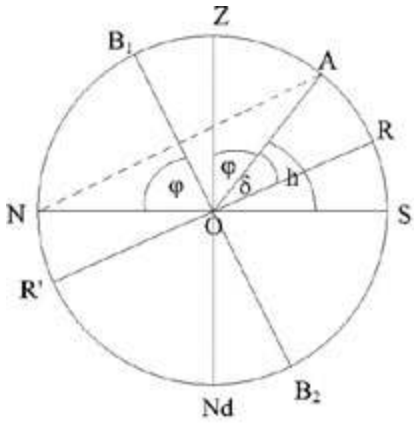
Rys. 4. Górowanie Słońca na kole podbiegunowym północnym w dniach równonocy wiosennej i jesiennej.

Dla 22 VI, $\delta = 23{,}5°$ mamy:

$h = AOS = \delta + 90° - \varphi = 23{,}5° + 90° - 66{,}5° = 47°$

Z rysunku widać, że równoleżnik, po którym porusza się Słońce nie „schodzi" poniżej horyzontu. Oznacza to,

eprasa.pl 7edcb48ebe

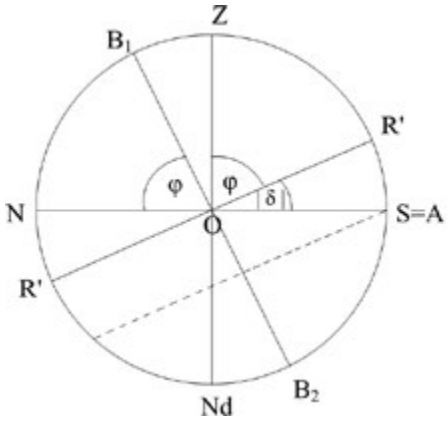


Rys. 5. Górowanie Słońca na kole podbiegunowym północnym w chwili przesilenia letniego.

że Słońce widoczne jest przez całą dobę, czyli trwa dzień polarny.

Dla 22 XII, δ = – 23,5° mamy:

Ponieważ ROA = 90° - φ = 23,5° = | δ |, więc Słońce, którego deklinacja wynosi – 23,5 °, w chwili kulminacji górnej znajduję się na granicy horyzontu. Równoleżnik, po którym porusza się Słońce jest „schowany" co oznacza, że Słońce znajduje się pod horyzontem wówczas mamy noc polarną.



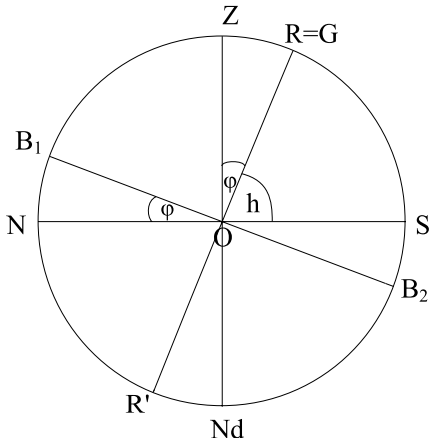
Rys. 6. Górowanie Słońca na kole podbiegunowym północnym w chwili przesilenia zimowego.

Dla Zwrotnika Raka (φ = 23,5° N) mamy:

21 III i 23 IX, δ = 0°

h = GOS = 90° – φ = 90° – 23,5° = 66,5°

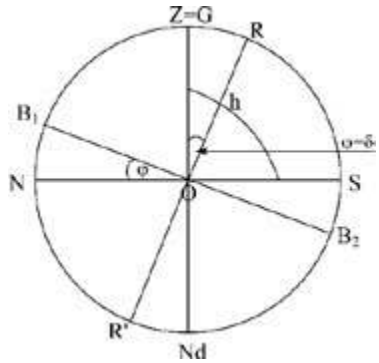
G – Słońce w chwili górowania



Rys. 7. Górowanie Słońca na zwrotniku Raka w dniach równonocy.

Dla 22 VI, δ = 23,5° mamy:

Ponieważ δ = φ, więc Słońce góruje dokładnie w zenicie, tzn. h = 90°.



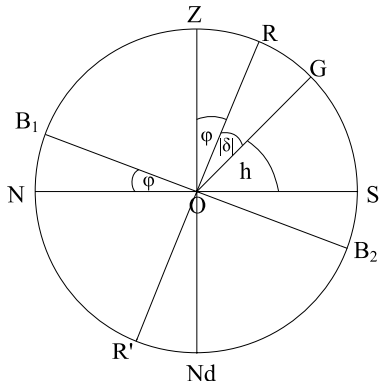
Rys. 8. Górowanie Słońca na zwrotniku Raka w dniu przesilenia letniego.

Dla 22 XII, δ = – 23,5° mamy:

h = ROS – | δ | = 90° – φ – | δ |,

h = 90° – 23,5° – 23,5° = 43°,

(δ < 0), bo Słońce znajduje się pod równikiem.

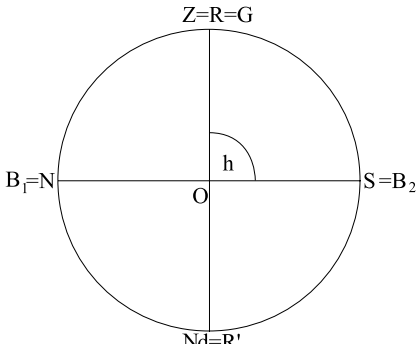


Rys. 9. Górowanie Słońca na zwrotniku Raka w dniu przesilenia zimowego.

Dla Równika ziemskiego (φ = 0°) mamy:

21 III i 23 IX (δ = 0°)

Ponieważ szerokość geograficzna równika wynosi 0°, więc oś świata leży w płaszczyźnie horyzontu a równik niebieski prostopadły do niej przechodzi przez zenit Z.

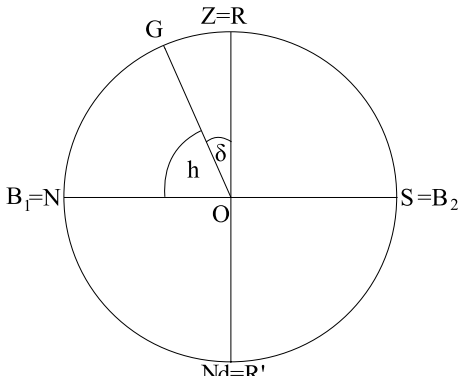


Rys. 10. Górowanie Słońca na równiku ziemskim w dniach równonocy.

Dla 22 VI, δ = + 23,5° mamy:

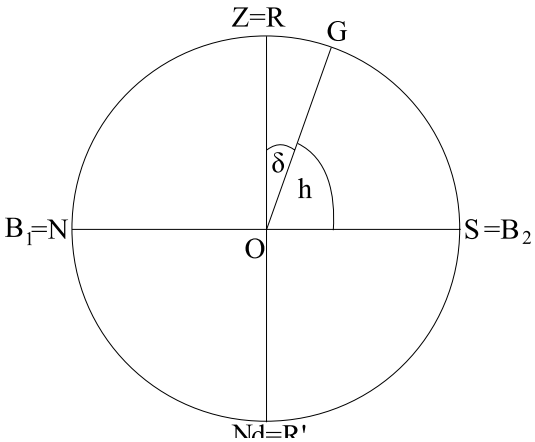
h = NOZ – δ = 90° – 23,5° = 66,5°

eprasa.pl 7edcb48ebe



Rys. 11. Górowanie Słońca na równiku w dniu przesilenia letniego.

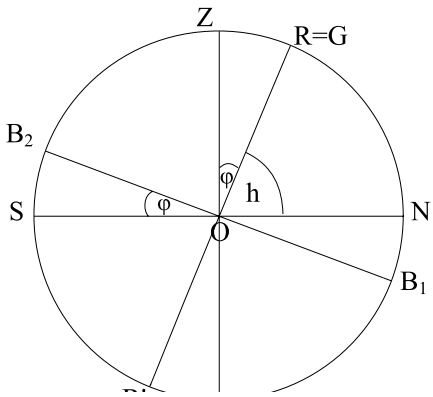
Dla 22 XII, δ = – 23,5° mamy:
h = ZOS – δ |
h = 90° – | δ | = 90° – | – 23,5° | = 66,50°



Rys. 12. Górowanie Słońca na równiku w dniu przesilenia zimowego.

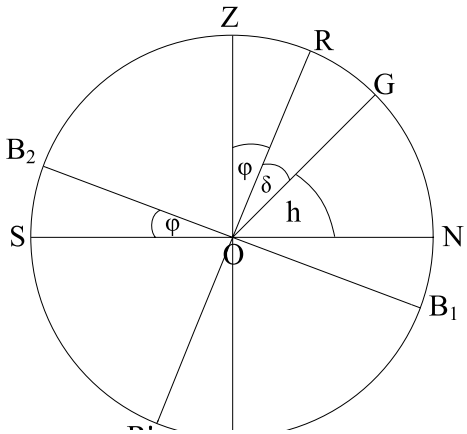
Dla Zwrotnika Koziorożca (φ = 23,5°) mamy:

21 III i 23 IX, δ = 0°, Zwrotnik Koziorożca znajduje się na półkuli południowej, dlatego nad horyzontem widoczny jest południowy biegun niebieski.
h = GON = 90° – φ = 90° – 23,5° = 66,5°



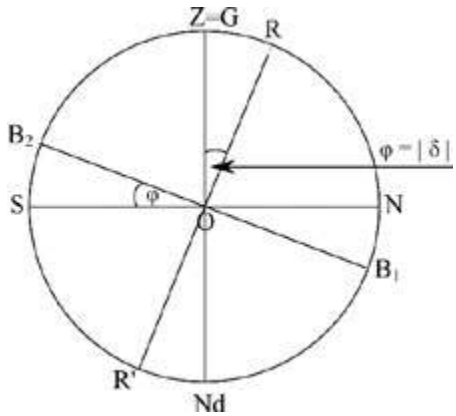
Rys. 13. Górowanie Słońca na zwrotniku Koziorożca w dniach równonocy.

Dla 22 VI, δ = + 23,5° mamy:
h = 90° – φ – δ =90° – 23,5° – 23,5° = 43°



Rys. 14. Górowanie Słońca na zwrotniku Koziorożca w dniach przesilenia letniego.

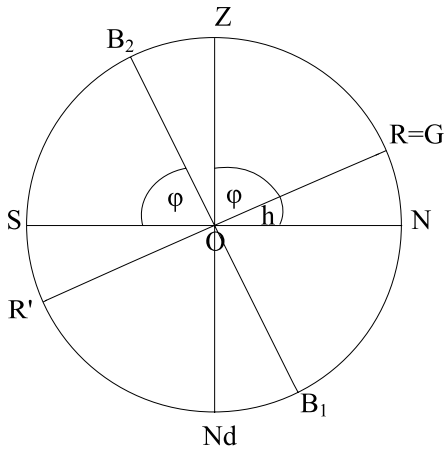
Dla 22 XII, δ = – 23,5° mamy:
Ponieważ φ = | δ | więc Słońce góruje w zenicie (h = 90°).



Rys. 15. Górowanie Słońca na zwrotniku Koziorożca w dniach przesilenia zimowego.

<u>Dla Koła podbiegunowego południowego</u> (φ = 66,5° S) mamy:

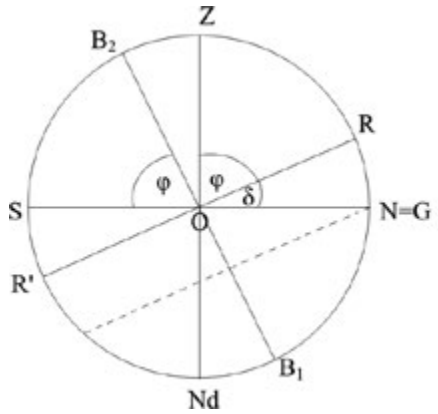
21 III i 23 IX, δ = 0°
h = 90° – φ = 90° – 66,5° = 23,5°



Rys. 16. Górowanie Słońca na kole podbiegunowym południowym w dniach równonocy.

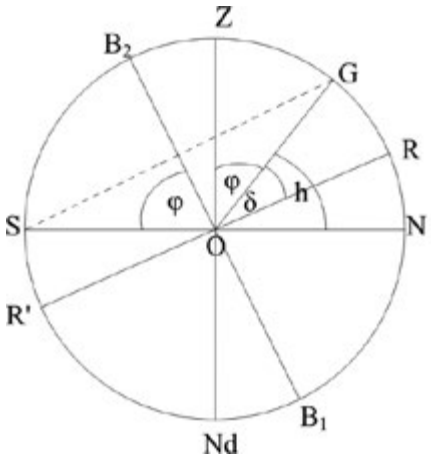
Dla 22 VI, δ = + 23,5° mamy:
Ponieważ δ = 90° – φ, więc h = 0°, więc Słońce całą dobę znajduje się pod horyzontem (noc polarna).

eprasa.pl 7edcb48ebe



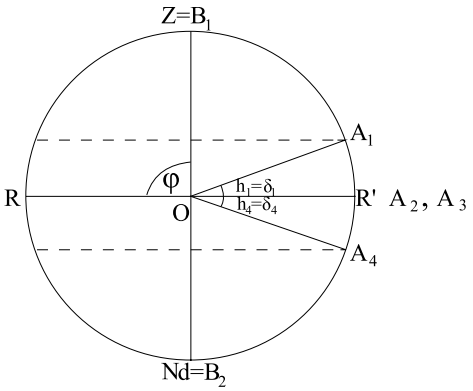
Rys. 17. Górowanie Słońca na kole podbiegunowym południowym w dniu przesilenia letniego.

Dla 22 XII, $\delta = -23{,}5°$ mamy:
$h = 90° - \varphi + |\delta| = 90° - 66{,}5° + 23{,}5° = 47°$ więc Słońce znajduje się całą dobę nad horyzontem (dzień polarny).



Rys. 18. Górowanie Słońca na kole podbiegunowym południowym w dniu przesilenia zimowego.

Dla Bieguna północnego ($\varphi = 90°N$)
A_1 – górowanie Słońca w dn. 22 VI, $\delta_1 = +23{,}5°$
A_2 – górowanie Słońca w dn. 21 III i 23 IX, $\delta_{2,3} = 0°$
A_4 – górowanie Słońca w dn. 22 XII, $\delta_4 = -23{,}5°$



Rys. 19. Górowanie Słońca na biegunie północnym Ziemi w dniach równonocy i przesileń.

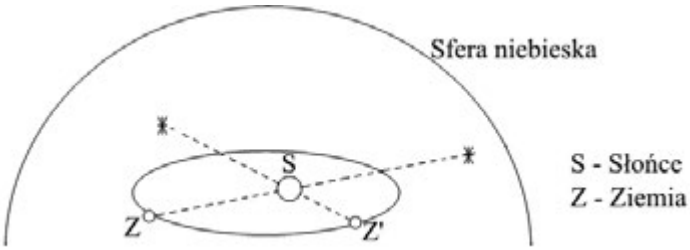
W dniu 21 III Słońce góruje i dołuje w płaszczyźnie horyzontu. Po tym dniu, aż do 23 IX Słońce góruje i dołuje zawsze nad horyzontem – panuje, trwający przez połowę roku dzień polarny. W dniu 23 IX Słońce znów góruje i dołuje w płaszczyźnie horyzontu a po tym dniu, aż do 21 III góruje i dołuje pod horyzontem – panuje trwająca połowę roku noc polarna.

Podobne rozważania można przeprowadzić dla bieguna południowego ziemskiego ($\varphi = 90°S$). Wysokości Słońca w momencie górowania będą odpowiednio równe:
- 21 III i 23 IX, $h = 0°$
- 22 VI, $h = -23{,}5°$
- 22 XII, $h = +23{,}5°$

Wyniki możemy zestawić w tabelce:

Data	Wysokość Słońca w chwili górowania w zależności od szerokości geograficznej miejsca obserwacji						
	90° N	**66,5° N**	**23,5° N**	**0°**	**23,5° S**	**66,5° S**	**90° S**
21 III	0°	23,5°	66,5°	90°	66,5°	23,5°	0°
22 VI	23,5°	47°	90°	66,5°	43°	0°	– 23,5°
23 IX	0°	23,5°	66,5°	90°	66,5°	23,5°	0°
22 XII	– 23,5°	0°	43°	66,5°	90°	47°	23,5°

Wniosek o zmianie deklinacji Słońca, a więc o jego ruchu na tle gwiazd nasuwa się również na podstawie obserwacji zmian wyglądu nieba wieczornego w ciągu roku. Dokonując obserwacji o ustalonej porze np. o godz. 22 zauważamy po stronie zachodniej nieba, nad miejscem, gdzie nastąpił zachód Słońca, różne gwiazdozbiory w ciągu roku. Spowodowane jest to tym, że obserwujemy Słońce z Ziemi, która porusza się w ruchu rocznym po elipsie wokół niego. Tak więc oglądając Słońce z różnych punktów na orbicie Ziemi stwierdzamy, że Słońce rzutuje się nam na sferę niebieską w różnych jej miejscach, co ilustruje Rys. 20.



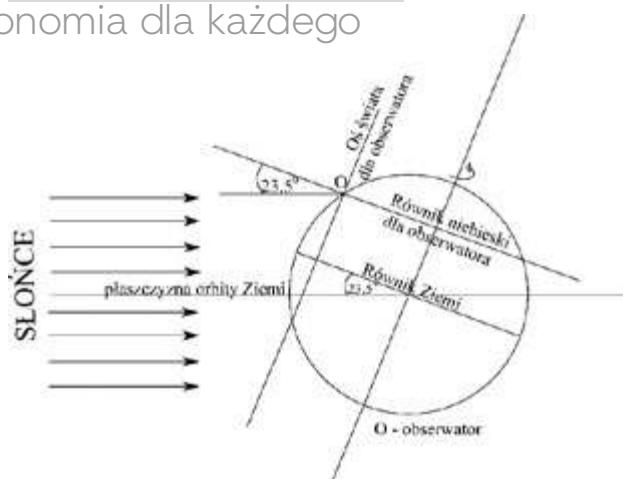
Rys. 20. Słońce oglądane z różnych punktów na orbicie ziemskiej.

Dokładne obserwacje prowadzą do wniosku, ż Słońce oglądane z Ziemi porusza się w ruchu rocznym po kole wielkim zwanym ekliptyką. Ponieważ kąt, jaki tworzy równik ziemski z płaszczyzną orbity wynosi 23.5° więc talki sam kąt będzie tworzyć płaszczyzna ekliptyki z płaszczyzną równika niebieskiego.

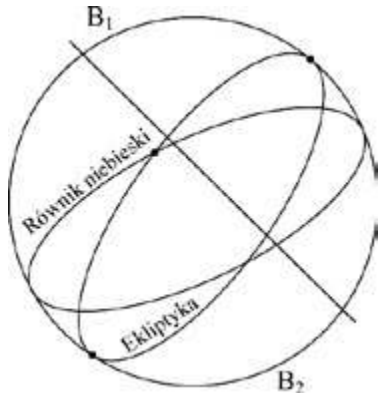
W ruchu rocznym Słońce porusza się po ekliptyce w kierunku przeciwnym do ruchu dziennego a więc z zachodu na wschód.

Na ekliptyce wyróżniono jej cztery punkty kardynalne:
1. Punkt równonocy wiosennej, w którym Słońce znajduje się około 21 III ($\delta = 0°$).

eprasa.pl 7edcb48ebe



Rys. 21. Zależność nachylenia ekliptyki do równika niebieskiego od nachylenia równika ziemskiego do płaszczyzny orbity Ziemi.



Rys. 22. Położenie ekliptyki na sferze niebieskiej.

2. Punkt przesilenia letniego, w którym Słońce znajduje się 22 VI (δ = +23,5°).
3. Punkt równonocy jesiennej, w którym Słońce znajduje się około 23 IX (δ = 0°).
4. Punkt przesilenia zimowego, w którym Słońce znajduje się około 22 XII (δ = – 23,5°).

Wzdłuż ekliptyki rozciąga się tzw. pas zodiakalny, który składa się z 12 gwiazdozbiorów. Nazwy gwiazdozbiorów zodiakalnych to: Baran, Byk, Bliźnięta, Rak, Lew, Panna, Waga, Niedźwiadek (Skorpion), Strzelec, Koziorożec, Wodnik, Ryby.

Słońce przebywa średnio w danym gwiazdozbiorze jeden miesiąc. W okresie między momentem równonocy wiosennej a momentem równonocy jesiennej Słońce ma deklinacje dodatnie. Największą deklinacje osiąga w chwili przesilenia letniego. W okresie czasu między momentem równonocy jesiennej a momentem równonocy wiosennej Słońce ma deklinację ujemne, przy czym najmniejszą z nich osiąga w chwili przesilenia zimowego.

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

Co w fizyce piszczy

Planety powstają wszędzie i są bardzo powszechne

Planety powstają wszędzie, gdzie to tylko możliwe i są bardzo powszechne. A choć astronomowie znają już ponad 5 tys. pozasłonecznych planet, które w skrócie nazywamy egzoplanetami – wciąż zaskakuje ich różnorodność oraz odmienność większości układów planetarnych od naszego macierzystego systemu, czyli Układu Słonecznego – mówi astronom dr Grzegorz Nowak z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

Z pomocą amerykańskiego satelity TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) i europejskiego satelity Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite) naukowcy odkryli i opisali niedawno wyjątkowy układ planetarny HD110067, oddalony o 100 lat świetlnych od Słońca, położony w Warkoczu Bereniki. Tworzące go sześć planet znajduje się w tzw. rezonansie – i choćby dlatego jest to układ szczególnie ciekawy dla badaczy.

„Rezonans to w zasadzie prosta sprawa. W tym konkretnym przypadku sześciu planet wokół HD110067, które oznaczamy literami od b do g, jeżeli najbliższa gwiazdy planeta, którą oznaczamy jako b, wykonuje trzy okrążenia – to następna w kolejności, którą oznaczamy jako c, wykonuje dwa. Mówimy wówczas, że planety b i c są w rezonansie 3:2. Taki sam rezonans występuje pomiędzy planetami c i d oraz d i e. Rezonans 4:3 istnieje pomiędzy planetami e i f oraz f i g. Dodatkowo pomiędzy planetami b i g, czyli pierwszą i ostatnią od gwiazdy, występuje rezonans 1:6 – planeta b potrzebuje bowiem na okrążenie gwiazdy jedynie 9 dni, a planeta g – 54 dni. Jako astronomowie spodziewamy się, że systemy planetarne powstają właśnie w takiej rezonansowej konfiguracji. Jeśli więc ją widzimy – oznacza to, że obserwujemy układ, który od miliardów lat zachował się w niezaburzonej postaci – w takiej, w jakiej się narodził" – wyjaśnia dr Nowak.

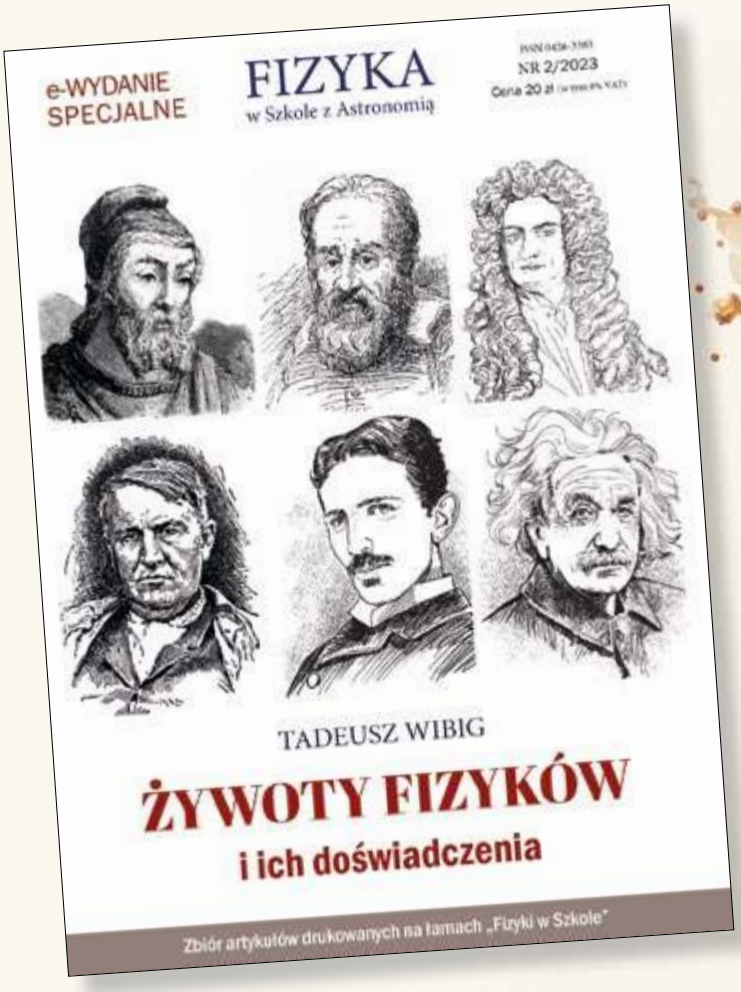
„Interesująca i ważna jest też sama fizyka tych planet. Z pomiarów promieni i mas wiemy, że są to tzw. minineptuny. Pod względem wielkości (promieni) mieszczą się między cztery razy większym od Ziemi Neptunem – a planetami, których rozmiary są dwukrotnie większe od Ziemi. Z oceny gęstości tych planet wynika, że budową wewnętrzną przypominają raczej Neptuna. Spodziewamy się, że ich jądra są otoczone warstwą gazów, w których dominuje wodór. Przyszłe badania, prowadzone np. z pomocą Kosmicznego Teleskopu Jamesa Webba (JWST), mogą pozwolić na poznanie składu ich atmosfer i dzięki temu lepsze zrozumienie procesu ich powstawania oraz budowy wewnętrznej" – podkreśla astronom. Źródło – PAP – Nauka w Polsce

W następnych wydaniach polecamy m.in.

- **Materia, siły i ruch**
- **Co dla humanisty w fizyce jest najważniejsze?**
- **Żywoty fizyków – Oleg Łosiew**

eprasa.pl 7edcb48ebe

Wielcy fizycy
i ich doświadczenia



- ✓ **Od Archimedesa 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/

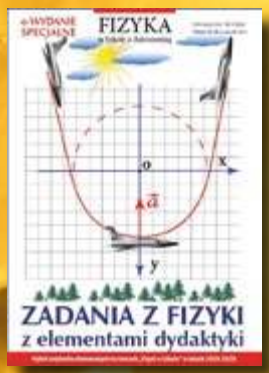
eprasa.pl 7edcb48ebe

Cyfrowe wydania specjalne

Fizyki w Szkole

Tylko w wersji PDF!

Już od 10 zł!
Wysyłamy na adres mailowy!



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

eprasa.pl 7edcb48ebe