

Foton

103
Zima
2008

Pismo dla nauczycieli i studentów fizyki oraz uczniów

INSTYTUT FIZYKI  UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI
SEKCYJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO



Globalne ocieplenie?
Ciemna materia
Szósty zmysł zwierząt
Flotacja w szklance



Profesor Henryk Niewodniczański – „Papa” (1900–1968) na dziedzińcu Collegium Maius w Krakowie w 1964 roku w czasie uroczystości 600-lecia Uniwersytetu Jagiellońskiego

Pseudonim „Papa” oddaje Jego rolę w tworzeniu w Krakowie liczącego się w świecie ośrodka fizyki jądrowej. Właśnie minęło 40 lat od Jego niespodziewanej i przedwczesnej śmierci. Wiadomość o Jego śmierci nadeszła, gdy fizycy, w gęsto upakowanej sali IF UJ na Reymonta 4, uczestniczyli w spektaklu Piwnicy pod Baranami.



O PR fizyki

Jak kształtować pozytywny PR fizyki? Dlaczego powinno nam na tym zależeć? Otóż zależy nam na dopływie doborowej, uzdolnionej kadry przyszłych fizyków. Chcemy mieć rzetelnie wykształconych lekarzy i inżynierów, takich, do których będziemy mieć zaufanie. Chcemy, by politycy byli szczodrzy dla nauki.

Zdajemy sobie sprawę, że najważniejsze, choć jak się okazuje, trudne do zrealizowania jest po prostu dobre nauczanie fizyki, a na wcześniejszym etapie – przyrody. Obecnie wiemy też, że pozaszkolne rozmaite aktywności (festiwale, muzea, TV) mają wartość nie do przecenienia. Wiemy też, że w dzisiejszych czasach nie można niczego na siłę narzucić młodemu pokoleniu, zwłaszcza, jeśli to coś związane jest z trudem i znojem. A przecież fizyka nie jest łatwa.

Należy zatem skupić się na nagrodach za trud. A jest ich wiele, nie wszystkie oczywiste. Doskonale zachęcał do nauki matematyki i fizyki amerykański kosmonauta, matematyk z wykształcenia George Zamka, który jesienią 2008 roku podróżował po Polsce i spotykał się z uczniami i studentami. Trudno sobie wyobrazić robienie lepszego PR fizyce, NASA i przy okazji też Stanom Zjednoczonym.

Nie jest cynizmem wykorzystywanie ducha rywalizacji młodzieży. Należy zachęcać młodzież do udziału w konkursach indywidualnych i zbiorowych i zabiegać o ich wysoką rangę, którą osiąga się cennymi nagrodami. Zależy nam na naukowcach-wojownikach, którzy będą się zmagać z przedmiotem badań oraz otoczeniem, które będzie ich finansować. Czasy szlachetnych uniesień naukowców w stylu Marii Skłodowskiej-Curie, wspaniałomyślnie zrzekającej się patentów, minęły bezpowrotnie. Wyrosło nowe pokolenie, do którego trzeba zwracać się inaczej, inaczej kusić do nauki. Nie oznacza to, rzecz jasna, roztańczania fałszywych miraży (to młodzi natychmiast wyczują), lecz jasne przedstawienie wyników badań, ich zastosowań, wpływu na codzienne życie. Chodzi o pokazanie prawdziwej kuchni naukowej, która dla wielu może być kusząca. I choć nie ma sensu mamienie „łatwością” fizyki, to jednak jest ona, jak to się mówi, dla ludzi, w tym dla wielu zdolnych dziewcząt. Stanowi może ciekawsze wyzwanie niż z powodzeniem szturmowana przez dziewczyny praca bankowców.

Foton i *Neutrino* pozostają do dyspozycji Państwa jako pomoc w kuszeniu do fizyki.

Z.G-M.



Contents

PR of physics <i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	1
Chernobyl, alternative energy resources and global warming – without emotions <i>Kazimierz Bodek</i>	4
The dark matter <i>Paweł F. Góra</i>	16
Earthquakes and „the sixth sense of animals” <i>Paweł Węgrzyn</i>	23
Magnetoreceptors of pigeons <i>Dagmara Sokółowska</i>	33
Scalars, vectors, and more <i>Bernard Jancewicz</i>	35
Homemade nitrogen laser <i>Albert Ratajczak high school student</i>	52
Dancing raisins and flotation in glass <i>Krzyszyna Raczowska-Tomczak, Zofia Gołqb-Meyer</i>	60
Natural hygrometer <i>Dagmara Sokółowska</i>	62
Problems. Noises from the cave (11) – Diffraction grating <i>Adam Smólski</i>	64
Errors in testing problems in physics <i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	70
Nawojka – the first female student at the Jagellonian University in Krakow in the 15 th century <i>Zofia Gołqb-Meyer</i>	73
What to read. How to teach Special Relativity in School by Jadwiga Salach	75
Announcement. Press Awards for Prof. W. Nawrocik and for young scientists blog	76
Announcement. Female Section in Polish Physical Society	77
Humor from the students notebooks <i>Danuta Latos</i>	78
Announcement. Physics Academy Winter 2009 for school students	79
Announcement. VII Competition „Physics and Photography”	80
Announcement. Project Xperimania II	81



Spis treści

O PR fizyki	
<i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	1
O Czarnobylu, wiatrakach i ociepleniu klimatu – bez emocji...	
<i>Kazimierz Bodek</i>	4
Ciemna materia	
<i>Paweł F. Góra</i>	16
Trzęsienia ziemi i szósty zmysł zwierząt	
<i>Paweł Węgrzyn</i>	23
Magnetoreceptory, czyli jak gołębie pocztowe wracają do domu	
<i>Dagmara Sokółowska</i>	33
Skalary, wektory i co dalej?	
<i>Bernard Jancewicz</i>	35
Laser azotowy	
<i>Albert Ratajczak</i>	52
Tańczące rodzyнки i flotacja	
<i>Krystyna Raczkowska-Tomczak, Zofia Gołąb-Meyer</i>	60
Naturalny higrometr	
<i>Dagmara Sokółowska</i>	62
Odgłosy z jaskini (11) – Siatka odbiciowa	
<i>Adam Smólski</i>	64
Kącik zadań. Próbną maturą z OPERONEM i „Gazetą Wyborczą”. Ostrożnie!	
<i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	70
Nawojka – pierwsza studentka Akademii Krakowskiej sześćset lat temu	
<i>Zofia Gołąb-Meyer</i>	73
Co czytać. <i>Jak uczyć w szkole teorii względności</i> Jadwigi Salach.....	75
Komunikat. Konkurs „Popularyzator Nauki”	76
Sekcja Kobiet w Polskim Towarzystwie Fizycznym.....	77
Popisy Intelktualne Moich Pupilków	
<i>Danuta Latos</i>	78
Komunikat. Akademia Fizyki Zima 2009	79
Komunikat. VII Ogólnopolski konkurs fizyczno-fotograficzny „Zjawiska fizyczne wokół nas”.....	80
Komunikat. Xperimania II.....	81



O Czarnobylu, wiatrakach i ociepleniu klimatu – bez emocji...

Kazimierz Bodek

Instytut Fizyki UJ

Chyba jedną z najbardziej charakterystycznych cech życia w naszej cywilizacji jest lawinowo wzrastające „ciśnienie informacyjne”, jakiemu poddawany jest człowiek. Łatwość wytwarzania i przekazu informacji zniosła praktycznie wszystkie bariery natury technicznej i ekonomicznej po stronie nadawców. Jesteśmy bombardowani ze wszystkich stron najróżniejszymi treściami i przymuszani do ich przetwarzania. Ciągłe musimy „wyrabiać sobie własne zdanie”, „za czymś optować”, „czemuś się przeciwstawiać”. Większość ludzi, dokonując ciągłych wyborów, doznaje złudnego poczucia rosnącej niezależności i wolności. Inni natomiast, bardziej wrażliwi, którzy odkryli, że informację można tylko łatwo wytworzyć, co zmanipulować, czują się bezsilni, a może i bardziej zniewoleni. Nie mają ani czasu, ani możliwości, aby informacje weryfikować, a wytwórców „fałszywek” skutecznie eliminować. Coraz trudniej jest też wyławiać informacje istotne i wyrabiać sobie prawdziwy obraz otaczających zjawisk. Liczne przykłady wyżej opisanych prawidłowości można znaleźć we wszystkich dziedzinach życia, ale szczególnie jaskrawe przypadki dezinformacji dotyczą wrażliwej sfery społeczno-politycznej. Ale i w nauce, gdzie dotąd starano się utrzymywać wysokie standardy, sytuacja się pogarsza.

W tym krótkim artykule chciałbym się odnieść do dziedziny, w której presja informacyjna jest tak duża, że – mówiąc obrazowo – „pacjent” uwierzył już, że jest chory i potulnie poddaje się drakońskiej i bardzo kosztownej terapii, mającej na celu wyleczenie jego rzekomej choroby. Chodzi o problem zaopatrzenia naszej cywilizacji w energię, w świetle zbliżającej się jakoby katastrofy globalnego ocieplenia klimatu Ziemi. Naukowcy krytycznie analizujący empiryczne przesłanki katastroficznych prognoz wskazują nie tylko na merytoryczne błędy w metodologii badań i interpretacji wyników, ale też na liczne przypadki manipulacji danymi, a nawet ich fałszowania. Choć przypuszczenie, że to działalność człowieka jest przyczyną zmian klimatycznych w skali globalnej, nie ma solidnych podstaw naukowych, ani nawet nie jest pewne, czy klimat Ziemi rzeczywiście się ociepla, to stwierdzenia te, jako pewniki, przeniosły się do sfer ideologii i polityki i funkcjonują tam w debacie dalekiej od obiektywizmu naukowego. Jeszcze gorzej wygląda sprawa forsowanych środków i działań, które rzekomo mają zapobiec lub przynajmniej złagodzić skutki wieszczanej katastrofy. Scenariusze rozwoju sytuacji opierają się na przewidywaniach modeli matematycznych, z których żaden nie jest w stanie poprawnie wytłumaczyć

przebiegu wypadków, które rozegrały się w ostatnich kilkudziesięciu latach. Jakże zatem można wierzyć, że prognozy na następne 100 lat są poprawne?

Tak zwane gazy cieplarniane, a w szczególności CO₂, są głównym celem ataku wyznawców tezy o antropogenicznym charakterze zmian klimatycznych na Ziemi. Twierdzą oni – i przekonali do tego znaczną część rządów – że należy radykalnie ograniczyć emisję dwutlenku węgla, której głównym źródłem jest spalanie paliw kopalnych, takich jak węgiel, ropa i gaz. Choć nie ma przekonujących argumentów, że to w czymkolwiek pomoże, to wiadomo na pewno, że negatywne skutki uboczne tych działań będą olbrzymie. A dotkną one najubożniej kraje biedne i rozwijające się. Sposoby egzekucji arbitralnie przyjętych ograniczeń emisji kaza wątpić w deklarowany oficjalnie cel: ochronę zasobów naturalnych Ziemi i zachowanie ich dla przyszłych pokoleń. Przyjęty system reglamentacji tzw. kwot emisji jest wysoce nieetyczny, a do tego ma nikłe szanse skuteczności. Handel tymi kwotami, porównywany czasem do handlu odpadami w średniowieczu, oznacza tylko tyle, że źródła emisji będą się przemieszczać, a to w skali globalnej nie ma większego znaczenia. Poza tym, jeśli na takim procederze można będzie dobrze zarabiać (kwoty transferowane w ciągu nadchodzących trzydziestu lat są szacowane na kilkadziesiąt bilionów dolarów), to handlarze emisjami, dbając o własne zyski, będą się starać, żeby emisja się nie zmniejszała. Gdyby pomysłodawcom systemu kwot rzeczywiście chodziło o szybkie zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, to przekazywaliby nowoczesne technologie nieodpłatnie, bądź przynajmniej zgadzałyby się na to, że środki z karnych opłat za nadmierną emisję pozostają na miejscu. Mogliby co najwyżej kontrolować, czy są one inwestowane w rozwój energooszczędnych i niskoemisyjnych technologii. Takich altruistycznych postaw nie należy się jednak spodziewać, obserwując choćby zachowanie koncernów farmaceutycznych i osłaniających je rządów wobec plagi AIDS w Afryce.

Nie jest tajemnicą, że opisane wyżej sankcje będą szczególnie dotkliwe dla polskiej gospodarki, która jest w fazie mozolnego wydobywania się z głębokiego zacofania. Elektryczność, wytwarzana w Polsce prawie wyłącznie przez spalanie węgla, z dnia na dzień może się stać niemalże dwukrotnie droższa, obniżając konkurencyjność polskich wyrobów.

Czy w tej sytuacji grozi polskiej gospodarce katastrofa? Czy znaleźliśmy się w pułapce, z której nie ma wyjścia? Czy jesteśmy skazani na regres cywilizacyjny, bo mniejsza konsumpcja energii, szczególnie elektrycznej, to właśnie oznacza? Zdecydowana większość ekspertów oceniających sytuację daje odpowiedzi uspokajające, pod warunkiem, że w najbliższych latach dokonamy strategicznych zmian w polskiej energetyce. Od wyboru strategii będzie zależeć los kraju i jego mieszkańców w następnych dziesięcioleciach. W kraju demokratycznym taka decyzja nie jest łatwa, bo wymaga zdobycia poparcia większości społeczeństwa. Dochodzenie do optymalnego rozwiązania zawsze będzie napotykać sprzeciw różnych grup interesu, których przywódcy wykorzystają

wszystkie środki, nie wyłączając manipulacji i zwykłego kłamstwa, aby osiągnąć swój cel. Zwalczanie takich działań jest o tyle trudne, że argumentacja opiera się o dość zaawansowaną wiedzę techniczną, a przeciwnicy racjonalnych rozwiązań przemawiają do ludzkich emocji. Tak jest i w Polsce: jednoznaczne wnioski z wielu niezależnych i na chłodno prowadzonych przez fachowców analiz przegrywają z populistycznymi hasłami, szeroko rozpowszechnianymi przez środki masowego przekazu. Zarządzający *mass mediami* coraz częściej poświęcają jakość informacji na rzecz łatwego zysku z reklam, osiąganego przez przyciąganie odbiorców sensacjami, a wizja globalnej katastrofy ekologicznej czy awarii reaktora, który zamienia się w bombę atomową i powoduje śmierć milionów ludzi, jest łatwa do sprzedania. Trzeba uczciwie przyznać, że opisana wyżej trudność w dotarciu do społeczeństwa ze sprawami energetyki i przeprowadzenia rzeczowej i obiektywnej dyskusji nie jest zjawiskiem typowo polskim. Borykają się z nią Niemcy, Austriacy, Amerykanie i Włosi, żeby wymienić najbardziej drastyczne przykłady. Jednakże u nas problem jest o tyle groźniejszy, że skutki nietrafionej decyzji nie będą się dały złagodzić przez dostępne rezerwy gospodarcze, czy finansowe – bo takich rezerw nie mamy.

Jak zatem przebudować polską energetykę, aby, z jednej strony, zapewnić dostateczną ilość taniej energii elektrycznej dla gospodarki, a z drugiej, znacząco obniżyć emisję CO₂ i nie płacić drakońskich kar? Eksperci są zgodni: należy sukcesywnie, ale szybko zastępować wyeksploatowane elektrownie spalające węgiel brunatny i kamienny instalacjami, które czerpią energię z rozszczepienia uranu. Przemawiają za tym rozwiązaniem właściwie wszystkie kluczowe argumenty. A więc: energia jądrowa jest (1) bezpieczna, (2) czysta ekologicznie, (3) nie wywiera żadnego negatywnego wpływu na zdrowie mieszkającej w pobliżu ludności, (4) jest najtańsza ze wszystkich możliwych rozwiązań, (5) gwarantuje stabilne, niskie ceny prądu w skali kilkudziesięciu lat i (6) jej wykorzystanie nie jest zagrożeniem dla polskiego górnictwa węglowego. Jeżeli w tym miejscu Czytelnik dojdzie do wniosku, że stawiam tezy dokładnie odwrotne do tego, co na temat energetyki jądrowej powszechnie wiadomo, to będzie to jeszcze jeden dowód gruntownego zafałszowania obrazu rzeczywistości, który kreują media.

Politycy są w większości świadomi, jak się sprawy mają naprawdę, ale nie podejmą żadnych decyzji strategicznych bez pewności szerszego społecznego poparcia. Skutki takich decyzji będą przecież widoczne nie wcześniej niż za kilkanaście lat, a to jest okres zbyt długi w porównaniu z cyklem parlamentarnym. Zatem, żeby ułatwić im podjęcie właściwej, to znaczy korzystnej dla większości obywateli decyzji, musimy zmienić nieprzychylnie nastawienie tych ostatnich do energetyki jądrowej. Czytelnik *Fotonu* – nauczyciel, uczeń, student – może stać się bardzo efektywnym propagatorem prawdy o energetyce jądrowej, o ile sam będzie przekonany o jej zaletach. Przede wszystkim, Czytelnik *Fotonu* potrafi liczyć i nie reaguje alergicznie na zagadnienia z dziedziny fizyki

czy techniki. Posiada więc podstawowe narzędzia, aby informacje weryfikować. Poza tym jest niezależny – nie można go posądzić o konflikt interesów, jak ekspertów, którym zwykle zarzuca się stronnictwo. I najważniejsze: może dotrzeć do „zwykłych ludzi” w swoim środowisku, którzy zapewne dadzą się przekonać, o ile sprawy będą przedstawione uczciwie, otwarcie i przystępnie. W dalszym ciągu omówię kilka najbardziej rozpowszechnionych mitów na temat energii jądrowej i jej wykorzystania do wytwarzania elektryczności.

Bezpieczeństwo

Na powstanie i rozpowszechnienie mitu o dużym ryzyku związanym z energetyką jądrową złożyło się wiele czynników. Przede wszystkim, jest to młoda dziedzina przemysłu, która rozwijała się równoległe, a czasem wspólnie z wykorzystaniem rozszczepienia uranu do celów militarnych. Negatywne skojarzenia mają swoje źródła w bombardowaniu Hiroszimy i Nagasaki pod koniec drugiej wojny światowej, w próbach broni masowego rażenia w okresie zimnej wojny oraz proliferacji militarnych materiałów i technologii jądrowych. Tzw. przeciętny obywatel wyrobił sobie nieprawdziwe przekonanie, że każdy, kto eksploatuje cywilny reaktor energetyczny, ma automatycznie dostęp do broni jądrowej. Współczesne reaktory energetyczne tak dalece nie nadają się do zastosowań militarnych, że szczegóły ich konstrukcji, czy procedury eksploatacji są całkowicie jawne. Jawność i otwartość są zresztą ważnymi elementami systemu bezpieczeństwa elektrowni jądrowych. Jest paradoksem, że np. technologie komputerowe i telekomunikacyjne, gdzie przemieszanie zastosowań cywilnych i wojskowych jest oczywiste, nie budzą żadnych sprzeciwów społecznych. Poza tym, niektórzy sobie wyobrażają, że reaktor jądrowy, w niekorzystnych okolicznościach, może zamienić się w bombę jądrową. Żaden reaktor, również wojskowy, nawet w czasie najcięższej awarii, takiej, jaka np. wydarzyła się w Czarnobylu, w bombę jądrową się nie przekształci. Gwarantują to prawa natury i nawet celowe działanie człowieka (np. akt terroryzmu) takiej zamiany nie może spowodować.

Ale czy skutki awarii w Czarnobylu, mimo że nie zakończyła się ona eksplozją jądrową, nie są wystarczającym ostrzeżeniem, żeby raz na zawsze zrezygnować z wykorzystania reaktorów jądrowych do celów cywilnych? I na to pytanie odpowiedź jest przecząca. Przede wszystkim, po 22 latach od tamtej katastrofy, jej skutki są daleko mniejsze niż się spodziewano. Liczba przypadków śmierci, w których da się udowodnić choćby luźny związek z pochłoniętymi dawkami uwolnionego w czasie awarii promieniowania, nie przekracza 50. Ten dobrze uzasadniony badaniami medycznymi i epidemiologicznymi fakt stoi w jawnej sprzeczności z rozpowszechnianym mitem, jakoby liczba ofiar śmiertelnych awarii w Czarnobylu sięgała milionów. Nie znajdują też potwierdzenia empirycznego doniesienia o zwiększonej częstotliwości zachorowań na nowotwory, uszkodzeń genetycznych u noworodków, czy martwych urodzeń, jako

skutku pochłoniętych, dodatkowych dawek promieniowania. Najbardziej widoczny, negatywny wpływ na zdrowie ludności z okolic tej elektrowni miały błędne decyzje w czasie likwidacji skutków awarii. I tak, dzisiaj wiadomo, że decyzja o trwałym przesiedleniu większości mieszkańców skażonych terenów wokół elektrowni była błędna i wywołała więcej szkód niż pożytku. Obecnie poziom radioaktywności na większości skażonych w czasie awarii terenów jest niższy niż naturalne tło w Skandynawii. Poza tym, zestawienie danych z awarii czarnobylskiej z innymi wypadkami przemysłowymi dużej skali, czy kataklizmami naturalnymi, daje właściwą perspektywę i odbiera jej atrybut największej katastrofy przemysłowej w dziejach ludzkości.

Ale są jeszcze inne, ważne powody, dla których nie należy się obawiać powtórzenia dramatu czarnobylskiego w innej elektrowni jądrowej. Typ reaktora, który pracował w Czarnobylu, nigdy nie uzyskałby zgody na eksploatację poza Związkiem Radzieckim. Na Zachodzie zrezygnowano z takich konstrukcji nawet do celów wojskowych, choć jest to znakomite narzędzie do produkcji plutonu o właściwościach wymaganych w bombach jądrowych. Powodem jest powszechnie znany fakt, że ten typ reaktora, jako jedyny, nie gwarantuje samoczynnego wyłączenia w sytuacjach awaryjnych. Bez akcji z zewnątrz, a ta, jak wiadomo, zawiodła w czasie wypadków, które rozegrały się w Czarnobylu 26 kwietnia 1986 roku, reaktor taki musi ulec samozniszczeniu. Przyczyny i okoliczności, które doprowadziły do tragicznej w skutkach awarii w elektrowni czarnobylskiej są dokładnie znane, ale ich omówienie wykracza poza ramy niniejszego artykułu. Dość stwierdzić, że 90% pracujących obecnie na świecie i planowanych do zainstalowania (w tym również w Polsce) elektrowni jądrowych stosuje reaktory z moderatorem wodnym, których właściwości są doskonale poznane i sprawdzone. W ciągu skumulowanych ponad 10 000 „reaktorolat” ich pracy nie zanotowano ani jednego wypadku śmiertelnego – wynik bez precedensu w działalności przemysłowej człowieka. Warto sobie w tym miejscu uświadomić, że np. prawdopodobieństwo utraty życia w wyniku wypadku samochodowego w Polsce wynosi obecnie jak 1:100! Osiągnięcie tak wysokiego poziomu bezpieczeństwa w reaktorach jądrowych ma swoje racjonalne przyczyny. Cywilna energetyka jądrowa, działając pod silną presją opinii publicznej i swoich zagorzałych przeciwników, żeby przetrwać, musiała zastosować normy i systemy bezpieczeństwa, które są znacznie wyższe i skuteczniejsze niż w innych dziedzinach przemysłu. Dziwić może tylko fakt, że mimo tych kosztownych rozwiązań, pozyskiwana z rozszczepienia uranu energia elektryczna jest i tak najtańsza.

Wpływ na środowisko naturalne

Kolejnym mitem, pokutującym w społeczeństwie, jest przekonanie o zdecydowanie negatywnym wpływie elektrowni jądrowej na środowisko naturalne. Nie potwierdzają tego rzeczywiste dane, a jeszcze dobitniej, porównanie z innymi

rodzajami instalacji do produkcji elektryczności. Elektrownie jądrowe zajmują mało miejsca, znacznie mniej niż węglowe, nie emitują praktycznie żadnych szkodliwych substancji w czasie eksploatacji, a problem składowania zużytego paliwa jest sztucznie wyolbrzymiany. Nawet najtańszy sposób, bez przetwarzania i zeszklenia odpadów, aby uniemożliwić procesy wypłukiwania przez wody gruntowe w podziemnych stanowiskach, daje pełną gwarancję bezpieczeństwa. Istnieje przekonujący dowód empiryczny na potwierdzenie powyżej tezy. Dwa miliardy lat temu, na terenie dzisiejszego Gabonu, działały w tamtejszych formacjach geologicznych naturalne reaktory jądrowe. „Odpady” radioaktywne z pracy tych reaktorów nigdy nie wydostały się do biosfery, ani w wyniku procesów geologicznych, ani wskutek wypłukiwania przez wodę. Poza tym, zużytego paliwa jądrowego nie należy traktować, jako nieprzydatnych odpadów. Zawiera ono jeszcze zasoby energii rozszczepialnej daleko większe niż dotychczas wykorzystano. Technologie pozwalające „spalać” zużyte w dzisiejszych reaktorach paliwo już istnieją, ale wymagają jeszcze dopracowania oraz muszą stać się tańsze.



Widok na elektrownię jądrową w Bohunicach

Elektrownia jądrowa w czasie pracy nie emituje CO₂, ani innych szkodliwych substancji, a uwzględniając emisję przy wytwarzaniu materiałów konstrukcyjnych, a nawet działania przy likwidacji elektrowni, otrzymuje się ilości CO₂, przypadające na jednostkę wyprodukowanej energii elektrycznej, na poziomie niższym, niż w przypadku pozornie ekologicznie czystej energii wiatrowej. Obciążenie środowiska przez zrzut tzw. ciepła odpadowego jest dla elektrowni jądrowej podobne, jak w zaawansowanych technologicznie elektrowniach węglowych. Poza tym, środowisko nie jest obciążane siecią infrastruktury transportu, która byłaby potrzebna do dostarczenia wielu milionów ton węgla i odwiezienia kilkuset tysięcy ton popiołów w ciągu jednego roku. Zaś śladowe ilości substancji radioaktywnych, które wydostają się do atmosfery w czasie eksploatacji reaktora jądrowego, są kilkakrotnie mniejsze niż w przypadku nowoczesnego kotła węglowego o takiej samej mocy.



Elektrownia węglowa

Wpływ na zdrowie ludności

Zdrowie ludności, szczególnie mieszkającej w najbliższym otoczeniu każdej dużej instalacji przemysłowej, jest przedmiotem zainteresowania i dokładnych analiz na etapie projektowania i wyboru lokalizacji pod przyszłą inwestycję. Znikomy wpływ elektrowni jądrowej na środowisko naturalne oznacza równocześnie znikomy wpływ na zdrowie okolicznych mieszkańców. Najwyższe standardy bezpieczeństwa i monitoringu prawidłowej pracy takich instalacji powodują, że zbyteczne stało się nawet wyznaczanie stref ochronnych, wyłączonych z zasiedlenia. Przeciwnie, mieszkańcy najbliższych okolic elektrowni czerpią dodatkowe profity z tego powodu: korzystają z darmowego ciepła odpadowego, które można wykorzystać do ogrzewania mieszkań czy prowadzenia upraw roślin w szklarniach. Oprócz wpływu samych elektrowni na zdrowie mieszkańców, należy wziąć pod uwagę potencjalne skutki zdrowotne dla ludzi uczestniczących w całym cyklu, którego produktem finalnym jest energia elektryczna: od wydobycia i przetworzenia rudy uranu, poprzez eksploatację elektrowni, aż do utylizacji i składowania odpadów radioaktywnych. Okazuje się, że negatywne skutki i ryzyko są wielokrotnie mniejsze niż np. w cyklu węglowym. Nie potwierdzają się alarmistyczne doniesienia o nadzwyczajnych problemach zdrowotnych pracowników przemysłu jądrowego i ludzi mieszkających w pobliżu miejsc jego lokalizacji. Wszystkie dotychczasowe doniesienia tego typu zostały zweryfikowane negatywnie. Przeciwnie, pracownicy przemysłu jądrowego cieszą się na ogół lepszym zdrowiem niż ich koledzy z innych dziedzin

przemysłu. Ten fakt też znajduje racjonalne wytłumaczenie: są to, przeciętnie rzecz biorąc, ludzie lepiej wykształceni, lepiej zarabiający, cieszący się wyższymi standardami życia i opieki zdrowotnej.

Aspekty ekonomiczne

Ekonomia jest jednym z najważniejszych czynników w planowaniu inwestycji na dużą skalę. Zalety bezpieczeństwa, neutralności ekologicznej, czy braku negatywnych skutków zdrowotnych u okolicznej ludności straciłyby na znaczeniu, gdyby się okazało, że elektryczność pozyskiwana z rozszczepienia uranu jest droższa od rozwiązań alternatywnych. To, co przemawia do wyobraźni przeciętnego odbiorcy energii elektrycznej, to jest efektywny koszt jednej kilowatogodziny. Czasy, gdy elektryczność z reaktorów jądrowych była droższa od elektryczności z innych źródeł, należą do przeszłości. W warunkach polskich, uwzględniając tzw. koszty zewnętrzne (opłaty wynikające ze zobowiązań proekologicznych), elektryczność jądrowa będzie co najmniej o 50% tańsza od węglowej i 2–5-krotnie tańsza od energii ze źródeł odnawialnych. Na atrakcyjność ekonomiczną energetyki jądrowej składa się wiele unikalnych czynników. Najważniejsze z nich, to: (1) niski udział kosztu paliwa w finalnej cenie elektryczności, który nie przekracza 5%, (2) bardzo wysoka dyspozycyjność i stopień wykorzystania zainstalowanej mocy – powyżej 90%, (3) nadzwyczajnie długi czas eksploatacji, który obecnie sięga 60 lat. Należy zaznaczyć, że choć w przypadku elektrowni jądrowej nakłady inwestycyjne są znaczne, to koszty obsługi kapitału można zminimalizować przez staranne przygotowanie inwestycji. Choć cała inwestycja musi trwać długo, nawet 10 lat, to okres budowy – i intensywnego wydawania kapitału, bez przychodów ze sprzedaży elektryczności – można skrócić nawet do 36 miesięcy.

Przeciwnicy energetyki jądrowej często podnoszą nieprawdziwy argument, że energia z tego źródła będzie szybko drożeć, bo jakoby na wyczerpaniu są zasoby uranu na Ziemi. Zasoby uranu na Ziemi są olbrzymie, a właściwe pytanie brzmi: ile chcemy zapłacić za ekstrakcję uranu z rud uboższych? Szacuje się, że jeśli tempo eksploatacji złóż oraz cenę czystego uranu ustalić na obecnym poziomie, to stan ten da się utrzymać przez następne 50 lat. Jeśli byśmy jednak zgodzili się płacić za czysty uran dwukrotnie więcej niż obecnie, to wystarczy go na następne 500 lat. Ze względu na niski udział paliwa w kosztach finalnych elektryczności, zdrożałaby ona wtedy nie więcej niż o 10%. Szacunki te zakładają proces w oparciu o współcześnie pracujące reaktory termiczne, gdzie stopień wykorzystania uranu jest znikomy. Jeśli uwzględnić fakt, że w przyszłości będziemy stosować tzw. reaktory prędkie, a ich technologia jest już daleko zaawansowana, to wykorzystanie uranu zwiększy się 100-krotnie. A w zapasie mamy jeszcze tor, którego w skorupie ziemskiej jest czterokrotnie więcej niż uranu. Na koniec warto wspomnieć, że szacowane ceny elektryczności z rozszczepienia uranu włączają koszt likwidacji elektrowni po zakończeniu

jej eksploatacji i pełnej rekultywacji terenu. Zakłada się przy tym, że stan końcowy miejsca po zlikwidowanej siłowni jądrowej będzie lepszy niż przed rozpoczęciem budowy. Podsumowując należy stwierdzić, że rzetelnie przeanalizowane aspekty ekonomiczne, jednoznacznie przemawiają za energetyką jądrową.

Energetyka jądrowa w warunkach polskich

Kolejnym mitem, na który chętnie powołują się politycy, usprawiedliwiając swoje zaniechania względem energetyki jądrowej, jest teza, że budowa elektrowni jądrowych uderzy w „polski węgiel” pogarszając i tak trudną sytuację w przemyśle wydobywczym. Teza taka jest też na rękę etatowym działaczom licznych górniczych związków zawodowych. W rzeczywistości jednak rozwój energetyki jądrowej byłby szczególnie korzystny dla gęsto zaludnionego i konsumującego duże ilości energii Śląska. Węgiel kamienny jest nie tylko podstawowym nośnikiem energii, ale też bardzo cennym surowcem dla przemysłu chemicznego. Paradoksalnie (a może i nie?) czym gorsza jakość węgla (w sensie energetycznym), tym cenniejszy jest on dla przemysłu chemicznego. Wykorzystywanie węgla, bez przetworzenia, do opalania kotłów, jest bardzo nieracjonalnym pozbywaniem się „czarnego złota”. Węgiel kamienny można przetworzyć też na szlachetne gatunki paliw płynnych według znanej od dawna technologii chemicznej. Niestety, technologia ta nie jest szerzej stosowana, bo wymaga znacznych ilości energii, głównie cieplnej, przez co produkt końcowy jest zbyt drogi. Jednakże, zastosowanie bardzo ekonomicznych tzw. wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych stwarza nowe możliwości. Przy wysokich i niestabilnych cenach ropy i gazu, upłynnianie węgla w instalacjach zasilanych z reaktorów jądrowych staje się atrakcyjną ekonomicznie alternatywą. Polski Śląsk ma idealne wprost warunki, aby tę technologię wypróbować i rozwinąć na szeroką skalę. Mogłaby to być w końcu znacząca w skali światowej polska specjalność przemysłowa, a takiej obecnie nie mamy. A zdewastowany Śląsk uzyskałby fundusze na rozwój i istotną poprawę warunków życia jego mieszkańców. Pamiętać też należy, że złoża węgla w Polsce są już dość mocno wyeksploatowane. Jeśli chcemy dalej wydobywać węgiel, to potrzebne będą duże środki na poszukiwania nowych złóż i budowę nowych kopalń, z reguły w trudnych warunkach geologicznych. Specjaliści uważają, że wizja symbiozy węglowo-jądrowej nie jest tak nierealna, jakby się na pierwszy rzut oka wydawało.

Znaczenie odnawialnych źródeł energii w Polsce

Cała dotychczasowa dyskusja o zaletach energetyki jądrowej byłaby zbędna, gdyby się okazało, że istnieją ekonomicznie uzasadnione alternatywy. W tym kontekście należy się zastanowić nad możliwościami wykorzystania w Polsce tzw. *odnawialnych źródeł energii*. Zalicza się do nich, między innymi, hydro-

energię, energię promieniowania Słońca, energię geotermalną, maretermalną (energia cieplna prądów morskich) i maredynamiczną (energia przyływów i falowania mórz), a także energię wiatru oraz zawartą w biomacie. W polskich warunkach geograficzno-klimatycznych jedynie hydroenergia, energia wiatru oraz energia biomasy teoretycznie mogą stanowić podstawę produkcji energii elektrycznej. Hydroelektrownie dostarczają w Polsce obecnie tylko 3% energii. Niestety, nie mamy właściwie żadnych możliwości znaczącej rozbudowy tej gałęzi energetyki, a niezwykle kosztowne i nieobojętne środowisku inwestycje w rejonie Dolnej Wisły mogą co najwyżej zwiększyć ten udział do 5–6%. Brak zaplecza hydroelektrowni rzutuje też negatywnie na zwiększenie udziału energii wiatru. Okazuje się, że ta – w powszechnym mniemaniu – darmowa energia jest w ostateczności bardzo droga i nawet w Danii, kraju stawianym jako przykład wzorowego zagospodarowania wiatru, nie mogłaby być stosowana bez znacznych subwencji. Zasadniczą wadą wiatru jest jego nieregularność, a prognozy pogody są niepewne. Jeśli wiatr przestaje wiać, to dostawy prądu trzeba natychmiast zapewnić z innego źródła. Jeśli wiatr wieje mocno, a zapotrzebowanie na prąd w pobliżu elektrowni jest niewielkie, to energię trzeba natychmiast przesłać do dalszych odbiorców, żeby choć trochę zarobić na jej produkcji. Aby móc włączyć znaczących rozmiarów elektrownię wiatrową do centralnej sieci energetycznej, należy dysponować zapleczem mocy zapasowej, którą da się w krótkim czasie uruchomić, oraz rozbudowaną siecią przesyłową, zdolną do przyjęcia skokowych dawek energii. W takiej sytuacji jest właśnie Dania, która korzysta z rezerwowości mocy hydroelektrowni norweskich i jądrowych w Szwecji oraz może przesyłać skokowe nadwyżki do Niemiec, dzięki rozbudowanej sieci przesyłowej. Polska nie ma takich możliwości i nie można się ich spodziewać w perspektywie ćwierćwiecza. Kolejną wadą wiatraków jest ich mała trwałość i awaryjność. Turbina wiatrowa pracuje nie dłużej niż 20 lat (elektrownia jądrowa – 60!) i w tym czasie trzeba czterokrotnie wymienić w niej drogi system przekładni głównej. Zmienność siły wiatru jest też przyczyną niskiego stopnia wykorzystania zainstalowanej mocy w elektrowniach wiatrowych. W warunkach polskich nie przekracza on 15%, czyli trzeba zbudować prawie siedmiokrotnie większą instalację niż się będzie wykorzystywać, albo inaczej: przeciętnie tylko jeden z każdych siedmiu wiatraków będzie wykorzystany. Większe instalacje wiatrowe są proporcjonalnie droższe i zajmują znacznie więcej powierzchni. Jest to efekt niespotykany w elektrowniach konwencjonalnych i jądrowych. Nieprawdziwe jest też przekonanie, że wiatraki są przyjazne środowisku. Abstrahując już od estetyki krajobrazu upstrzonego setkami 100-metrowych turbin, od uciążliwego hałasu, który emitują, okazuje się przy rzetelnym rozliczeniu, że nie zmniejszają emisji CO₂, w porównaniu do elektrowni węglowych. Ten zaskakujący wynik bierze się stąd, że turbiny wiatrowe wymagają potężnych fundamentów oraz budowy sieci dróg dojazdowych, a do tego potrzeba dużo cementu. Jak wiadomo, produkcja cementu jest nie

tylko bardzo energochłonna, ale obciąża środowisko znacznymi emisjami CO₂ i pyłu. Elektrownie wiatrowe, jako alternatywa dla węgla, nie mogą więc być w Polsce poważnie brane pod uwagę.



Elektrownia wiatrowa

Jedynie opalanie kotłów granulatem z biomasy (ścinki drewna z lasów oraz ze specjalnych plantacji roślin energetycznych) mogą częściowo zastąpić węgiel. W przypadku spalania biomasy rzeczywista emisja CO₂ nie jest mniejsza niż dla węgla, chociaż, z niejasnych pobudek, nie obciąża się jej podatkiem ekologicznym, jak spalanie węgla, ropy, czy gazu. Jednakże i tu efekt ekonomiczny jest wątpliwy, jeśli uwzględnić problemy transportu oraz wielkość obszarów potrzebnych pod plantacje. Poza tym, sztuczne stymulowanie produkcji biomasy do celów energetycznych na wielką skalę doprowadziło już do poważnych perturbacji na światowym rynku żywności. Zwiększenie areалу pod plantacje roślin energetycznych, kosztem upraw zboża i kukurydzy, tak drastycznie zwiększyło ceny tych ostatnich, że w krajach biednych wzrosło widmo głodu.

Podsumowując to skrótowe z konieczności omówienie alternatywnych rozwiązań dla polskiej elektroenergetyki należy stwierdzić, że inwestycje w elektrownie jądrowe nie znajdują rzeczywistych i poważnych rozwiązań konkurencyjnych. Elektrownie jądrowe spełniają wszystkie wymagania bezpieczeństwa i nowoczesności. Są oszczędne i gwarantują stabilne i niskie ceny energii w perspektywie kilkudziesięciu lat. Ich wprowadzenie i eksploatacja nie tylko będzie miała korzystny wpływ na stan środowiska naturalnego, ale i da szansę polskiemu przemysłowi na ożywienie i unowocześnienie technologiczne. Uważam, że pilne i systematyczne przestawianie polskiej energetyki na produkcję elektryczności z rozszczepienia uranu jest koniecznością. Wniosek ten jest niezależny od tego, czy wierzy się w skuteczność forsowanych rozwiązań, z punktu widzenia złagodzenia negatywnych skutków globalnego ocieplenia klimatu Ziemi, czy się w to nie wierzy. W polskich warunkach tylko elektrownie jądrowe stwarzają

we stwarzają szansę, że zdołamy uniknąć nadmiernego zanieczyszczenia środowiska i zarazem będziemy w stanie produkować energię w ilościach wystarczających do zaspokojenia wszystkich potrzeb.

Zainteresowany omawianą tutaj problematyką Czytelnik *Fotonu* znajdzie szereg ważnych informacji, w tym szczegółowe dane i ich porównania, w proponowanych poniżej pozycjach bibliograficznych. Szczególnie polecam serię artykułów przystępnie napisanych przez doktora Andrzeja Strupczewskiego i współpracowników i opublikowanych w Biuletynie Miesięcznym Polskich Sieci Energetycznych S.A. Większość tych materiałów jest dostępna w Internecie.

Literatura

- [1] Roy W. Spencer, *Climate Confusion*, Encounter Books, New York, London, 2008.
- [2] B. Lomborg, *Cool It*, Alfred A. Knopf, New York, 2008.
- [3] I. Murray, *The Really Inconvenient Truths*, Regnery Publishing, Inc., Washington DC, 2008.
- [4] Alan M. Herbst, Gorge W. Hopley, *Nuclear Energy Now*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, 2007.
- [5] Grzegorz Jezierski, *Energia jądrowa wczoraj i dziś*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2005.
- [6] A. Hrynkiewicz, *Energia – wyzwanie XXI wieku*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 2002.
- [7] Georges Charpak, Richard L. Garwin, *Błędne ogniki i grzyby atomowe*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1999.
- [8] A. Strupczewski et al., Biuletyn Miesięczny PSE, Cykl: *Energetyka atomowa*, 2005–2007.

Od Redakcji:

Z publicystyki polecamy artykuł Bjørna Lomborga *Bardzo, bardzo sceptyczny ekolog*, „Przekrój”, 4 grudnia 2008, s. 44.



Ciemna materia

Paweł F. Góra
Instytut Fizyki UJ

Trudno w to uwierzyć, ale w kosmicznej skali cała materia, z której zbudowane są nasze ciała, Ziemia, Słońce i wszystkie gwiazdy, jest nieledwie zanieczyszczeniem. Większość materii Wszechświata jest dla nas niewidzialna – wedle obecnych szacunków, aż 84% materii Wszechświata stanowi tajemnicza substancja, zwana ciemną materią.

Odkrycie ciemnej materii

Jako pierwszy istnienie ciemnej materii zasugerował szwajcarski astronom, Fritz Zwicky, już w roku 1933. Badał on gromadę galaktyk leżącą w gwiazdozbiornie Warkocz Bereniki i ze zdumieniem stwierdził, iż galaktyki poruszają się tam ze znacznie większymi prędkościami, niż wynikałoby to z ich wzajemnego oddziaływania grawitacyjnego – wyglądało to tak, jakby jakaś niewidzialna materia rozpędzała galaktyki swoim grawitacyjnym wpływem. Skoro materia ta była niewidzialna, nie mogła oddziaływać elektromagnetycznie, nie mogła emitować ani pochłaniać fal elektromagnetycznych w żadnym zakresie. Nie świeciła, a więc była „ciemna”. Stąd właśnie wzięła się jej nazwa.

W późniejszych latach kolejni astronomowie dokładali swoje dane do obserwacji Zwicky’ego. W końcu zrozumiano, że także gwiazdy w galaktykach poruszają się znacznie szybciej, niż wynikałoby to z grawitacyjnego wpływu widzialnej materii. Astronomowie wiedzą, że tylko 1/9 (około 11%) zwykłej materii stanowi budulec gwiazd, planet i innych „normalnych” obiektów astronomicznych – reszta, czyli 8/9 zwykłej, podkreślamy, zwykłej materii występuje w postaci bardzo rozrzedzonego, zjonizowanego gazu, wypełniającego galaktyki i niezmierzone przestrzenie pomiędzy galaktykami w gromadach galaktyk. Gaz ten pochłania i wysyła fale elektromagnetyczne, możemy go więc obserwować, ale i tego rozrzedzonego gazu było za mało, aby utrzymać galaktyki i gromady galaktyk w ich obserwowanym kształcie. Gdyby nie ciemna materia, galaktyki, w tym nasza Droga Mleczna, po prostu by się rozpadły. W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku zgromadzono w końcu tak wiele danych, iż większość astronomów i fizyków nabrała przekonania, że jakaś forma ciemnej materii musi istnieć. Co ciekawe, najnowsze badania pokazują, że pewne typy galaktyk nie zawierają ciemnej materii i nie potrzebują jej do zachowania stabilności!

Pierwsze próby wyjaśnienia

Czym jest ciemna materia? Początkowo przypuszczano, że ciemna materia to mniej więcej normalne obiekty astronomiczne, których dotąd po prostu *nie udało się* zaobserwować, gdyż emitują one zbyt mało światła. Mogły to być brązowe karły, gwiazdy neutronowe lub czarne dziury, rezydujące na obrzeżach galaktyk, w tak zwanym halo. Nadano im wobec tego nazwę MACHO (*Massive – Compact Halo Object* – masywny, zwarty obiekt halo), zgodnie z coraz bardziej popularną zasadą, iż połowa sukcesu w fizyce polega na wymyśleniu chwytliwej nazwy dla badanych zjawisk¹. Skrupulatne, wieloletnie poszukiwania MACHOs pokazały, że choć w galaktycznych halo występują obiekty tego typu, najwyraźniej jest ich o wiele za mało, aby ich sumaryczny wpływ mógł odpowiadać ciemnej materii.

Zaczęto zatem przypuszczać, iż ciemną materię stanowią jakieś cząstki elementarne, być może nieznanie ziemskiej nauce. Cząstkom tym nadano nazwę WIMP² (*Weakly Interacting Massive Particle* – słabo oddziałująca masywna cząstka). Kosmologowie uświadomili też sobie, iż ciemna materia musiała wywrzeć wpływ na bardzo wczesne etapy ewolucji Wszechświata. Cenne informacje o anizotropii promieniowania relikтового, zdobyte przez satelitę COBE (Nagroda Nobla w roku 2006) i jego następcę, satelitę WMAP, narzuciły pewne ograniczenia na modele ciemnej materii. Po licznych dyskusjach i kontrowersjach, większość specjalistów – choć bynajmniej nie wszyscy! – zgodziła się, że ciemną materię stanowią pewne cząstki elementarne, obdarzone masą i poruszające się raczej powoli. Model taki nazywa się modelem *zimnej ciemnej materii*.

W modelu tym ciemna materia w normalnych warunkach oddziałuje ze zwykłą materią, i z sobą samą, tylko grawitacyjnie. Jeśli jednak energia oddziaływania jest dostatecznie duża, ciemna materia może dodatkowo oddziaływać z materią zwykłą – efekty takiego oddziaływania mogą być widoczne za pomocą zwykłych (choć bardzo czułych) metod. Można powiedzieć, że przy dostatecznie wysokich energiach ciemna materia nieco się rozjaśnia.

I to właściwie wszystko, co o ciemnej materii można zakładać od strony teoretycznej.

Soczewkowanie grawitacyjne

Jedną z konsekwencji Ogólnej Teorii Względności jest zakrzywienie toru promieni świetlnych przelatujących koło masywnego obiektu. Masywne, rozległe przestrzennie obiekty astronomiczne, takie jak gromady galaktyk, mogą działać jak soczewki – mogą zniekształcać, a nawet rozszczepiać obraz jakiegoś odległego obiektu, którego światło przez nie przechodzi. Choć możliwość tę prze-

¹ Macho oznacza silnego mężczyznę, skłonnego do dominacji nad innymi, ale na ogół niezbyt rozgarniętego.

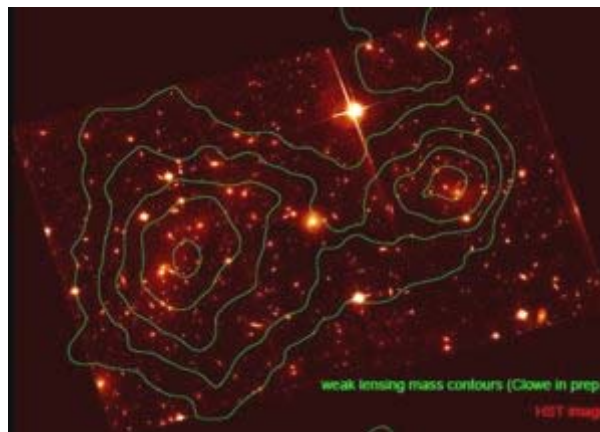
² Wimp (ang.) – słabeusz, tchórz, ciamajda.

widziano już w latach trzydziestych XX wieku, przy udziale Alberta Einsteina i znanego już nam Fritza Zwicky'ego, soczewkowanie grawitacyjne po raz pierwszy zaobserwowano dopiero w roku 1979. Od tego czasu stało się ono jednym z najważniejszych narzędzi badawczych astronomii pozagalaktycznej. Narzędzia tego możemy użyć także niejako w drugą stronę: jeśli wiemy, jak powinno wyglądać to, czego zniekształcony na skutek soczewkowania grawitacyjnego obraz oglądamy, możemy na tej podstawie obliczyć rozkład masy obiektu, który zadziałał jako soczewka. Tego właśnie sposobu użyto do potwierdzenia istnienia ciemnej materii.

W sierpniu 2006 ogłoszono wyniki badania gromady galaktyk Pocisk za pomocą kosmicznego teleskopu Chandra. Okazało się, że gromada ta składa się naprawdę z dwu gromad, ulegających kosmicznemu zderzeniu. Galaktyki z tych gromad właściwie nie odczuły zderzenia – minęły się jak rzadkie chmury pyłu pędzące w przeciwne strony i tylko nieznacznie spowolniły swój lot. Co innego międzygalaktyczny gaz, stanowiący zdecydowaną większość zwykłej materii wchodzącej w skład zderzających się gromad: gaz oddziałuje elektromagnetycznie, a zatem gaz z jednej gromady dosłownie zderzył się z gazem z drugiej. Obie chmury gazu znacząco wyhamowały swój lot. W efekcie prawie cały międzygalaktyczny gaz gromady Pocisk zgromadził się w stosunkowo niedużym obszarze zderzenia (rysunek 1). Natomiast ciemna materia oddziałuje ze wszystkim – także z ciemną materią z drugiej gromady – tylko grawitacyjnie i praktycznie rzecz biorąc nie odczuwa zderzenia. Za pomocą soczewkowania grawitacyjnego udało się odtworzyć rozkład pola grawitacyjnego wytwarzanego przez zderzające się gromady galaktyk (rysunek 2). Pole to, jak widać, nie jest związane ze zderzającym się gazem. Nie może też być wytwarzane przez widzialne galaktyki, bo te stanowią znikomą część masy całej gromady. Zatem źródłem pola grawitacyjnego musi być ciemna materia, wokół której uformowała się cała gromada i której rozkład nie jest praktycznie naruszony przez zderzenie.



Rysunek 1. Gromada galaktyk Pocisk



Rysunek 2. Linie stałego potencjału grawitacyjnego nałożone na zdjęcie gromady Pocisk

To jest bardzo piękny wynik. Wykorzystano kosmiczne zderzenie do usunięcia międzygalaktycznego gazu z obszaru, który powoduje grawitacyjne soczewkowanie, a więc który musi zawierać mnóstwo materii. To bardzo sprytny pomysł. W ten sposób dostarczono mocnego dowodu świadczącego o istnieniu ciemnej materii i w dodatku pozwalającego na oszacowanie ile tej ciemnej materii jest. Pomiar ten przekonał większość zatwardziałych sceptyków, którzy dotychczas wątpili w istnienie ciemnej materii.

Wielkie lowy

Wierzmy zatem, że ciemna materia naprawdę istnieje, ale pojęcia nie mamy z czego jest ona zbudowana. Ten, kto pierwszy zdobędzie bezpośrednio, namacalne ślady cząstek ciemnej materii, zdobędzie wielką sławę i, zapewne, Nagrodę Nobla. Wyścig po odkrycie natury ciemnej materii staje się jednym z najbardziej ekscytujących wyścigów współczesnej fizyki. Liczy się przede wszystkim to, kto pierwszy dostarczy niezbitych dowodów. Wszyscy inni będą się cieszyć mizerną sławą tego, kto potwierdził wyniki uzyskane przez kogoś innego.

Poszukiwania utrudnia brak dobrego modelu teoretycznego, nie wiadomo bowiem czego i gdzie szukać. Z drugiej strony, nie mamy dobrego modelu teoretycznego, gdyż mamy zbyt mało danych obserwacyjnych potrzebnych do jego sformułowania. Wygląda to na błędne koło, ale fizycy nie załamują rąk.

Specjaliści od fizyki cząstek elementarnych przypuszczają, że ciemną materię stanowią tak zwane cząstki supersymetryczne. Liczą oni na to, iż cząstki te uda się odkryć w akceleratorze LHC, gdy tylko odzyska on pełną funkcjonalność po awarii, której uległ zaledwie kilka dni po swoim oficjalnym uruchomieniu. Spodziewamy się, że przy zderzeniach wysokoenergetycznych cząstek zwykłej materii, produkowane będą także cząstki supersymetryczne.

Konkurencyjne grupy poszukują ciemnej materii bezpośrednio w przestrzeni kosmicznej. Od czasu do czasu powinno dochodzić do zderzeń cząstek ciemnej materii, w wyniku których produkowane będą zwykle cząstki i antycząstki. Śladów takich procesów szuka europejski satelita PAMELA³ (*Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics*). Ostatnio grupa zawiadująca PAMELĄ doniosła o odkryciu strumieni wysokoenergetycznych pozytonów (antyelektronów), a wyniki te zostały potwierdzone przez innych badaczy, analizujących dane zarejestrowane przez aparaturę umieszczoną na balonach stratosferycznych. Być może świadczy to o zaobserwowaniu zderzeń cząstek ciemnej materii – być może, ale nie z całą pewnością. Są bowiem pewne trudności w interpretacji tej kategorii danych. W szczególności zarejestrowany sygnał jest zbyt silny! Gdyby faktycznie miał on pochodzić od ciemnej materii, musiałoby to świadczyć o tym, iż Ziemia właśnie znajduje się w wyjątkowo gęstym obłoku tej substancji. Tak więc wydaje się, że PAMELA i balony faktycznie *coś* wykryły, ale tym czymś niekoniecznie jest ciemna materia. Równie dobrze może to być sygnał pochodzący od jakiegoś nieodkrytego jeszcze pulsara lub mikrokwazara.

Z publikacją danych PAMELI wiąże się ciekawa historia. Otóż autorzy tego eksperymentu przedstawili swoje dane przed ich oficjalną publikacją, na pewnej konferencji w sierpniu 2008 roku. Danych tych jednak nikomu nie udostępniłi do analizy, jako że przedwczesne upublicznienie danych mogłoby uniemożliwić im publikację w najbardziej prestiżowych czasopismach. Ktoś jednak sfotografował wyświetlony na konferencji slajd, a uzyskane w ten sposób dane umieścił w swojej publikacji, zaznaczając jednak, iż pochodzą one z PAMELI. W ten sposób wilk był syty i owca cała: Autorzy PAMELI nie utracili możliwości publikacji na skutek przedwczesnego ujawnienia danych, a zarazem świat naukowy uzyskał dostęp do wartościowej informacji na skutek ni mniej, ni więcej, tylko naukowego szpiegostwa. Czy można powiedzieć, że było to szpiegostwo w słusznej sprawie?

Jeszcze inne podejście prezentują autorzy eksperymentu DAMA/LIBRA, ulokowanego w tunelu pod masywem Gran Sasso w Apeninach. Eksperyment ten rejestruje nadlatujące z kosmosu cząstki, skupiając się na zdarzeniach, których nie udaje się wytłumaczyć konwencjonalnymi metodami. Autorzy eksperymentu donieśli, iż zaobserwowali słaby, ale wyraźny sygnał wykazujący roczną modulację i na tej podstawie twierdzą, że jest to sygnał pochodzący od cząstek ciemnej materii, owych tajemniczych WIMPów. Dlaczego? Spójrzmy na to w ten sposób: umieszczony na Ziemi detektor zderza się z oceanem WIMPów. Energia zderzenia zmienia się w zależności od tego, jaka jest prędkość Ziemi względem „wiatru WIMPów” (WIMPy poruszają się nierelatywistycznie). Ziemia, wraz z całym Układem Słonecznym, porusza się wokół centrum Galaktyki z prędkością około

³ Kolejna fajna nazwa.

200 km/s. Ponadto Ziemia porusza się wokół Słońca z prędkością rzędu 30 km/s. Przez pół roku okołosłoneczny ruch Ziemi zwiększa energię zderzenia z WIMPami, przed drugie pół roku – osłabia. Im większa energia zderzenia, tym większe prawdopodobieństwo zajścia reakcji, którą detektor może zarejestrować. Stąd właśnie miałyby wynikać roczna modulacja sygnału. Wszystko pięknie, ale ponieważ eksperyment DAMA/LIBRA nie mówi absolutnie nic o naturze rejestrowanych cząstek, nie wiadomo co tak naprawdę widzimy – nie muszą to być cząstki ciemnej materii, może to być coś innego, na przykład wysokoenergetyczne neutrino słoneczne, których strumień także powinien wykazywać roczną modulację na skutek zmiany odległości Ziemi od Słońca.

Zważyć niewidzialne

Informacje, których dostarczyły pomiary prędkości gwiazd w galaktykach i galaktyk w gromadach, soczewkowanie grawitacyjne oraz analiza anizotropii promieniowania tła, pozwalają oszacować całkowitą ilość ciemnej materii we Wszechświecie. Aż 84% całej materii to materia ciemna, zaledwie 16% to materia zwykła. Wziąwszy pod uwagę fakt, że większość zwykłej materii występuje w postaci międzygalaktycznego gazu, widzimy, iż masa wszystkich gwiazd Wszechświata i ich układów planetarnych, to zaledwie około półtora procent całej masy obserwowalnego Wszechświata. Zaiste, z punktu widzenia bilansu masy, jesteśmy nieistotnym zanieczyszczeniem.

Ciemna materia ma bardzo niewielką gęstość – niewielką, ale jednak większą od gęstości międzygalaktycznego gazu – a że przy tym wypełnia gigantyczne przestrzenie w gromadach galaktyk, jest jej bardzo, bardzo, bardzo dużo. Zwarte skupiska zwykłej materii (gwiazdy, planety) mają gęstość o wiele większą niż ciemna materia, tyle tylko, iż takie zwarte skupiska występują niezwykle rzadko.

Ostatnio podjęto próbę oszacowania całkowitej masy ciemnej materii znajdującej się w pobliżu Ziemi. Na pomysł jak to zrobić wpadł amerykański fizyk Stephen L. Adler. Wystarczy, powiada, mieć z jednej strony dokładne oszacowanie łącznej masy Ziemi i Księżyca, z drugiej zaś niezależne oszacowania masy Ziemi i masy Księżyca. Odejmując jedno od drugiego, znajdziemy masę ciemnej materii leżącej pomiędzy Ziemią a Księżycem.

Łączną masę układu Ziemia–Księżyc można wyznaczyć poprzez zbadanie ich wzajemnego oddziaływania grawitacyjnego, to zaś możemy poznać dzięki bardzo precyzyjnym pomiarom orbity Księżyca. Do tak wyznaczonej masy swój wkład ma masa Ziemi, masa Księżyca i masa wszystkiego, co znajduje się pomiędzy Ziemią a Księżycem. Wpływ satelitów i różnego kosmicznego drobiazgu można zaniedbać, nie można jednak zaniedbać wpływu ciemnej materii.

Masę samej Ziemi można wyznaczyć obserwując orbitę jakiegoś bliskiego Ziemi sztucznego satelity – wybrano satelitę LAGEOS. Podobnie, masę Księżyca można wyznaczyć badając jego grawitacyjny wpływ na blisko przelatujące

planetoidy – wybrano planetoidę Eros. Odejmując sumę tak obliczonych mas Ziemi i Księżyca od łącznej masy układu tych dwu ciał, dostajemy oszacowanie masy tego, co znajduje się pomiędzy orbitą LAGEOSa a Księżycem. Daje to górne ograniczenie na masę znajdującej się tam ciemnej materii. W wyniku obliczeń Adler otrzymał $1,5 \times 10^{15}$ kg, czyli około 225 ton na każdego człowieka. W liczbach bezwzględnych wydaje się to dużo, ale jest to zaledwie 4×10^{-9} (cztery miliardowe) masy Ziemi, a więc jednak dość mało: na każdy gram masy Ziemi przypadają zaledwie cztery nanogramy okołozemskiej ciemnej materii.

Poszukiwania trwają

Identyfikacja ciemnej materii i lepsze – ba, jakiegokolwiek! – poznanie jej własności jest jednym z najważniejszych wyzwań, jakie stoją przed fizyką. Bez tego nie będziemy mogli ani rozwijać modeli kosmologicznych, ani zrozumieć ewolucji Wszechświata, ani przewidzieć jego przyszłych losów. Choć dziś wydaje się to bardzo odległe, sądzę, że ciemną materię uda się kiedyś zaprząć do jakichś ludzkich procesów technologicznych, wynalazków. Do jakich? Nie mam najmniejszego pojęcia. Historia uczy jednak, że nie ma bezużytecznych odkryć naukowych, są natomiast takie, których użyteczności jeszcze nie poznaliśmy.

To bardzo frustrujące, ale fizyka, przy całej swej potędze i przy wszystkich wspaniałych osiągnięciach, potrafi cokolwiek powiedzieć o bardzo niewielkiej części całkowitej materii Wszechświata. Nie wspomnieliśmy przy tym o zjawisku jeszcze bardziej tajemniczym niż ciemna materia, a mianowicie o tak zwanej ciemnej energii, która – o ile istnieje – działa jak swego rodzaju „antygravitacja”, przyspieszając ekspansję Wszechświata. O tym, że przyspieszenie ekspansji rzeczywiście jest faktem, wnioskujemy na podstawie obserwacji supernowych w odległych galaktykach. O ciemnej materii wiemy, że istnieje, w kwestii ciemnej energii dysponujemy tylko niepotwierdzonymi hipotezami. Ale jeżeli ciemna energia rzeczywiście istnieje, to wedle dostępnych dziś danych, zawiera w sobie około 72% całkowitej energii Wszechświata. Mniej więcej 23% przypada na ciemną materię, niecałe 5% na zwykłą materię i wszelkie znane formy promieniowania, przy czym materia wszystkich gwiazd i ich układów planetarnych zawiera zaledwie 0,4% całkowitej energii Wszechświata.

Zaprawdę, jesteśmy jedynie drobnym zaburzeniem nieznanego nam, tajemniczej Całości.

Część z zamieszczonych tu informacji została wcześniej opublikowana na blogu <http://swiat-jaktodziala.blog.onet.pl>, którego jestem współautorem. Zainteresowanych Czytelników odsyłam do tego blogu, gdzie można znaleźć odnośniki do cytowanych prac oryginalnych i do wielu interesujących zasobów sieciowych.

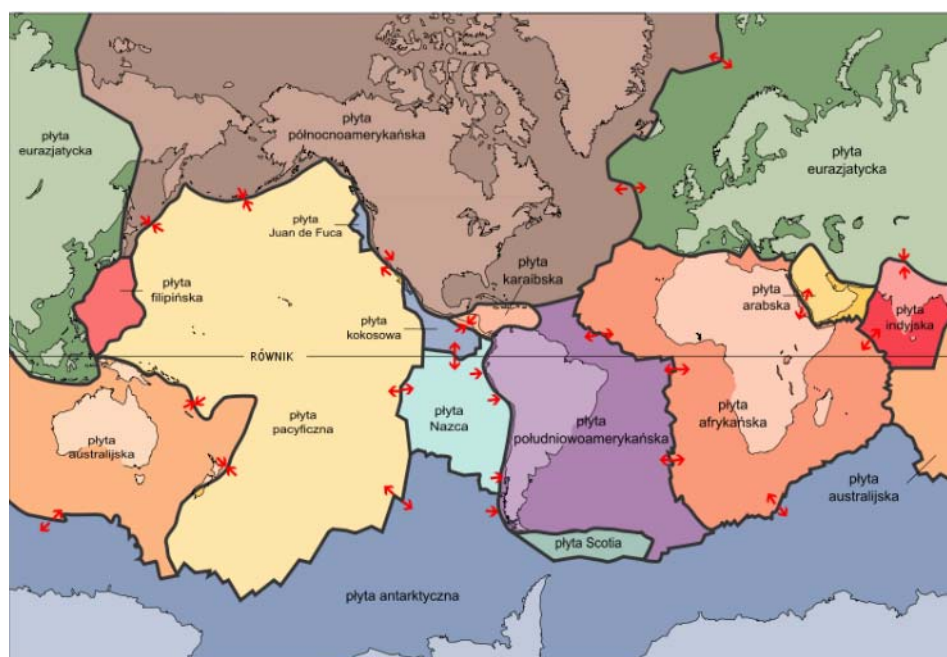


Trzęsienia ziemi i szósty zmysł zwierząt

*Paweł Węgrzyn
Instytut Fizyki UJ*

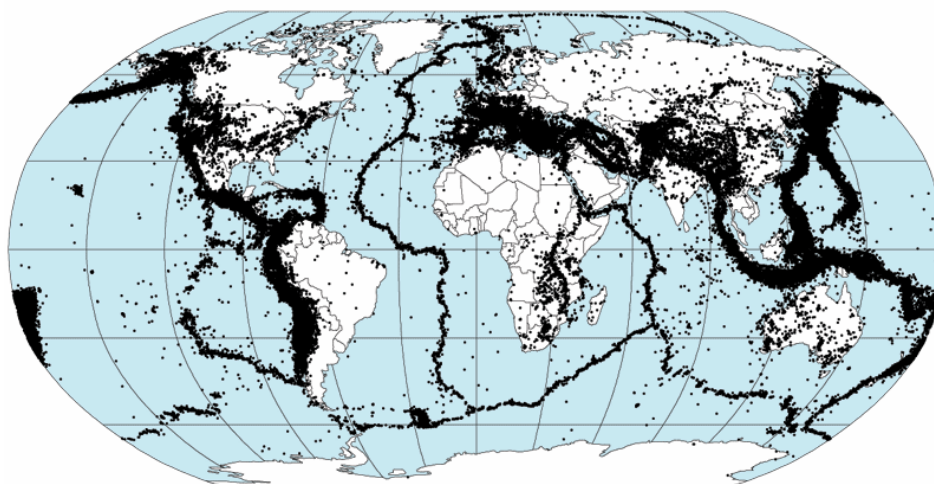
Trzęsienia ziemi

Litosfera, czyli zewnętrzna powłoka naszej planety Ziemi, nie stanowi spójnej warstwy. Raczej przypomina układankę puzzle, składającą się z 15 większych fragmentów i 41 mniejszych. Fragmenty litosfery nazywamy płytami tektonicznymi. Na tych 56 płytach osadzone są kontynenty i oceany. Płyty tektoniczne niestety nie są nieruchome. Przemieszczanie się płyt powoduje naprężenia, które od czasu do czasu muszą się rozładować. Trzęsienie ziemi jest wynikiem gwałtownego rozładowania energii nagromadzonej w skorupie ziemskiej wskutek naprężeń powstałych w wyniku przemieszczeń płyt tektonicznych.



Rys. 1. Rozmieszczenie większych płyt tektonicznych (źródło: Wikipedia)

Preliminary Determination of Epicenters 358,214 Events, 1963 - 1998



Rys. 2. Epicentra ponad 350 tysięcy trzęsień ziemi z końca ubiegłego wieku (źródło: Wikipedia)

Trzęsienia ziemi pojawiają się więc w obszarach położonych ponad granicami płyt tektonicznych. Możemy utwierdzić się w tej obserwacji porównując informacje przedstawione na rysunkach 1 i 2. Rysunek 2 został sporządzony na podstawie danych z ponad 350 tysięcy trzęsień ziemi, które wystąpiły w okresie 35 ostatnich lat ubiegłego wieku. Daje to nam średnią około 10 000 trzęsień na rok, co oznacza, że mówimy o dosyć częstym zjawisku na Ziemi (lub raczej wewnątrz Ziemi). Ruchy płyt są przyczyną około 90% trzęsień ziemi, w tym wszystkich silnych i tragicznych dla ludzi. Jednak nie wszystkie trzęsienia ziemi powodowane są ruchami płyt tektonicznych. Około dziesięciu procent słabszych trzęsień ziemi jest skutkiem innych zjawisk, głównie erupcji wulkanów i zapadania się podziemnych komór, np. jaskiniowych lub kopalnianych. Mówiąc tutaj o silnych i słabych trzęsieniach ziemi, myślimy oczywiście o energii wstrząsu. Jak duża może być energia towarzysząca wstrząsom?

Niewyobrażalna energia

Niszczycielska energia, która uwolniła się podczas gigantycznego i tragicznego w skutkach trzęsienia ziemi na Oceanie Indyjskim w 2004 roku szacowana jest na około 110 biliardów dżuli. Gdy porównamy tę wartość energii z energią wybuchu bomby atomowej, którą zrzucono na Hiroszimę, to otrzymamy równowartość 1500 bomb atomowych. Ta niewyobrażalna energia, która uwolniła się na powierzchni Ziemi, była i tak tylko znikomą cząstką całkowitej energii wstrząsu. Uwolniona energia pod powierzchnią Ziemi była prawdopodobnie

około 360 tysięcy razy większa niż energia uwolniona na powierzchni, czyli całkowita energia tego wstrząsu odpowiadała łącznej energii 550 milionów bomb atomowych. Jest to wielkość równa łącznemu zużyciu energii ze wszystkich źródeł przez wszystkich ludzi i wszystkie przedsiębiorstwa na całym świecie w ciągu pełnych 25 lat. Podliczamy tutaj energię tylko jednego, wybranego przez nas wstrząsu tektonicznego z 26 grudnia 2004 roku. Wybraliśmy to trzęsienie dla naszej krótkiej analizy energii głównie dlatego, że dysponujemy w tym przypadku dosyć dokładnymi danymi. A nie było to wcale najsilniejsze trzęsienie w dziejach planety Ziemi. W samym tylko XX wieku były dwa trzęsienia kilka razy silniejsze niż to omówione tutaj z 2004 roku.

Statystyka trzęsień ziemi

Niestety, trzęsienia ziemi były i są zjawiskami powszechnymi na naszej planecie. Na szczęście nie każde jest bardzo silne. Siłę wstrząsu najczęściej określamy w tak zwanej skali Richtera. Na podstawie pomiarów amplitudy drgań sejsmicznych szacujemy energię wyzwoloną w czasie trzęsienia. Przytoczone powyżej wielkie trzęsienie z 26 grudnia 2004 roku oszacowane zostało na około 9 stopni w skali Richtera. Jeden stopień mniej w tej skali odpowiada energii około 32 razy mniejszej, dwa stopnie mniej to energia już 1000 razy mniejsza. Słabsze trzęsienia ziemi, odnotowywane nawet w Polsce, nie są groźne i nie powodują większych szkód. Ostatni wstrząs w Polsce, o sile 4 stopni w skali Richtera, wystąpił 9 lutego 2007 o godzinie 11:30 z epicentrum w Katowicach-Piotrowicach. Większość mieszkańców odczuła wstrząs, ale poważnych strat w mieniu nie było. Niedawno (koniec października 2008) fala słabszych wstrząsów nawiedziła Czechy. Niebezpieczne są trzęsienia ziemi o sile wstrząsu powyżej 5 stopni w skali Richtera. Jeśli pojawiają się blisko obszarów zaludnionych, to mogą powodować zauważalne skutki, np. pęknięcia ścian niektórych budynków. Przy sile 6 stopni w skali Richtera należy się spodziewać uszkodzeń większości budynków i urządzeń infrastruktury technicznej w promieniu kilkudziesięciu kilometrów od epicentrum i niektórych budowli w promieniu kilkuset kilometrów. Prawdopodobnie taką siłę miał wstrząs z 5 czerwca 1443 roku z epicentrum gdzieś na północ od Wrocławia, uważany za najsilniejsze trzęsienie ziemi w historii Polski. Największe straty odnotowano na Śląsku, natomiast w Krakowie zawaliło się wtedy sklepienie kościoła św. Katarzyny. Trzęsienia ziemi o sile około 6 stopni w skali Richtera są już bardzo groźne i pojawiają się na Ziemi w każdym tygodniu. Zachęcam Czytelnika do sprawdzenia bieżących wiadomości ze świata i poszukania informacji o trzęsieniach ziemi. Najprawdopodobniej znajdzie Czytelnik w danym tygodniu jedną lub dwie. Składając ten artykuł do druku w poniedziałek 8 grudnia 2008 roku, zajrzałem do Internetu i znalazłem doniesienia o dwóch wstrząsach o sile 6 stopni w skali Richtera, które pojawiły się w czasie minionego weekendu. W piątek trzęsienie ziemi na Morzu Banda na północny zachód od Dili, stolicy Timoru Wschodniego.

Wstrząsy były odczuwalne w Dili i wywołały obawy wśród mieszkańców. Na razie nie ma informacji na temat ofiar i zniszczeń. W niedzielę trzęsienie ziemi na Tajwanie. Nie podano jeszcze informacji o ofiarach lub stratach materialnych, nie ma groźby tsunami. Mapkę silnych trzęsień ziemi z ubiegłego tygodnia może Czytelnik znaleźć na stronie <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/recenteqsw/>. W każdym miesiącu mamy jeden lub dwa bardzo silne wstrząsy o sile powyżej 7 stopni w skali Richtera. Jeśli dotkną siedlisk ludzkich, to przynoszą makabryczne tragedie. W listopadzie 2008 były dwa, ale na szczęście obydwa epicentra znalazły się na obszarach mórz i oceanów. Pierwsze, 16 listopada, 135 kilometrów od jednej z wysp Indonezji (3 zabitych, 20 rannych, 700 domów zniszczonych) i drugie, 24 listopada, na Morzu Ochockim, 314 km na zachód od Pietropawłowska Kamczackiego. Jak podaje agencja ITAR-TASS, epicentrum leżało 400 km pod dnem morza, w związku z czym wstrząsy były praktycznie nieodczuwalne. Średnio raz do roku gdzieś na naszym globie pojawia się potężny wstrząs o sile powyżej 8 stopni w skali Richtera. W roku 2007 były dwa (na Kurylach i w Peru), w poprzednich latach po jednym. Rok 2008 przyniósł jedno trzęsienie ziemi o sile 8 stopni w skali Richtera. Lokalizacja epicentrum była na lądzie, trzęsienie pojawiło się w środku Chin, w prowincji Syczuan 12 maja i zabiło około 70 tysięcy ludzi. Najwięcej groźnych trzęsień ziemi (patrz rysunek 1) zdarza się na obrzeżach Oceanu Spokojnego, czyli na zachodnich wybrzeżach obu Ameryk, Alasce, wschodnich wybrzeżach Azji i wokół licznych archipelagów wysp od Japonii po Nową Zelandię. Kolejny zagrożony obszar to pas euroazjatycki od Włoch począwszy, przez Turcję, Kaukaz, po Azję Środkową i pasma wielkich gór. W mniejszym stopniu epicentra trzęsień pojawiają się w rejonie Oceanów Indyjskiego i Atlantyckiego. Polska jest szczęśliwie położona w obszarze niewystępowania silnych trzęsień ziemi.

Siła trzęsienia w skali Richtera	Potencjalne skutki	Średnia częstotliwość występowania na Ziemi
2 stopnie	sejsmografy ledwo rejestrują	co 20 sekund
3 stopnie	sejsmografy wyraźnie rejestrują	co 4 minuty
4 stopnie	niektórzy ludzie odczuwają	co dwie godziny
5 stopni	niewielkie zniszczenia	cztery razy dziennie
6 stopni	uszkodzenia budynków	raz w tygodniu
7 stopni	lokalne zniszczenia wiosek i miast	raz, dwa razy w miesiącu
8 stopni	zniszczenia w wielu krajach	raz w roku
9 stopni	zniszczenia w skali globalnej	kilka w stuleciu

Tragiczne skutki trzęsień ziemi

Jeżeli zdarzy się nam pechowo potknąć czy poślizgnąć, to możemy się nieźle potłuc, albo i nawet nabawić poważniejszej kontuzji. Skutki zależą oczywiście od siły z jaką uderzymy o podłoże lub jakiś inny obiekt na naszej drodze. Im większa energia kolizji, tym bardziej możemy być poturbowani. Każdy z nas

wie też z własnego doświadczenia, że można zarówno bardzo mocno się uderzyć i mimo wszystko szczęśliwie wyjść z tego cało, jak i lekko upaść z fatalnymi dla siebie skutkami. Podobnie rzecz się ma z trzęsieniami ziemi. Nie zawsze rozmiar tragedii ludzkiej jest proporcjonalny do energii trzęsienia ziemi. Najsilniejsze zarejestrowane trzęsienie ziemi odnotowano 22 maja 1960 roku w Chile – 9,5 stopni w skali Richtera. Liczby 2000 ofiar śmiertelnych, 3000 rannych i 2 miliony pozbawionych domów były, jak na taką siłę wstrząsu, nieduże. Natomiast tysiąc razy słabsze trzęsienie ziemi 27 lipca 1976 roku w Chinach zabiło ponad 655 000 ludzi. Ogromna i przerażająca tragedia, którą trudno jest porównać z czymkolwiek podobnym. Znamy z historii tylko jeden bardziej śmiertelny przypadek, trzęsienie ziemi również w Chinach z 23 stycznia 1556 roku, które według szacunków historyków pochłonęło ponad 800 tysięcy ofiar. Wspomniane na wstępie artykułu trzęsienie ziemi z 26 grudnia 2004 roku miało swoje epicentrum na oceanie, daleko, bo ponad 250 km, od najbliższych skupisk ludzkich. Mimo to gigantyczna energia i specyficzne uwarunkowania spowodowały powstanie morderczych fal tsunami, które rozchodząc się we wszystkich kierunkach, spustoszyły nie tylko pobliskie indonezyjskie wyspy, ale przemierzając tysiące kilometrów dotarły do wybrzeży Półwyspu Malajskiego, Sri Lanki, Indii, Malediwów, a nawet Afryki [1]. Łączny bilans ofiar śmiertelnych tego tragicznego wydarzenia sięgnął 280 tysięcy. Ludzi pozbawionych dachu nad głową, którzy stracili cały dobytek życia i zostali zmuszeni do szukania nowych miejsc pobytu, trudno jest zliczyć do dnia dzisiejszego. Szacujemy tę liczbę na 3 do nawet 5 milionów.



Rys. 3. Fala tsunami atakuje wybrzeże (zdjęcie z serwisu YouTube)



Rys. 4. Miasto Banda Aceh zmiecione z powierzchni ziemi przez falę tsunami powstałą w wyniku trzęsienia ziemi z 26.12.2004 (zdjęcia z serwisu Google przed i po przejściu tsunami)

Czy można zmniejszyć liczbę ofiar trzęsień ziemi?

W dopiero co rozpoczętym XXI wieku, trzęsienia ziemi pozbawiły życia już ponad pół miliona ludzi. Czy jesteśmy w stanie zaradzić dalszym tragediom? Trzęsień ziemi nie można powstrzymać, jedyne, co można zrobić, to spróbować nauczyć się przewidywać miejsca i daty prawdopodobnych trzęsień. Mając prognozę spodziewanego silnego wstrząsu sejsmicznego z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym, można ewakuować zagrożoną ludność w bezpieczne miejsca. Podobnie wyprzedzająca informacja o nadciągającej fali tsunami daje szansę na przemieszczenie mieszkańców nadbrzeżnych miejscowości w głąb lądu. Dlatego w wielu ośrodkach naukowych na świecie prowadzi się intensywne badania zmierzające do opracowania metod pozwalających przewidywać miejsca, daty i siły prawdopodobnych trzęsień ziemi. Rozwijane są odpowiednie systemy wczesnego ostrzegania. Chociaż wciąż daleko im do niezawodności, to wielokrotnie już uratowały ludzi i są ciągle doskonalone. Czule sejsmografy wyłapują słabsze wstrząsy poprzedzające silne trzęsienia, analizuje się deformacje terenu, fluktuacje poziomu wód studziennych lub lokalne zakłócenia propagacji fal radiowych. Zwraca się też baczna uwaga na nietypowe zachowania zwierząt.

Dziwne zachowania zwierząt

Dysponujemy licznymi historycznymi przekazami o nietypowych zachowaniach zwierząt przed trzęsieniami ziemi. Bogata jest również „ludowa mądrość” mieszkańców obszarów często nawiedzanych wstrząsami. Kury przestają znosić jaja, pszczoły opuszczają roje, koty chowają się, psy szczekają i nie odstępują właścicieli, myszy dostają konwulsji, ptaki zbierają się w stada, ryby wyskakują z wody. Już greccy historycy odnotowali niezwykle zdarzenie przed trzęsieniem ziemi w 373 roku przed Chrystusem, które zniszczyło Helis. Kilka dni wcześniej miasto opuściły szczury, łasice, węże i nawet stonogi. To najstarsza znana nam relacja, podobnych opowieści historycznych znamy doprawdy tysiące. Przytoczymy tylko kilka współczesnych relacji świadków tego rodzaju wyda-

rzeń. Zimą 1975 roku mieszkańcy Haicheng w Chinach obserwowali dziwne zachowania szczurów, myszy, bydła i przede wszystkim liczne pojawianie się węży, które o tej porze roku powinny tkwić głęboko zaszyte w norach. Wedle miejscowych wierzeń, oznaczało to nadchodzącą tragedię. W styczniu zarządzono ewakuację mieszkańców. Trzęsienie ziemi o sile powyżej 7 stopni w skali Richtera wystąpiło niebawem, 4 lutego 1975 roku. Szacuje się, że dzięki podjętej akcji ewakuacyjnej, uniknięto około 150 tysięcy prawdopodobnych ofiar śmiertelnych. Kolejny przykład: japońscy sejsmolodzy badający ostatnie trzęsienia ziemi w rejonie wysp japońskich, zauważyli dziwne zachowanie sardyniek, które tuż przed wstrząsami wpływają do koryt rzek, mimo że słodka woda jest dla nich zabójcza. Bardzo dużo informacji na temat nietypowego zachowania dzikich zwierząt podawano w mediach po omawianym już w tym artykule trzęsieniu ziemi z 26 grudnia 2004 roku. Pięć dni po tej wielkiej tragedii stacja BBC donosiła o śmiertelnym bilansie ofiar fal tsunami na Sri Lance, podając jednocześnie, że jeśli chodzi o dzikie zwierzęta, to nie zginął nawet jeden królik. Dzikie zwierzęta odpowiednio wcześniej uciekły w głąb lądu. Turystyczną atrakcją tajlandzkich plaż są przejażdżki na słoniach. Na kilka godzin przed uderzeniem tsunami, spokojne zwykle słonie zaczęły nagle trąbić, a tuż przed atakiem fali poderwały się do ucieczki w głąb lądu. Te, które były przywiązane, wściekle zerwały łańcuchy. Kilka słoni uniosło grupę japońskich turystów, którzy ze strachu bali się z nich zeskoczyć. Dzięki temu uniknęli śmierci w otchłaniach fal tsunami. W Malezji turyści licznie odwiedzają popularną prowincję Kuala Muda, gdzie są słynne „szeptane targi” rybne. Tysiące tamtejszych rybaków i turystów obserwowało przed 26 grudnia 2004 roku nietypowe szaleństwa delfinów, które podpływały do brzegu i wyskakiwały z wody. Ponadto połowy w tym rejonie i w tym czasie były 20 razy obfitsze niż zwykle, prawdopodobnie wiele ryb przeniosło się tutaj wcześniej z obszaru przyszłego epicentrum trzęsienia. W nadmorskich miejscowościach w Indiach podziwiać można kilkudziesięciotysięczne stada flamingów, brodzące w płytkich lagunach. Tuż przed tsunami 2004 roku tamtejsi mieszkańcy zaobserwowali coś niezwykłego. Flamingi gremialnie uniosły się w górę, po czym ogromna chmura ptactwa przemieściła się w głąb lądu.

Szósty zmysł zwierząt

Media opisując nietypowe zachowania zwierząt często wiążą je z tajemniczym „szóstym zmysłem”. Tego określenia używali już starożytni Rzymianie, przykładem jest legenda o gęsiach kapitołińskich. Przeświadczenie, że zwierzęta wyczuwają zbliżające się nieszczęścia, nie jest więc niczym nowym. Ale czy ma to cokolwiek wspólnego z rzeczywistością? W świetle współczesnej wiedzy trudno jest odpowiedzieć na to pytanie. Z pewnością wiele przekazów historycznych jest nieprawdziwych lub przesadzonych. Niektóre z doniesień medialnych możemy zweryfikować jako informacje niezgodne z faktami, niepewne

lub niepełne. Ewakuacja ludności z Haicheng w 1975 była podjęta nie tylko na podstawie obserwacji zachowań zwierząt, ale także z powodu zmian terenu i poziomu wód gruntowych oraz przede wszystkim wzrostu drgań sejsmicznych. W 1988 roku przeanalizowano 41 417 ogłoszeń prasowych o zaginionych zwierzętach w rejonie zatoki San Francisco, po czym skonfrontowano to z raportami o 224 trzęsieniach ziemi w tym czasie i obszarze [2]. Wniosek z matematycznej analizy danych statystycznych został sformułowany w tym naukowym artykule jednoznacznie – nie ma żadnej korelacji. Naukowcy obserwujący kilka słoni ze Sri Lanki „zakolczykowanych” nadajnikami satelitarnymi nie zauważyli niczego osobliwego w ich zachowaniu tuż przed nadejściem fali tsunami w 2004 roku [3, 4]. Czy niezliczone opowieści i doniesienia o „szóstym zmysle” zwierząt, w szczególności w kontekście umiejętności przewidywania trzęsień ziemi i nadchodzących fal tsunami, to tylko przesady i ludowe bajdy?

A może jednak?

Inne analizy statystyczne w naukowych artykułach [5], dotyczących trzęsień ziemi w Kobe z 1995 roku i w Izmit z 1999 roku, wskazują jednak, że obok meteorologicznych i geofizycznych sygnałów poprzedzających zdarzenia, potwierdzone są również liczne doniesienia o obserwacjach dziwnych zachowań zwierząt. A więc może jednak występują pewne sygnały poprzedzające trzęsienia ziemi wychwytywane przynajmniej przez niektóre ze zwierząt? Załóżmy taką hipotezę i rozważmy ją w łańcuszku przyczynowo-skutkowym BODZIEC-ODBIÓR-REAKCJA. Bodziec to pewien sygnał fizyczny, który jest emitowany przed trzęsieniem ziemi. Odbiór to zdolność jakiegoś zwierzęcia do percepcji tego sygnału. Reakcja to odruchowa ucieczka zwierzęcia po tej percepcji. Udowodnienie hipotezy, że zwierzęta przeczuwają trzęsienia ziemi, wymaga złożenia układanki z trzech wspomnianych elementów. Po pierwsze, wskazać fizyczny sygnał, który pojawia się odpowiednio wcześniej przed trzęsieniem ziemi (tzw. prekursor). Następnie udowodnić, że pewne zwierzę odczuwa go (zmysłem, którego my nie mamy) i odpowiednio reaguje (ma to genetycznie uwarunkowane). Takiego w pełni naukowego dowodu nikomu jeszcze nie udało się przeprowadzić. Wydaje się, że dysponujemy ostatnim, trzecim fragmentem układanki. Symulacje przeprowadzone metodami Monte Carlo w ramach modeli genetycznych wykazały, że zwierzęta mogły w drodze ewolucji wykształcić geny odpowiedzialne za reakcję na ewentualne sygnały poprzedzające trzęsienia ziemi [6]. Inaczej mówiąc, jeśli zwierzę posiada zmysł reagujący na prekursor, to może posiadać genetycznie uwarunkowany odruch ucieczki. Zawdzięcza to przodkom, którzy w takich sytuacjach uciekali i dzięki temu przekazali swoje geny potomkom. Badania naukowe [6] pokazały, że trzęsień ziemi było w historii ewolucji gatunków wystarczająco dużo, by w drodze ewolucji wykształcić taki odruch. Pozostaje nam więc zidentyfikować określony sygnał fizyczny emitowany przed trzęsieniem ziemi, po czym wytypować zwierzę, który posia-

da zdolność percepcji wskazanego sygnału. Tego jednak nikomu jeszcze nie udało się dowieść. Głównie z tego powodu, że nie mamy dobrej wiedzy ani o prekursorach trzęsień ziemi, ani o receptorach specyficznych dla rozmaitych zwierząt. Opiszemy zatem tylko kilka hipotez.

Prekursory trzęsień ziemi i zwierzęce zmysły

Do ludzkich zmysłów nie zaliczamy zmysłu równowagi, chociaż każdy z nas dzięki błędnikowi potrafi wyczuć odchylenie od pozycji pionowej. Ale w przypadku człowieka odchylenie musi być większe niż 6 stopni kątowych. Podłoga lub platforma pod nami musi nachylić się o więcej niż 6 stopni, abyśmy mogli to odczuć z zamkniętymi oczami. Jednym z prekursorów trzęsień ziemi są lokalne zmiany nachylenia powierzchni ziemi, lecz są one rzędu ułamków sekund kątowych. Człowiek nie ma szans odczuć tak minimalnych zmian nachylenia, ale być może mają takie zdolności podziemne gryzonie [7]. Kolejny prekursor do rozważenia to podnoszenie się poziomu wód gruntowych. Powoduje to wypieranie wilgotnego powietrza z porowatych przestrzeni. W ziemnych norach i tuż przy powierzchni ziemi powietrze staje się bardziej wilgotne. Niektóre zwierzęta posiadają zmysł higrorecepcji, czyli wyczuwania zmian wilgotności. Należą do nich między innymi pająki, owady [8] i pieski pustynne [9]. Do prawdopodobnych prekursorów trzęsień ziemi zalicza się też sygnały elektryczne. Tutaj wyrafinowanymi specjalistami są zwierzęta morskie, na przykład rekiny i płaszczki. Wewnątrz tak zwanych ampulek Lorenziniego posiadają one receptory zdolne wychwytywać zmiany napięcia pola elektrycznego rzędu nanowoltów [10]. Do dyskusyjnych prekursorów trzęsień ziemi należą pojawiające się sygnały optyczne, czyli zjawiska świetlne. Jeżeli prekursory optyczne występują, to z łatwością mogłyby być wychwytywane przez zwierzęta nocne. Jeszcze słabiej naukowo rozpoznano pojawianie się zmian pola magnetycznego przed trzęsieniami ziemi. Tego rodzaju zmiany występują, ale wciąż trudno jest odkryć rządzące nimi reguły. Z drugiej strony, magnetorecepcja to jeden z najciekawszych zmysłów odkrytych przez neurofizjologów zwierząt. Ptaki i ryby posiadają biologicznie wykształcone kompas, które umożliwiają im nawigację w dalekich podróżach. Zwierzęta te wyczuwają fluktuacje pola magnetycznego rzędu nanotesli. Ciekawe jest również zjawisko generowania infradźwięków. Podczas trzęsień ziemi zachodzą one prawdopodobnie równocześnie z głównym wstrząsem. Nie są to więc raczej prekursory trzęsień ziemi, lecz mogą być prekursorami fal tsunami. Naturalnymi źródłami infradźwięków są wulkany, gejzery, wodospady, tornada i właśnie trzęsienia ziemi. Fale infradźwiękowe mogą się przemieszczać na wielkie odległości i są szybsze od fal tsunami. Można więc wysunąć hipotezę, że zwierzęta mogą przed nadejściem tsunami usłyszeć sygnał infradźwiękowy. A wiemy, że niektóre to potrafią, przykładowo ptaki, słonie, żyrafy, okapi, nosorożce i wieloryby. Jeżeli ktoś nadal sądzi, że wielkie uszy i śmieszna trąba słonia stanowią dowcip natury, to jest w błędzie.

W rzeczywistości jest to zestaw łączności infradźwiękowej – odbiornik i nadajnik. W ten sposób słonie prowadzą swoje „rozmowy zamiejskowe”, porozumiewając się na odległościach rzędu nawet kilkunastu kilometrów [11]. Mogą też wyczuwać drgania sejsmiczne [12].

Podsumowanie

Badania sygnałów emitowanych przed trzęsieniem ziemi, czyli tak zwanych prekursorów, są niezwykle ważne dla światowej społeczności. Głównym celem praktycznym jest konstrukcja systemów wczesnego ostrzegania, które pomogą uratować życia milionów ludzi. Nie są to łatwe badania, bo trudno jest przewidzieć lokalizacje kolejnych trzęsień ziemi, stąd też nie wiadomo, gdzie ustawiać urządzenia pomiarowe. Zwykle więc przeprowadza się analizę skutków po wystąpieniu zdarzenia. Nie można oczekiwać ogólnych modeli teoretycznych zjawisk, ponieważ wstrząsy tektoniczne nie są jednakowe pod względem geologicznym i fizycznym. Dziwne zachowania zwierząt poprzedzające trzęsienia ziemi są wprawdzie obserwowane i analizowane, ale jak dotąd nie udało się znaleźć regularnych praw i podać przekonujących wyjaśnień. Systematyczne naukowe badania szczególnych uzdolnień zwierząt są prowadzone dopiero od kilkunastu lat i nie są zbyt zaawansowane. Niewykluczone jednak, że to właśnie uważne obserwacje i badania zwierząt pomogą nam skonstruować użyteczne czujniki ostrzegające przed zbliżającym się kataklizmem wstrząsu tektonicznego.

Literatura

- [1] P. Góra, *Tsunami*, Foton 88 (2005).
- [2] R.B. Schall, *California Geology* 41 (1988).
- [3] E. Wikramanayake, P. Fernando, P. Leimgruber, *Behavioral Response of Satellite-collared Elephants to the Tsunami In Southern Sri Lanka*, *Biotropica* 38(6), 775 (2006).
- [4] P. Fernando, *Tsunami and Elephant „Sixth Sense” in Sri Lanka*, *Gajah* 26, 3 (2007).
- [5] N.E. Whitehead, U. Ulusay, H. Asahara, M. Ikeya, *Are any public-reported earthquake precursors valid?*, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4, 463 (2004).
- [6] J.L. Kirschvink, *Earthquake Prediction by Animals: Evolution and Sensory Perception*, *Bulletin of the Seismological Society of America* 90, 312 (2000).
- [7] T. Lindenlaub, H. Burda, E. Nevo, *Convergent evolution of the vestibular organ in the subterranean mole-rats*, *Rattus. J. Morphol.* 224, 303 (1995).
- [8] H. Tichy, R. Loftus, *Hygroreceptors in insects and a spider – humidity transduction models*, *Naturwissenschaften* 83, 255 (1996).
- [9] S.B. Vander Wall, *Seed water content and the vulnerability of buried seeds to foraging rodents*, *Am. Midland Naturalist* 129, 272 (1993).
- [10] A.J. Kalmijn, *The detection of electric fields from inanimate and animate sources other than electric organs*, *Handbook of Sensory Physiology*, vol. 9, 147 (1974).
- [11] D. Larom i inni, *Meteorology and elephant infrasound at Etosha National Park*, *J. Acoust. Soc. Am.* 101(3), 1710 (1997).
- [12] C.E. O’Connell-Rodwell i inni, *Wild elephant breeding herds respond to artificially transmitted seismic stimuli*, *Behav. Ecol. Sociobiol.* 59, 842 (2006).



Magnetoreceptory, czyli jak gołębie pocztowe wracają do domu

Dagmara Sokółowska

Wiele gatunków ptaków (np. gołębie pocztowe), żółwi, salamander, ryb spodoustych (np. rekiny), homarów i innych zwierząt wykazuje się bardzo dobrą orientacją w terenie, zarówno na małych, jak i dużych odległościach. Ich wewnętrzny GPS prawdopodobnie związany jest z receptorami magnetycznymi.



Źródło: Wikipedia

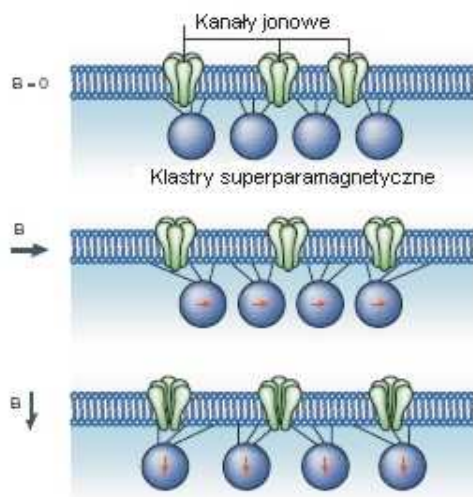
W globalnej wiosce nawigacja w nieznanym terenie staje się równie ważna jak przesyłanie informacji. Ponieważ ludzkie poczucie orientacji oparte jest głównie na zmyśle wzroku (czasem wspomaganym przez zmysł słuchu), człowiek musiał sobie stworzyć zewnętrzny system nawigacji – GPS. Wiele gatunków zwierząt postarało się o analogiczny (choć mniej precyzyjny) system na drodze ewolucji.

Podjeżdżewa się, że GPS zwierząt wędrownych oparty jest na magnetoreceptorach. Badacze mają jednak nie lada kłopot z ich znalezieniem, ponieważ nie bardzo wiadomo, gdzie ich szukać. Pole magnetyczne przenika przez komórki ciała, dlatego receptory te mogą znajdować się w dowolnym miejscu, a dodatkowo mogą być rozsiane w całym organizmie, ponieważ w przypadku orientacji nie jest potrzebny jeden konkretny narząd zmysłu.

Magnetoreceptory mogłyby być czułe zarówno na odchylenia od kierunku pola magnetycznego Ziemi, wartość indukcji pola magnetycznego, jak i na biegunowość pola (umożliwiając odróżnianie magnetycznego bieguna północnego od południowego). Lata badań zawęziły poszukiwania mechanizmów orientacji zwierząt w polu magnetycznym do trzech możliwości: wykorzystania indukcji elektromagnetycznej, powstawania reakcji chemicznych zależnych od pola magnetycznego oraz oddziaływania z polem magnetycznym magnetytów obecnych w ciele zwierzęcia.

Ten ostatni mechanizm został potwierdzony u gołębi pocztowych. W ostatnich latach odkryto w górnej części ich dzioba magnetyty superparamagnetyczne Fe_3O_4 , które magnesują się nietrwale, zgodnie z kierunkiem i zwrotem zewnętrznego pola magnetycznego. Ich klastry prawdopodobnie połączone są z kanałami jonowymi i (zgodnie z hipotezą) mogą je zatykać lub otwierać na zasadzie efektu mechanicznego. Pole magnetyczne ustawione równoległe do błony komórkowej, miałyby powodować przyciąganie się drobnych magnety-

tów, dzięki czemu kanały jonowe pozostawałyby całkowicie zamknięte. Natomiast w polu magnetycznym ustawionym prostopadle do błony komórkowej, drobne magnetyty odpychałyby się (jak magnesy, których jednoimienne bieguny ustawiono blisko siebie), co miałyby doprowadzać do otwarcia kanałów jonowych. W przypadkach pośrednich kanały jonowe byłyby otwarte częściowo. Hipoteza ta zgodna jest z faktem, że gołębie pocztowe nie reagują na biegunowość pola (nie było im to ewolucyjnie potrzebne ze względu na stosunkowo niewielkie odległości, jakie pokonują w swych wędrówkach), a jedynie na wartość wektora indukcji magnetycznej.



Na temat kanałów jonowych można przeczytać:

<http://www.biofiz.am.wroc.pl/bfstr62.html>

Na temat GPS można przeczytać:

http://pl.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System



Skalary, wektory i co dalej?

Bernard Jancewicz

Uniwersytet Wrocławski

1. Wektory

W podstawowym nauczaniu fizyki mówimy, że wielkości fizyczne są dwóch typów. Jeśli do określenia potrzebna jest tylko liczba (dodatnia lub ujemna) i jednostki, to taką wielkość nazywamy *skalarem*. Jeśli oprócz tego trzeba podać kierunek, to taką wielkość uznajemy za *wektor*. Czasem wielkości wektorowe nazywa się *wielkościami skierowanymi*.

Tutaj uwaga natury terminologicznej. Przy określaniu wektora swobodnego w podręcznikach szkolnych wymienia się trzy jego cechy: *kierunek*, *zwrot* i *wartość*. Przy tym kierunek rozumie się jako prostą, na której leży wektor. Po ustaleniu kierunku można jeszcze wybierać jeden z dwóch możliwych zwrotów, zwanych *przeciwnymi*. Według tej definicji nie może być kierunków przeciwnych. Takie rozumienie słowa „kierunek” jest jednak sprzeczne ze znaczeniem w języku ogólnym¹ i z intuicją kojarzoną z tym słowem. Zresztą i fizycy nauczający na poziomie akademickim używają tego słowa w odniesieniu do pojęć obejmujących również zwrot, co przejawia się w mówieniu czy pisaniu o kierunkach przeciwnych. Konkretnie przykłady znalazłem w dwóch podręcznikach autorów polskich, zob. [2, 3]. Warto też wiedzieć, że takie odrywanie kierunku od zwrotu występuje tylko w polskiej oświacie. Nie ma czegoś takiego w literaturze niemieckiej, rosyjskiej ani angielskojęzycznej.

Zupełnie niedawno natrafiłem na pierwszy podręcznik szkolny, mianowicie [4], w którym określone jest inne rozumienie kierunku. Otóż na str. 75 jest tam napisane: „Kierunek wektora jest wyznaczony przez półprostą, na której on leży.” A w przypisie dodano: „W niektórych podręcznikach przy opisie wielkości wektorowych (...) jako kierunek przyjmuje się prostą, na której wektor leży. Konieczne jest wówczas podanie zwrotu wektora.” Na tej samej stronie można znaleźć zdanie: „na ciało działają jednocześnie dwie siły w przeciwnych kierunkach”.

Wobec tego w niniejszym artykule będę się trzymać definicji, według której wektor ma dwie istotne cechy: *kierunek* i *wartość*, a kierunek to prosta ze zwrotem.

Na pierwszych latach studiów wprowadza się rozróżnienie wektorów na dwa podtypy: wektory zwyczajne zwane *biegunowymi* i pseudowektory, zwane też

¹ „Kierunek – strona, w którą ktoś lub coś się zwraca, kieruje, porusza; także: droga, linia prowadząca do jakiegoś miejsca, celu” [1].

osiowymi. Wektorami biegunowymi są: wektor wodzący, przemieszczenie, prędkość, pęd, siła, dipolowy moment elektryczny, a osiowymi: prędkość kąto-
wa, moment pędu, moment siły, dipolowy moment magnetyczny. Te dwa pod-
typy zachowują się różnie przy odbiciach i przy inwersji przestrzennej – wektory
biegunowe odbijają się tak, jak tego oczekujemy, a wektory osiowe oprócz
odbijania w wybranej płaszczyźnie trzeba pomnożyć przez minus jeden; nato-
miast przy inwersji wektory biegunowe zmieniają zwrot na przeciwny, a osiowe
zachowują swój kierunek (ze zwrotem). Teraz trochę więcej o wektorach osio-
wych.

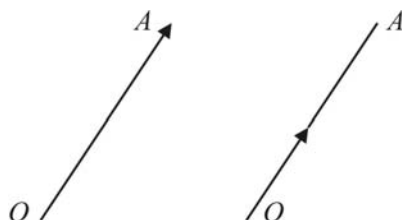
Przy rozważaniu równowagi na dźwigni posługujemy się *momentem siły*
 $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$, gdzie \vec{r} jest wektorem wodzącym, a \vec{F} siłą. Obydwa czynniki
tego iloczynu wektorowego są wektorami biegunowymi, więc przy inwersji
zmieniają zwrot na przeciwny – to oznacza, że dwa razy występuje czynnik -1 ,
zatem całość nie zmienia znaku. W takim razie moment siły jest wektorem
osiowym. Z definicji iloczynu wektorowego wiemy, że wektor \vec{M} jest prostopa-
dły do \vec{r} i \vec{F} , czyli do płaszczyzny, w której obraca się dźwignia. Kto uczył
tych zagadnień w szkole – wie, że to właśnie sprawia pewne kłopoty. Pojawia
się bowiem pytanie: czemu warunek równowagi na dźwigni opisuje się przez
wektory wychodzące poza płaszczyznę samej dźwigni? Zazwyczaj odpowiada
się, że to wiąże się z osią obrotu dźwigni, a ta oś musi być prostopadła do dźwi-
gni i płaszczyzny jej obracania. To jeszcze może być przekonujące.

Weźmy inny przykład: wirujące ciało sztywne. Przypisujemy mu *prędkość*
kątową $\vec{\omega}$ i *moment pędu* (*kręt*) \vec{L} . Obie te wielkości są wektorami osiowymi
i mają kierunek prostopadły do płaszczyzny obracania bryły. Co do zwrotu
przyjęło się powoływanie na śrubę prawoskrętną, ale przecież śruba lewoskrę-
tna byłaby równie dobra. Musimy chyba przyznać, że nie ma naturalnego sposo-
bu przypisywania zwrotu wektorom $\vec{\omega}$ czy \vec{L} .

Jeszcze inny przykład: pole magnetyczne. Dwie wielkości służące do jego
opisu: *natężenie pola magnetycznego* \vec{H} i *indukcja magnetyczna* \vec{B} są też wek-
torami osiowymi. Jakiś czas temu analogicznie do pola elektrycznego fizycy
posługiwali się *liniami sił* pola magnetycznego jako krzywymi stycznymi do
wektorów \vec{B} . Należy zadać pytanie: jakich sił? Tradycyjna odpowiedź, jaką
można znaleźć w bardzo starych podręcznikach – są to siły działające na bieguny
magnetyczne. Taka odpowiedź nie może zadowalać, bo jak dotąd nie wykry-
to pojedynczych biegunów magnetycznych. Pole magnetyczne wyznaczamy
badając jego działanie na prądy elektryczne albo ruchome ładunki elektryczne.
Siła działająca na pojedynczy ładunek elektryczny w ruchu jest zawsze prostopa-
dła do wektora indukcji magnetycznej \vec{B} , a więc i do tzw. „linii sił”. Dlatego
nazywanie owych krzywych liniami sił jest błędne, gdyż odwołujemy się do
działania pola magnetycznego na ładunki elektryczne.

W przytoczonych dotąd przykładach wielkości fizycznych są one wielkościami skierowanymi, ale przypisywany im – jak wektorom biegunowym – kierunek „jednowymiarowy” sprawia pewne kłopoty pojęciowe, nie jest więc do końca naturalny. Aby przekonać się o istnieniu innych możliwości, zapoznajmy się z wielkościami od dawna znanymi matematykom, mającymi kierunek „dwuwymiarowy”.

Przedtem jednak przypomnijmy, że *obrazem geometrycznym* wektora jest odcinek skierowany ze strzałką przy wyróżnionym punkcie, który uznajemy za koniec odcinka, zob. rys. 1 po lewej. Strzałka może też być umieszczona gdzieś między punktami brzegowymi, zob. rys. 1 po prawej.



Rys. 1. Wektor z różnie zaznaczonym zwrotem

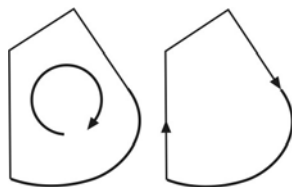
Wektor ma jako istotne cechy kierunek i wartość. Ale *kierunek* składa się z linii prostej, którą za Lounestem [5] nazywam *nastawieniem* wektora, oraz z grotu na tej prostej, którą wszyscy nazywamy *zwrotem*. Dwa wektory o tym samym nastawieniu nazywamy *równoległymi*. Dla ustalonego nastawienia możliwe są tylko dwa zwroty – nazywają się one *przeciwnymi*. Dwa wektory o tym samym kierunku możemy nazwać *zgodnie równoległymi*.

2. Wielowektory

Inna wielkość skierowana to *dwuwektor* (*bivector*), którego *nastawieniem* jest płaszczyzna, a *zwrotem* zakrzywiona strzałka leżąca na tej płaszczyźnie. Powinno być oczywistym, że dla ustalonego nastawienia możliwe są tylko dwa różne zwroty, które nazwiemy przeciwnymi. (Po zamknięciu owej zakrzywionej strzałki do okręgu zwrot jest zgodny z ruchem zegara albo przeciwny – patrz rys. 2.) *Wartość* dwuwektora to pole powierzchni. W ten sposób możemy przedstawiać dwuwektory jako figury płaskie z zakrzywionymi strzałkami na nich, patrz rys. 3 po lewej. Zwrot można też zobrazować jako strzałkę umieszczoną na brzegu figury, patrz rys. 3 po prawej. Kształt figury nie jest ważny, istotny jest tylko jej zwrot i pole powierzchni.



Rys. 2. Dwa zwroty dwuwymiarowe



Rys. 3. Dwuwektor z różnie zaznaczonym zwrotem

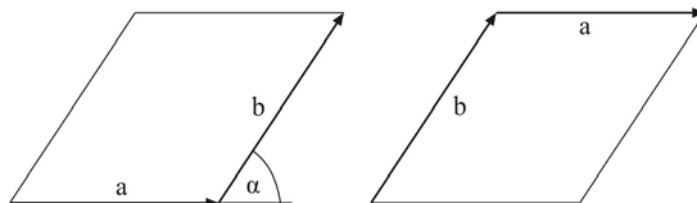
Podsumujmy cechy dwuwektora:

1. *kierunek*:

(a) *nastawienie* – płaszczyzna,

(b) *zwrot* – zakrzywiona strzałka na płaszczyźnie,

2. *wartość* – pole powierzchni.



Rys. 4. Iloczyn zewnętrzny wektorów

Dwuwektor można otrzymać z dwóch wektorów \vec{a} i \vec{b} następująco: wybieramy jeden z wektorów jako pierwszy, niech to będzie \vec{a} . Potem przez przesunięcie równoległe przykładamy początek wektora \vec{b} do końca wektora \vec{a} otrzymując dwa boki równoległoboku i wykreślamy dwa równoległe odcinki aby otrzymać cały równoległobok, zob. rys. 4 po lewej. Równoległobok jest figurą mającą obrazować szukany dwuwektor \vec{B} . Wektory \vec{a} i \vec{b} leżące na brzegu figury wyznaczają zwrot \vec{B} (na rysunku jest to zwrot przeciwny do ruchu wskazówki zegara). Dwuwektor \vec{B} otrzymany w wyniku tego przepisu nazywa się *iloczynem zewnętrznym wektorów* \vec{a} i \vec{b} , a jako znak mnożenia wybrano klin:

$$\vec{B} = \vec{a} \wedge \vec{b} \quad (1)$$

Wartość otrzymanego dwuwektora to pole powierzchni równoległoboku wyrażone wzorem $|\vec{B}| = |\vec{a}| |\vec{b}| \sin \alpha$, gdzie α jest kątem między wektorami. Jest to taka sama wartość jak dla iloczynu wektorowego, więc możemy uznać, że iloczyn zewnętrzny powinniśmy wykorzystywać tam, gdzie do tej pory mieliśmy iloczyn wektorowy wektorów biegunowych. Iloczyn wektorowy $\vec{B} = \vec{a} \times \vec{b}$ jest

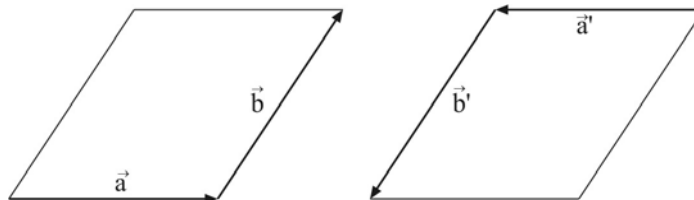
wektorem prostopadłym do dwuwektora \vec{B} i spełniającym regułę śruby prawoskrętnej.

Przedstawienie dwuwektora w postaci (1) (zwane także *rozkładem na czynniki w iloczynie zewnętrznym*) oczywiście nie jest jednoznaczne, bo jego czynniki \vec{a} i \vec{b} mogą być inne, byleby wyznaczały tę samą płaszczyznę i to samo pole powierzchni figury. Po przyłożeniu do siebie wektorów \vec{b} i \vec{a} w innej kolejności (patrz rys. 4 po prawej) widzimy zmianę zwrotu na przeciwny, co wyrażamy tożsamością

$$\vec{a} \wedge \vec{b} = -\vec{b} \wedge \vec{a} \quad (2)$$

oznaczającą, że iloczyn zewnętrzny wektorów jest *antyprzemienne*. Właśnie z możliwości przedstawienia dwuwektorów przez dwa wektory wzięła się ich nazwa.

Warto jeszcze zobaczyć, jak działa inwersja przestrzenna na dwuwektor. Weźmy dwuwektor z lewej części rys. 4 i poddamy go inwersji względem środka równoległoboku, co pokazuje rys. 5. Widzimy, że po inwersji wektory stały się przeciwne, ale dwuwektor jest taki sam jak przedtem, bo jego zwrot jest nadal przeciwny do ruchu wskazówek zegara. Rozumiemy więc, dlaczego dwuwektory zachowują się względem inwersji inaczej niż wektory.



Rys. 5. Inwersja działająca na dwuwektor

Można pójść dalej i wprowadzić wielkości trójwymiarowe z naturalnym nastawieniem jako przestrzeń trójwymiarową. Trzeba jednak zdefiniować *zwrot trójwymiarowy* – otóż jest to połączenie ruchu okrężnego z nierównoległym do niego ruchem postępowym. Rysujemy go w postaci dwóch splecionych strzałek, z których jedna jest prostoliniowa, jak na rys. 6. Zwrot jest uważany za taki sam, jeśli obie strzałki zostają jednocześnie obrócone, taką obróconą parę strzałek też widać na rys. 6. Dlatego możliwe są tylko dwa różne zwroty trójwymiarowe w przestrzeni trójwymiarowej – drugi zwrot ukazany jest na rys. 7 – zwane *przeciwnymi*. Tym dwóm zwrotom odpowiadają dwa rodzaje śrub (które łączą ruch postępowy z obrotowym): lewoskrętna i prawoskrętna, albo dwa typy linii śrubowych pokazane na rys. 8. Z tych powodów zwrot trójwymiarowy nazywany jest też *skretnością prawą* albo *lewą*.



Rys. 6. Jeden zwrot trójwymiarowy



Rys. 7. Drugi zwrot trójwymiarowy



Rys. 8. Dwa zwroty trójwymiarowe

Jesteśmy teraz gotowi zdefiniować *trójwektor* (*trivector*) jako obiekt geometryczny o następujących cechach:

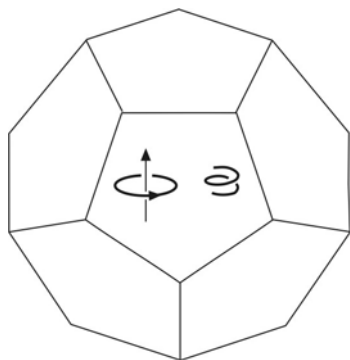
1. *kierunek*:

(a) *nastawienie* – przestrzeń 3-wymiarowa,

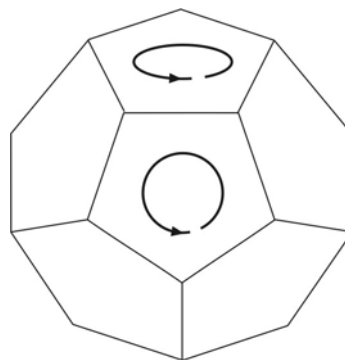
(b) *zwrot* – skrętność;

2. *wartość* – objętość.

Obrazem geometrycznym trójwektora jest bryła z dwiema splecionymi strzałkami albo fragmentem linii śrubowej w środku, patrz rys. 9. Na tym rysunku pokazany jest trójwektor o zwrocie prawoskrętnym.



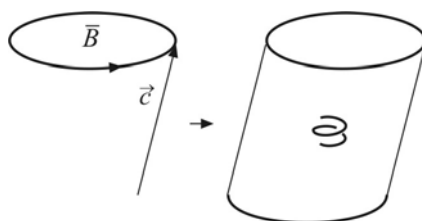
Rys. 9. Trójwektor ze zwrotem w środku



Rys. 10. Trójwektor ze zwrotem na powierzchni

Można też przesunąć zakrzywioną strzałkę w stronę wskazaną przez strzałkę prostoliniową i umieścić tę zakrzywioną na brzegu bryły, jak to pokazuje rys. 10. Oba rysunki 9 i 10 ukazują trójwektory o tej samej skrętności prawej, ale różnie zaznaczonej.

Trójwektor można zbudować z wektora \vec{c} i dwuwektora \overline{B} następująco. Koniec wektora \vec{c} przykładamy do brzegu \overline{B} i przesuwamy go równolegle po tym brzegu, aby otrzymać ukośny walec o podstawie \overline{B} , patrz rys. 11.

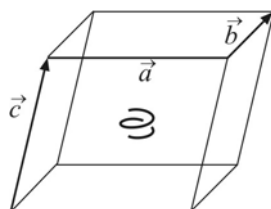


Rys. 11. Iloczyn zewnętrzny dwuwektora z wektorem

W ten sposób otrzymuje się wszystkie potrzebne cechy trójwektora \overline{T} : jego zwrotem jest zakrzywiona strzałka dwuwektora \overline{B} połączona z prostoliniową strzałką wektora \vec{c} ; w przykładzie ukazanym na rysunku 11 otrzymujemy skrętność prawą. Nastawienie jest tylko jedno w przestrzeni trójwymiarowej, a wartość jest naturalnie dana jako objętość walca. Przedstawione działanie przypisujące trójwektor \overline{T} czynnikom \vec{c} i \overline{B} nazywa się *iloczynem zewnętrznym* i oznaczane jest klinem: $\overline{T} = \vec{c} \wedge \overline{B}$. Określamy też iloczyn zewnętrzny w odwrotnej kolejności czynników zakładając *przemienność* tego iloczynu:

$$\overline{B} \wedge \vec{c} = \vec{c} \wedge \overline{B} \quad (3)$$

Trójwektor można też przedstawić jako iloczyn zewnętrzny trzech wektorów po rozkładzie dwuwektora na czynniki $\overline{B} = \vec{a} \wedge \vec{b}$, co daje $\overline{T} = \vec{c} \wedge (\vec{a} \wedge \vec{b})$, patrz rys. 12. Właśnie z tej możliwości przedstawiania trójwektorów wzięła się ich nazwa.



Rys. 12. Iloczyn zewnętrzny trzech wektorów

Dla sprawdzenia własnego rozumienia proponuję dwa zadania.

Zadanie 1. Pokazać na rysunkach, że trzy trójwektory $\vec{c} \wedge (\vec{a} \wedge \vec{b})$, $\vec{a} \wedge (\vec{b} \wedge \vec{c})$ i $\vec{b} \wedge (\vec{c} \wedge \vec{a})$ są równe.

W ten sposób wyrażenie $\vec{c} \wedge (\vec{a} \wedge \vec{b})$ jest symetryczne względem cyklicznej zamiany czynników. Udowodniona w zadaniu 1 równość $\vec{a} \wedge (\vec{b} \wedge \vec{c}) = \vec{c} \wedge (\vec{a} \wedge \vec{b})$ w połączeniu z (3) daje $\vec{a} \wedge (\vec{b} \wedge \vec{c}) = (\vec{a} \wedge \vec{b}) \wedge \vec{c}$, co oznacza, że iloczyn zewnętrzny wektorów jest *łączny*.

Zadanie 2. Zilustrować na rysunkach łączność $\vec{a} \wedge (\vec{b} \wedge \vec{c}) = (\vec{a} \wedge \vec{b}) \wedge \vec{c}$.

Omówione dotąd dwuwektory i trójwektory, a także znane dobrze skalary i wektory obejmują się łączną nazwą *wielowektorów* (*multivectors*). Przy czym skalar to wielowektor zerowego rzędu, wektor – pierwszego, dwuwektor – drugiego, trójwektor – trzeciego rzędu. Są do pomyślenia również twory czwartego i wyższych rzędów, ale do tego nie wystarczy już przestrzeń trójwymiarowa. Ładne zastosowania wielowektorów w geometrii można znaleźć w książce Jefimowa i Rozendorna [6].

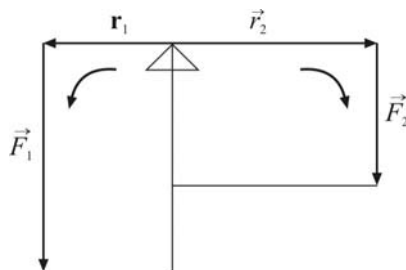
3. Wielkości dwuwektorowe w mechanice

Wielkości fizyczne opisywane dotąd przez pseudowektory warto obrazować przez dwuwektory, dzięki czemu wielkości te stają się bardziej pogładowe. Otóż moment siły \vec{M} , prędkość kątowna $\vec{\omega}$ i kręt \vec{L} przyjmijmy za dwuwektory. Ich wartości zostawiamy bez zmian, a dwuwymiarowy kierunek pojawia się naturalnie w wyniku analizy zjawisk opisywanych przez te wielkości. W przypadku momentu siły i krętu wystarczy napisać wzory wyrażające je przez zwykłe wektory:

$$\vec{M} = \vec{r} \wedge \vec{F} \quad \vec{L} = \vec{r} \wedge \vec{p}. \quad (4)$$

Wiadomo, że kolejność czynników jest ważna, ale tutaj zadana jest ona przez samo zjawisko. Dla momentu siły wektor siły \vec{F} jest zaczepiony na końcu wektora wodzącego \vec{r} , bo tak rozumie się ramię siły (odcinek skierowany poprowadzony od punktu odniesienia do punktu przyłożenia siły). Dla krętu jest podobnie: wektor pędu \vec{p} jest umiejscowiony na końcu wektora wodzącego \vec{r} opisującego położenie cząstki o pędzie \vec{p} .

Przy interpretacji momentu siły jako powierzchni skierowanej można prosto wyrazić warunek równowagi dźwigni, zob. rys. 13. Dwuwektory przedstawione przez dwa równoległoboki skierowane $\vec{r}_1 \wedge \vec{F}_1$ oraz $\vec{r}_2 \wedge \vec{F}_2$ powinny być przeciwnie.



Rys. 13. Warunek równowagi dźwigni dwustronnej. Wierzchołek trójkąta jest punktem podparcia

W przypadku prędkości kątowej $\bar{\omega}$ kierunkiem jest płaszczyzna, w której odbywa się obracanie, a zwrot jest zadany przez obrót. Nawet sam kąt obrotu $\bar{\varphi}$ możemy uważać za wielkość dwuwektorową, bo zawsze wiąże się z pewną płaszczyzną, w której się go mierzy. Wartość dwuwektora $\bar{\varphi}$ będzie oczywiście równa wartości skalarnej kąta. Zauważmy, że $\bar{\omega}$ i $\bar{\varphi}$ są przykładami dwuwektorów, których nie musimy określać przez iloczyn zewnętrzny wektorów. W szczególnie prostym przypadku obracania w stałej płaszczyźnie prędkość kątowa i kąt są związane prostym wzorem

$$\bar{\omega} = \frac{d\bar{\varphi}}{dt} \quad (5)$$

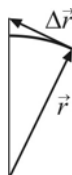
analogicznym do związku między wektorem wodzącym a prędkością liniową.

Dla ruchu płaskiego oprócz prędkości liniowej i kątowej wprowadza się jeszcze *prędkość polową*. Jest to pochodna pola powierzchni zakreślonej przez wektor wodzący względem czasu. Pole Δs powierzchni zakreślonej w czasie Δt , to w przybliżeniu pole trójkąta o bokach \vec{r} oraz $\Delta\vec{r} = \vec{v}\Delta t$, patrz rys. 14. W takim razie dwuwektor tej powierzchni zapiszemy

$$\overline{\Delta s} \approx \frac{1}{2} \vec{r} \wedge \Delta\vec{r} = \frac{1}{2} \vec{r} \wedge \vec{v}\Delta t. \quad (6)$$

Stosownie do tego dwuwektor prędkości polowej wynosi

$$\bar{\sigma} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\overline{\Delta s}}{\Delta t} = \frac{1}{2} \vec{r} \wedge \vec{v}. \quad (7)$$



Rys. 14. Powierzchnia zakreślana w ruchu po okręgu

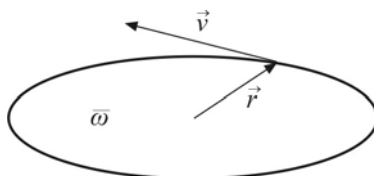
W tradycyjnym języku znany jest związek między prędkością kątową $\vec{\omega}$ a prędkością liniową \vec{v} i wektorem wodzącym:

$$\vec{\omega} = \frac{\vec{r} \times \vec{v}}{r^2}. \quad (8)$$

Przy dopuszczeniu dwuwektorów należałoby ten związek zapisać jako

$$\vec{\omega} = \frac{\vec{r} \wedge \vec{v}}{r^2} \quad (9)$$

Znowu nie ma dowolności w kolejności czynników iloczynu zewnętrznego, bo to właśnie wektor \vec{v} jest zaczepiony w punkcie \vec{r} , a nie na odwrót. Sytuację opisaną wzorem (9) zilustrowaliśmy na rys. 15.



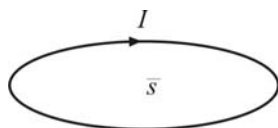
Rys. 15. Prędkość kątowa w ruchu po okręgu

W podanych przykładach zastąpienie wektorów osiowych przez dwuwektory sprzyja pogłębieniu w przedstawianiu wielkości fizycznych. Trzeba tylko uznać, że kierunki owych wielkości są wyznaczone przez płaszczyzny istotne dla rozważanych zjawisk. Są to więc wielkości skierowane, ale o kierunku dwuwymiarowym.

4. Wielkości dwuwektorowe w magnetostatyce

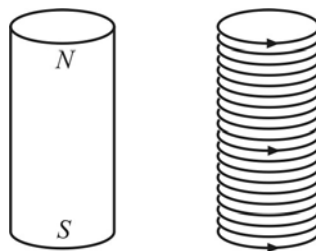
Pole magnetyczne jest wytwarzane przez prądy elektryczne. Najlepszym modelem fizycznym dwuwektora jest płaski obwód elektryczny, gdyż on sam przez siebie zadaje potrzebne cechy dwuwektora. Jego wartością jest właśnie pole powierzchni objętej przez obwód, jego nastawieniem jest płaszczyzna obwodu, a zwrot jest zadany przez kierunek płynącego prądu. Ten dwuwektor można nazwać *powierzchnią skierowaną* \vec{s} obwodu, patrz rys. 16. Związana z nim jest następna wielkość dwuwektorowa, mianowicie *moment magnetyczny* $\vec{m} = I \vec{s}$ obwodu, gdzie I jest natężeniem prądu. Wobec tego dotychczasowe traktowanie momentu magnetycznego jako wektora i nazywanie go momentem dipolowym nie jest właściwe. Układ fizyczny posiadający ten moment nie jest dipolem rozumianym jako zestaw dwóch biegunów (łac. *di-polus* = podwójny biegun), lecz czymś płaskim, dwuwymiarowym. Igor Tamm [7] nazywa to *łuską magne-*

tyczną. Moment magnetyczny powinno się raczej nazywać *momentem łuskowym* dla podkreślenia jego dwuwymiarowego charakteru².



Rys. 16. Powierzchnia skierowana obwodu elektrycznego

Jest jeszcze jedno pytanie, na które warto odpowiedzieć. Na ogół magnes jest obiektem trójwymiarowym, a obwód elektryczny raczej płaskim. Jak więc można zastępować jeden przez drugi? Otóż trzeba uważać magnes za stos łusek magnetycznych, co ilustrujemy na rys. 17.



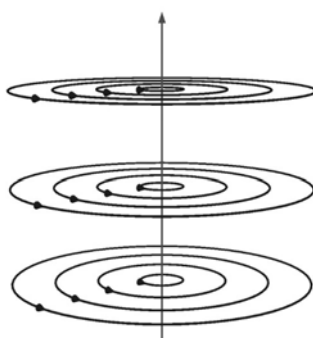
Rys. 17. Magnes jako stos obwodów elektrycznych

Wielkości opisujące pole magnetyczne, tzn. natężenie pola magnetycznego \vec{H} i indukcję magnetyczną \vec{B} tradycyjnie uważano za wektory osiowe. Teraz uznamy je za dwuwektory \vec{H} i \vec{B} . Jeśli już się na to zgodzimy, to możemy się zastanowić nad tym, czym zastąpić używane dotąd pojęcie linii pola magnetycznego. Otóż zamiast liniami należy teraz posługiwać się powierzchniami. Wprowadzam więc pojęcie *powierzchni pola magnetycznego* według następującej definicji – są to powierzchnie gładkie, do których w każdym punkcie są styczne dwuwektory \vec{B} indukcji magnetycznej. Zauważmy, że ta definicja jest analogiczna do określenia linii pola elektrycznego. Owym powierzchniom trzeba jeszcze nadać zwrot zgodny ze zwrotem dwuwektora \vec{B} . Warto podać kilka przykładów powierzchni pola magnetycznego dla najprostszycych układów wytwarzających pola magnetyczne.

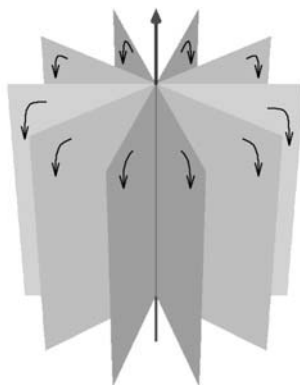
Skoro dwuwektory są prostopadłe do wektorów \vec{B} , to zdefiniowane przed chwilą powierzchnie są prostopadłe do tradycyjnych linii pola magnetycznego. To spostrzeżenie pomaga znaleźć powierzchnie pola magnetycznego wokół

² Dla niepłaskiego obwodu elektrycznego jego powierzchnię skierowaną i odpowiednio do tego łuskowy moment magnetyczny można określić za pomocą pewnej całki krzywoliniowej, której dla zwięzłości prezentacji nie będę podawać.

nieskończonego przewodu prostoliniowego, w którym płynie prąd elektryczny. Przypomnijmy, że linie pola są wtedy współśrodkowymi okręgami prostopadłymi do samego przewodu, jak pokazuje rys. 18. Po chwili zastanowienia dojdziemy do przekonania, że rodzina powierzchni prostopadłych do tych linii to półpłaszczyzny przechodzące przez sam przewód i odchodzące do nieskończoności, jak na rys. 19. Po nadaniu tym półpłaszczyznom zwrotów przekonujemy się, że są to zwroty zgodne ze zwrotem prądu płynącego w przewodzie, jeśli sam przewód uznamy za brzeg każdej półpłaszczyzny.

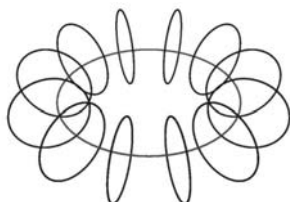


Rys. 18. Linie pola magnetycznego dla prądu prostoliniowego

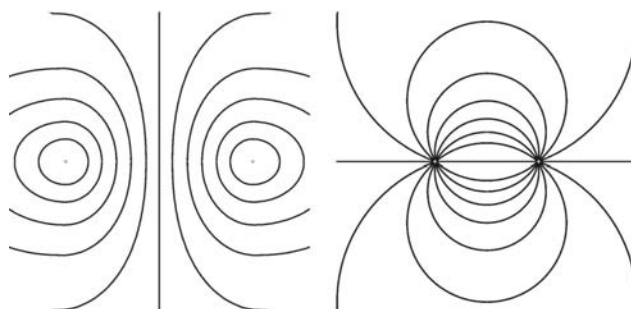


Rys. 19. Powierzchnie pola magnetycznego dla prądu prostoliniowego

Innym przykładem jest kołowa pętla z prądem (obwód kołowy). W tym przypadku linie pola magnetycznego są krzywymi zamkniętymi, leżącymi w płaszczyznach prostopadłych do pętli i przechodzących przez jej środek, patrz rys. 20. Na rys. 21 po lewej ukazano ich więcej w jednej z takich płaszczyzn. Przekroje powierzchni pola z ową płaszczyzną są widoczne na rys. 21 po prawej.

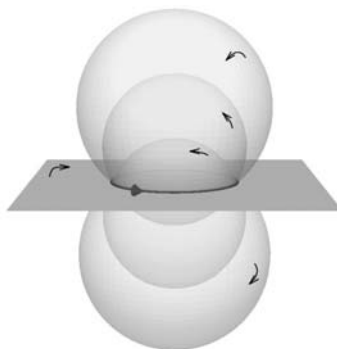


Rys. 20. Linie pola magnetycznego wokół obwodu kołowego



Rys. 21. Pole magnetyczne obwodu kołowego ukazane w płaszczyźnie prostopadłej do obwodu i przechodzącej przez jego środek. Po lewej: linie pola. Po prawej: powierzchnie pola, przecięte z płaszczyzną

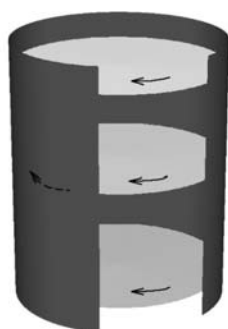
Potrzebne powierzchnie pola otrzymuje się przez obracanie tych krzywych wokół osi symetrii obwodu, zob. rys. 22. Są one swoistymi „bąblami” przechodzącymi przez przewodnik kołowy. Jedną z powierzchni pola jest płaszczyzną samej pętli z przeciwnymi zwrotami wewnątrz i na zewnątrz pętli. Ta płaszczyzna jest zaznaczona na rys. 22 mocniejszym szarym kolorem.



Rys. 22. Powierzchnie pola magnetycznego wokół obwodu kołowego

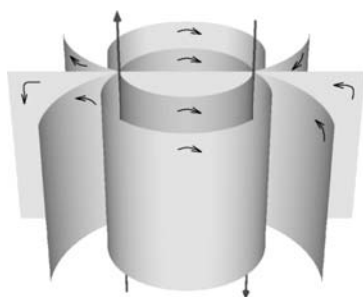
Pamiętamy, że linie pola elektrycznego zaczynają się i kończą na ładunkach (jeśli w ogóle mają jakiś koniec). Interpretujemy tę cechę mówiąc, że ładunki

elektryczne są źródłami pola elektrycznego. Omówione dotąd przykłady prądów elektrycznych (linia prosta i okrąg) ukazują analogiczną cechę pola magnetycznego: powierzchnie pola mają swoje brzegi na prądach będących źródłami pola magnetycznego. Ponadto zwroty tych powierzchni są zgodne ze zwrotami prądów płynących na ich brzegach. Widać to bardzo ładnie na następnym przykładzie, mianowicie polu magnetycznym w solenoidzie. Tam powierzchnie pola są prostopadłe do osi solenoidu, przez co kończą się na prądach, a zwroty mają zgodne z prądami, co ilustruje rys. 23 dla solenoidu o przekroju kołowym.

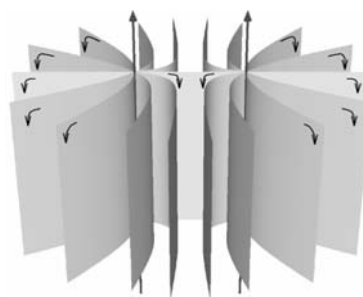


Rys. 23. Powierzchnie pola magnetycznego w solenoidzie kołowym

Warto jeszcze pokazać powierzchnie pola magnetycznego wytwarzanego przez dwa równoległe nieskończone przewody prostoliniowe. Na rys. 24 prądy o jednakowym natężeniu płyną w kierunkach przeciwnych, a na rys. 25 w zgodnych. W obydwu przykładach powierzchnie pola w punktach bardzo bliskich przewodom są podobne do sytuacji ukazanej na rys. 19, gdyż w pobliżu jednego przewodu jego pole przeważa nad polem od drugiego przewodu. W przypadku zgodnych prądów powierzchnie pola bardzo daleko od pary przewodów znowu są podobne do sytuacji z rys. 19, ponieważ w dużej odległości dwa przewody stają się nieodróżnialne i można je traktować jak jeden przewód z prądem o podwojonym natężeniu.



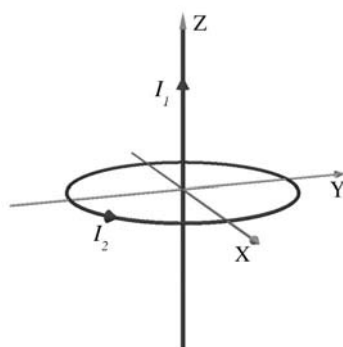
Rys. 24. Powierzchnie pola magnetycznego dla



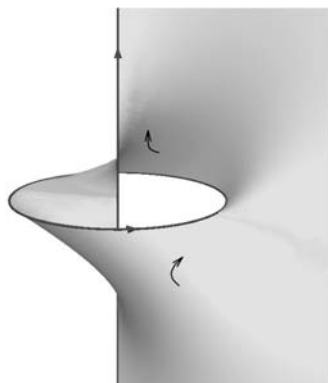
Rys. 25. Powierzchnie pola magnetycznego dla

dwóch równoległych prądów prostoliniowych, dwóch równoległych i zgodnych prądów prostoliniowych
 płynących w przeciwnych kierunkach

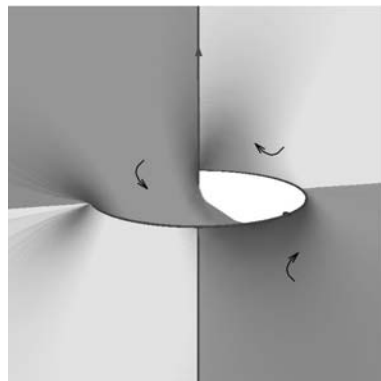
Udało mi się jeszcze znaleźć [8] powierzchnie pola dla superpozycji (złożenia) dwóch pól magnetycznych: jednego pochodzącego od prądu prostoliniowego o natężeniu I_1 i drugiego od prądu kołowego o natężeniu I_2 , patrz rys. 26. Na rys. 27 jest ukazana jedna taka powierzchnia dla $I_1 = I_2$, a na rys. 28 dla $I_2 = 2I_1$. Pozostałe powierzchnie otrzymuje się przez obracanie tej jednej wokół przewodu prostoliniowego.



Rys. 26. Konfiguracja dwóch prądów: prostoliniowego i kołowego

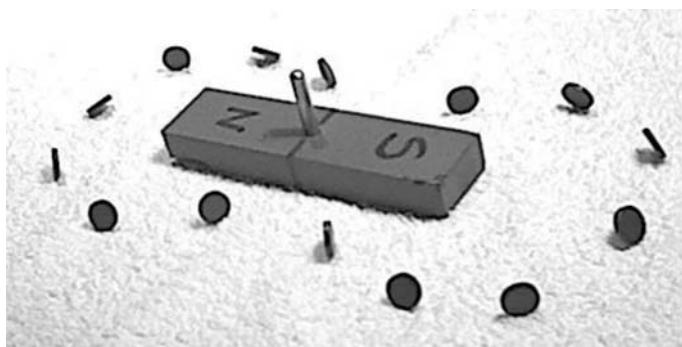


Rys. 27. Powierzchnia pola magnetycznego dla konfiguracji z rys. 26, gdy $\frac{I_2}{I_1} = 1$



Rys. 28. Powierzchnia pola magnetycznego dla konfiguracji z rys. 26, gdy $\frac{I_2}{I_1} = 2$

Pojęcie linii pola magnetycznego jest mocno utrwalone w tradycji fizyki. Bierze się ono z dobrze znanego pokazu ułożenia opiłków żelaza wokół magnesu. Można jednak pokazać inne doświadczenie z użyciem małych namagnesowanych krążków ułożonych w pobliżu większego magnesu, patrz rys. 29. Namagnesowanie każdego krążka jest prostopadłe to jego głównej płaszczyzny. Magnes sztabkowy ma długość około 10 cm. Przy wykonywaniu zdjęcia małe magnesy zostały ułożone na ręczniku, aby się nie przesunęły ku większemu. Ich pochylenie dowodzi, że samo pole magnetyczne je utrzymuje i nie zostały one ustawione ręką. Ta demonstracja jest łatwa do wykonania dla każdego. Jeśli zmusimy magnesy do płaskiego ułożenia na ręczniku, a następnie cofniemy rękę, to magnesy same powrócą do położenia pochylonego albo pionowego. Jak widać na tym zdjęciu, płaskie magnesy są prostopadłe do (łatwych do wyobrażenia) linii pola. W ten sposób obrazują one dwie spośród powierzchni pola magnetycznego wokół magnesu sztabkowego.



Rys. 29. Dwie powierzchnie pola magnetycznego ukazane w rzeczywistym doświadczeniu

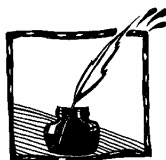
Na zakończenie chcę zaznaczyć, że nie postuluję całkowitego usunięcia wektorów osiowych z fizyki. Mają one jednak swoje zalety rachunkowe czy graficzne (trudniej jest narysować powierzchnie niż linie). Uważam tylko, że w procesie nauczania powinno się znaleźć miejsce na wskazanie dwuwektorewej natury pewnych wielkości fizycznych. Następnie można stwierdzić, że istnieje równoważny opis matematyczny pozwalający zastąpić je przez wektory osiowe, co niekiedy upraszcza pewne obliczenia czy przedstawienie graficzne.

Literatura

- [1] *Uniwersalny słownik języka polskiego*, red. Stanisław Dubisz, t.2, PWN, Warszawa 2003.
- [2] Andrzej K. Wróblewski, Janusz A. Zakrzewski, *Wstęp do fizyki*, t. 1, PWN, Warszawa 1976, s. 64–66.
- [3] Roman S. Ingarden, Andrzej Jamiołkowski, *Elektrodynamika klasyczna*, PWN, Warszawa 1980, s. 176 i 266.
- [4] Jan Mostowski, Włodzimierz Natorf, Nina Tomaszewska, *Fizyka i astronomia. Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego i technikum*, WSiP, Warszawa 2002.
- [5] Pertti Lounesto, Risto Mikkola, Vesa Vierros, *J. Comp. Math. Sci. Teach.* 9(1989)93.
- [6] N.W. Jefimow, E.R. Rozendorn, *Algebra liniowa wraz z geometrią wielowymiarową*, PWN, Warszawa 1974, rozdz. 10.
- [7] I.E. Tamm, *Podstawy teorii elektryczności*, WNT, Warszawa 1967, s. 216.
- [8] Bernard Jancewicz, Piotr Brzeski, „Magnetic field surfaces”, *European Journal of Physics*, 26(2005), s. 617–634.

Od Redakcji: Zazwyczaj w szkole przed wprowadzeniem wektora swobodnego, którym jest klasa wektorów zaczepionych, wprowadza się właśnie wektory zaczepione. Trzeba podać wtedy punkt przyłożenia wektora. Jest to oczywiste, gdy mówimy o wektorze położenia. Okazuje się, że przejście od wektora zaczepionego do swobodnego jest związane z poważną przeszkodą poznawczą, z przejściem do wyższego stopnia abstrakcji. Uczniowie szukają punktu przyłożenia wektora, który nie zawsze jest oczywisty. Jest to źródłem trudności w zrozumieniu reguł składania wektorów (np. prędkości). Omawiane w szkole przykłady, niekoniecznie ułatwiają pokonanie tej trudności. Na przykład siły są wektorami zaczepionymi, które w ciele stałym można przesuwać jedynie wzdłuż linii prostej działania.

Z.G-M



Laser azotowy

Albert Ratajczak

Uczeń I LO w Lesznie

Laser azotowy jest to laser gazowy, w którym ośrodkiem czynnym jest azot. Laser, którego budowę opiszę, nazywany bywa również powietrznym, ponieważ używa azotu zawartego w powietrzu. Zanim jednak zbudujemy laser azotowy musimy mieć układ zasilający wytwarzający wysokie napięcie około 15 kV. Budowa układu zasilającego wymaga minimalnej znajomości podstaw elektroniki.

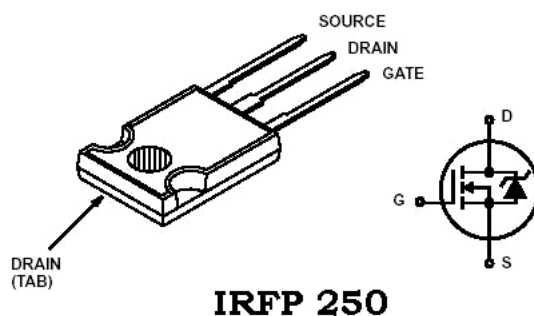
Generator wysokiego napięcia

Generator ten wytwarza prąd przemienny. Zasilany jest napięciem stałym od 10 do 40 V. Natężenie prądu pobieranego przez układ może być różne, zależnie od napięcia zasilającego. Ja swój generator zasilam napięciem 25 V, przy którym natężenie prądu nie jest większe niż 5 A.

Do budowy generatora wysokiego napięcia należy przygotować:

- oporniki: 470 Ω 2 W i 10 k Ω 2 W (po 2 szt.) dla pewności radzę zastosować oporniki o mocy 5 W;
- dwa tranzystory MOSFET IRFP 250 z radiatorami,

JEDEC STYLE TO-247



IRFP 250

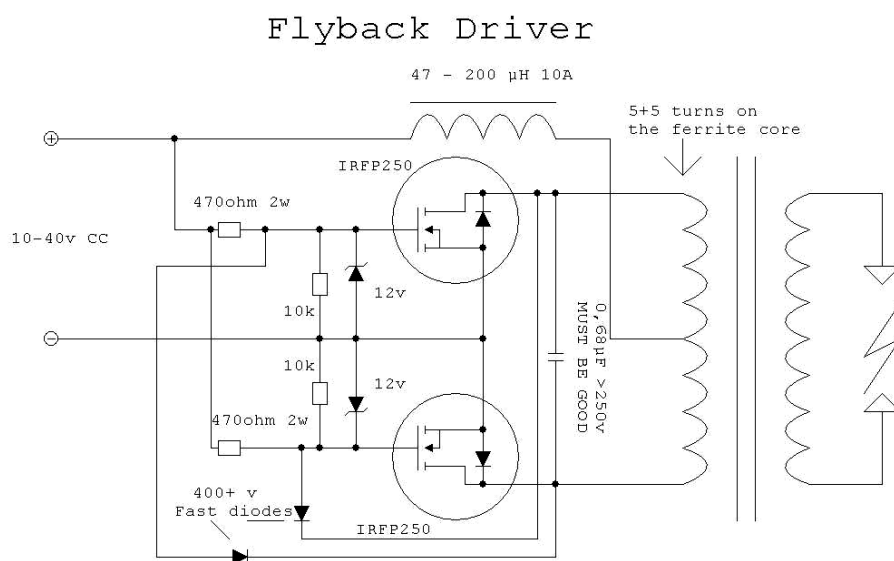
Rysunek obrazuje jak połączyć MOSFET-y.

Obraz pobrano z: http://portalnaukowy.edu.pl/grafika_1/gen_hv_300/irfp_250.jpg

- dwie diody Zenera 12 V;
- dwie półprzewodnikowe diody prostownicze wysokonapięciowe, ja użyłem 6A4DC;

- kondensator o pojemności 0,68 μF , napięcie dopuszczalne co najmniej 250 V;
- cewkę 47–200 μH 10 A (ja na rdzeń ferrytowy ze starego radia nawinąłem 30 zwojów przewodu w izolacji);
- transformator: uzwojenie pierwotne – nawijamy je z przewodu izolowanego 1,5 mm, tak jak na schemacie; uzwojenie wtórne – cewka wysokonapięciowa (ze starego telewizora lub monitora);
- kilka metrów przewodu do nawinięcia uzwojenia pierwotnego i cewki oraz doprowadzenia zasilania i odprowadzenia wysokiego napięcia;

Całość łączymy tak, jak na poniższym schemacie. Elementy montujemy na płytce drukowanej albo łącząc elementy na tzw. pajęczka, czyli za pomocą kabli, mocując je do plastikowej płytki. Układ umieszczamy w obudowie, koniecznie z materiału nieprzewodzącego prądu elektrycznego! Na zewnątrz obudowy wyprowadzamy tylko kable, do których podłączamy zasilanie i kable od uzwojenia wtórnego.



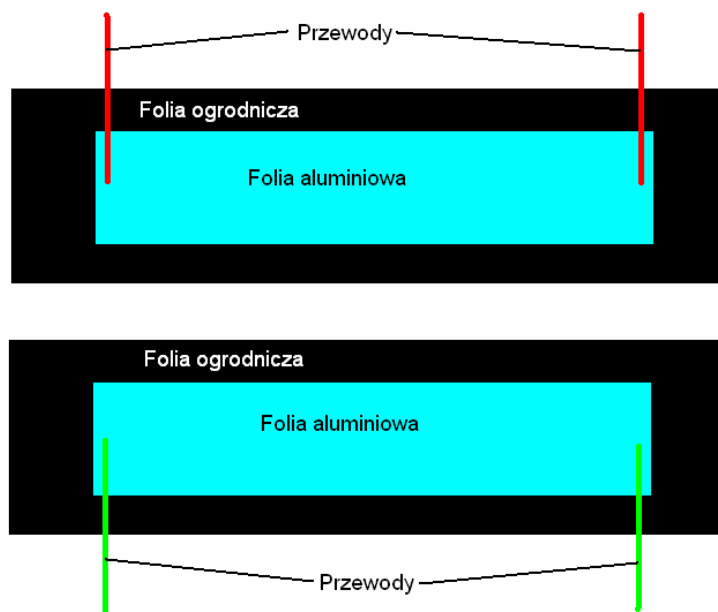
If you don't have the irfp250's you can use a couple of semiconductors that have a VDS almost 4 times the power supply and $R(ds)ON < 150\text{m}\Omega$. power supply must be able to supply several amps (more than 10)
Circuit ideated by Vladimiro Mazzilli

Obraz pobrano z:

http://portalnaukowy.edu.pl/grafika_1/gen_hv_300/Flyback_driverAndrineri.jpg

Kaskadowy mnożnik napięcia

Opisany powyżej generator wysokiego napięcia służy do zasilania kaskadowego mnożnika napięcia. Ten z kolei wytwarza napięcie stałe większe od napięcia zasilania tyle razy, ile użytych zostało par diod z kondensatorami. Do budowy kaskadowego mnożnika napięcia potrzebujemy kondensatorów i diod wysokonapięciowych. Kondensatory można wykonać samemu lub kupić. Do budowy kondensatora wysokonapięciowego potrzebujemy folii aluminiowej, folii ogrodniczej i kilkanaście centymetrów przewodów o średnicy minimum 1 mm. Z folii ogrodniczej wycinamy paski o wymiarach 10 cm × 50 cm. Należy wyciąć tyle pasków, żeby składająca się z nich warstwa izolująca miała grubość ok. 1 mm. Potrzebujemy dwie takie warstwy. Z folii aluminiowej wycinamy natomiast dwa paski o wymiarach 6 cm × 40 cm i przyklejamy je na środku warstw folii ogrodniczej. Do każdego paska folii aluminiowej należy jeszcze przymocować dwa kawałki przewodu. Kable przyklejamy za pomocą taśmy izolacyjnej na końcach folii. Dwie gotowe warstwy nakładamy na siebie i związujemy jak dywan. Na koniec całość oklejamy dookoła taśmą izolacyjną i łączymy ze sobą odpowiednie kable. Kable od danej okładki powinny być po tej samej stronie rolki. Kondensatory są gotowe.

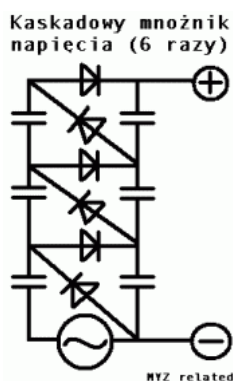


Rysunek przedstawia dwie warstwy potrzebne do budowy kondensatora

Diody wysokonapięciowe również można kupić lub zrobić z kilku diod 1N4007. Na jedną diodę wysokonapięciową potrzebujemy 10 diod 1N4007, które łączymy ze sobą szeregowo i zanurzamy w oleju roślinnym. Ja moje dio-

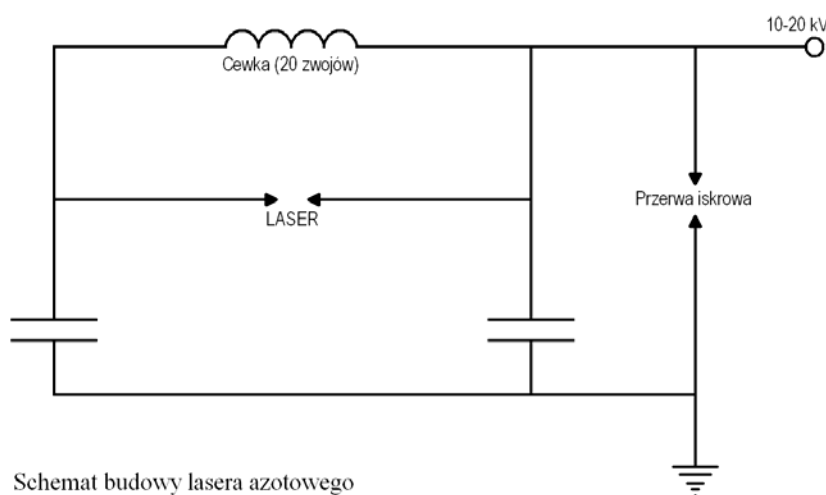
dy umieściłem w oprawkach od długopisu wypełnionych olejem, ale równie dobrze do tego celu można użyć, np. opakowań po tabletkach musujących.

Jeżeli mamy już diody i kondensatory całość składamy tak, jak na poniższym rysunku. Do zasilania lasera azotowego w zupełności powinien wystarczyć podwajacz napięcia, a więc budujemy układ składający się z dwóch diod i dwóch kondensatorów.



Obraz pobrano z: <http://www.myzlab.pl/eim/mnozник/mnozник.gif>

Laser azotowy



Schemat budowy lasera azotowego

Gdy mamy już układ zasilający, możemy zabrać się do budowy lasera azotowego. Budowę zaczynamy od wykonania dwóch kondensatorów. Do ich wykonania potrzebujemy folii aluminiowej i szyby, która spełni funkcję dielektryka i funkcję podtrzymującą konstrukcję. Zamiast szyby można użyć kilku

warstw folii ogrodniczej, ale wtedy całość musimy przymocować do czegoś, co ustabilizuje konstrukcję (np. sklejki). Z folii aluminiowej wycinamy dwa prostokąty o wymiarach $20\text{ cm} \times 28\text{ cm}$ i jeden o wymiarach $28\text{ cm} \times 41\text{ cm}$. Szyba powinna mieć wymiary o około 10 cm większe od wymiarów większego kawałka folii, czyli $38\text{ cm} \times 51\text{ cm}$. Folie – rys. kolor błękitny (szary) przyklejamy do szyby – rys. kolor czarny tak, jak pokazuje to poniższy rysunek. Pomiedzy górnymi okładkami powinien być odstęp jednego centymetra. Wymiary kondensatorów nie są narzucone, laser powinien działać również przy większych rozmiarach, ale wtedy należy pamiętać o zmianie rozmiarów pozostałych elementów.



Kolejnym krokiem jest nawinięcie zwojnicy i przymocowanie jej do górnych okładek kondensatorów. Cewkę wykonujemy z miedzianego drutu. Na rurkę lub coś innego w kształcie walca o średnicy około 20 mm nawijamy 20 zwojów. Po nawinięciu rurkę wyciągamy ze zwojnicy, a zwojnicę mocujemy za pomocą kleju i kawałków folii aluminiowej do kondensatorów (rys. poniżej).



Teraz należy zająć się budową przerwy iskrowej. Przerwę iskrową wykonać można ze śrubek lub z odpowiednio wygiętego drutu. Liczy się pomysłowość. W moim laserze przerwa zrobiona jest z odpowiednio powyginanych blaszek i śrubki. Całość jest przymocowana do szyby i okładek kondensatorów za pomocą kleju, w taki sposób jak na poniższym rysunku (kolor czerwony, tu szary). Rozmiar przerwy iskrowej należy dobrać doświadczalnie, zazwyczaj jest to odległość $10\text{--}20\text{ mm}$. W celu zminimalizowania blasku i hałasu, jaki powstaje podczas przeskoku iskry, przerwę iskrową należy obudować. Do tego celu można użyć plastikowych rurek lub kartonowego pudełka. Od przerwy iskrowej odprowadzamy kable, do których podłączone zostanie zasilanie.



Następnie wykonujemy elektrody, pomiędzy którymi będzie zachodzić akcja laserowa. Elektrody powinny być wykonane z aluminiowej listwy bądź kątownika. Ważne, żeby elektrody miały gładkie krawędzie, a ich rogi, w celu zapew-

nienia równomiernego przeskoku ładunku elektrycznego, były zaokrąglone (np. za pomocą pilnika). Nasz laser może mieć elektrody luzem kładzione na okładkach kondensatorów, albo przymocowane na stałe. Jeżeli zdecydujemy się przymocować elektrody na stałe, należy pamiętać, że jedna z elektrod powinna być przymocowana w taki sposób, aby była stabilna, ale by była również możliwa zamiana jej ustawienia. W tym celu należy dołożyć do naszego lasera trzeci kątownik, w którym wiercimy dwie dziurki i na stałe mocujemy do kondensatorów. Teraz w jednej z elektrod również wiercimy dziurki i za pomocą śrubek i sprężynek z długopisów mocujemy naszą elektrodę do kątownika. Odległość pomiędzy elektrodami powinna wynosić 1–3 mm. Elektrody również należy osłonić w celu zminimalizowania blasku. Poniższy rysunek pokazuje, gdzie trzeba umieścić elektrody (kolor niebieski, tu szary).



Fotografia pokazuje jak można wykonać regulowane elektrody

Na koniec nasz laser, a zwłaszcza dolne okładki kondensatorów, należy okleić folią lub brystolem. Laser można również umieścić w obudowie, ale nie jest to konieczne. Gdy już skończymy i wszystkie kleje wyschną, możemy uruchomić laser. Do przewodów odprowadzonych od przerwy iskrowej podłączamy kaskadowy mnożnik napięcia. **Po włączeniu zasilania nie należy dotykać lasera!** Jeżeli wszystko dobrze zostało zrobione na przerwie iskrowej powinna z dużą częstotliwością przeskakiwać iskra, a pomiędzy elektrodami powinny przeskakiwać tysiące drobnych fioletowych iskerek, które tworzą wiązkę laserową. Jeżeli tak nie jest, to wyłączamy zasilanie i regulujemy nasze elektrody, przesuwając odpowiednio jedną z nich. Jeżeli na przerwie iskrowej nie przeskakuje iskra, to należy zmniejszyć jej rozmiar. **UWAGA! Przed regulacją lasera należy rozładować kondensatory poprzez zwarcie przerwy iskrowej. Ja robię to za pomocą izolowanego śrubokręta.** Nie trzeba się zniechęcać, jeśli mimo wielu prób nie będzie można wyregulować lasera. Potrzeba do tego czasu i cierpliwości. Światło z dobrze wyregulowanego lasera można zaobserwować

na białej kartce. Lasery azotowe emitują fale elektromagnetyczne z zakresu ultrafioletu, ale mimo to możliwe jest zaobserwowanie niebieskiego światła.



Wyregulowany laser azotowy. Pomędzy elektrodami przeskakują drobne fioletowe iskiereki



Tak wygląda mój laser azotowy

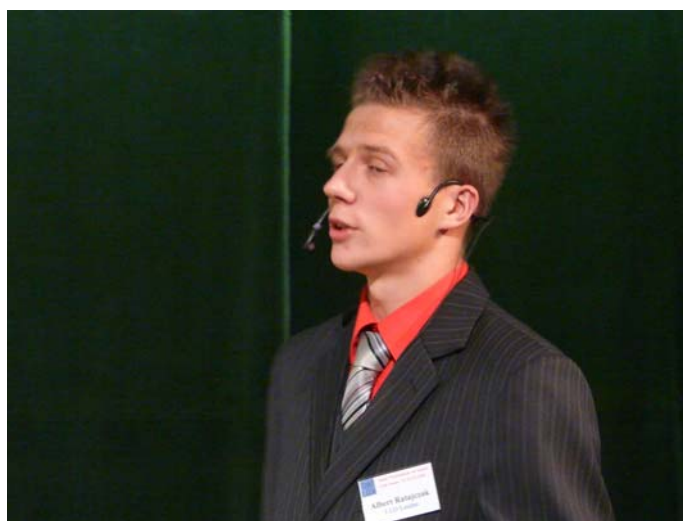
Budowa takiego lasera ma cele głównie edukacyjne. Nasz laser azotowy można wykorzystać do prezentacji naukowych i do np. odczytywania napisów wykonanych tuszem fosforyzującym pod wpływem ultrafioletu. Poza tym laser ten jest świetną zabawką, należy jednak pamiętać, że niebezpieczną, ponieważ

zasilany jest wysokim napięciem, a promieniowanie laserowe jest niebezpieczne dla oczu. Życzę miłej zabawy i sukcesów podczas budowy lasera azotowego.

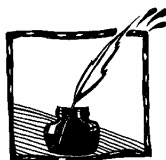
UWAGA!!!

URZĄDZENIE JEST ZASILANE WYSOKIM NAPIĘCIEM NIEBEZPIECZNYM DLA ŻYCIA. LASER WYTWARZA NIEWIDZIALNE DLA OCZU PROMIENIOWANIE ULTRAFIOLETOWE. PROMIENIOWANIE LASEROWE JEST NIEBEZPIECZNE DLA OCZU – NIE WOLNO PATRZEĆ WPROST W WIĄZKĘ LASEROWĄ, GDYŻ MOŻE TO DOPROWADZIĆ DO TRWAŁEJ UTRATY WZROKU. JEŻELI ZDECYDUJESZ SIĘ NA JEGO BUDOWĘ, ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ I PAMIĘTAJ, ŻE WSZYSTKO ROBISZ NA WŁASNĄ ODPOWIEDZIALNOŚĆ. AUTOR ARTYKUŁU NIE PONOSI JAKIEJKOLWIEK ODPOWIEDZIALNOŚCI ZA WYPADKI, JAKIE MOGĄ SIĘ ZDARZYĆ PRZY BUDOWIE I UŻYTKOWANIU URZĄDZENIA.

PAMIĘTAJ: ZDROWIE I ŻYCIE MASZ TYLKO JEDNO!!!



Autor artykułu Albert Ratajczak



Tańczące rodzynki i flotacja

Krystyna Raczkowska-Tomczak

Zofia Gołąb-Meyer

W 2 numerze *Neutrina* poruszyliśmy problem „tańczących rodzynek”. Oto on:

Do szklanki wlewamy napój gazowany (najlepiej Sprite) i wrzucamy do niej rodzynki. Woda nie zwilża rodzynek – pęcherzyki gazu (CO_2) przylegają do ich powierzchni i po chwili wynoszą je ku górze. Po dotarciu do powierzchni napoju większość pęcherzyków odrywa się, a rodzynki opadają i historia się powtarza. Teraz pora na rozważanie ilościowe. Spróbuj oszacować:

- ile pęcherzyków CO_2 o średnicy $d_p = 1 \text{ mm}$ potrzeba, aby wynieść na powierzchnię cieczy (w tym przypadku wody mineralnej) rodzynek o średniej gęstości $\rho_r = 1,1 \text{ g/cm}^3$ i średnicy $d_r = 0,5 \text{ cm}$?

Oznaczmy

ρ_c – gęstość cieczy i przyjmijmy ją 1 g/cm^3 ,

ρ_p – gęstość CO_2 w pęcherzykach – przyjmijmy $2 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$,

x – szukana ilość pęcherzyków.

x pęcherzyków CO_2 po połączeniu się z rodzynkiem utworzy obiekt o objętości

$$\frac{\pi d_r^3}{6} + x \frac{\pi d_p^3}{6}.$$

Wartość siły wyporu działającej na ten obiekt to

$$\left(\frac{\pi d_r^3}{6} + x \frac{\pi d_p^3}{6} \right) \rho_c g.$$

Wartość siły ciężkości x pęcherzyków i rodzynka to

$$\rho_r g \frac{\pi d_r^3}{6} + x \rho_p g \frac{\pi d_p^3}{6}.$$

Liczbę pęcherzyków CO_2 x , niezbędnych do wyniesienia rodzynka o średnicy d_r i gęstości ρ_r , wyznaczmy z nierówności (wypór musi być większy od ciężkości).

$$\underbrace{x \rho_p g \frac{\pi d_p^3}{6} + \rho_r g \frac{\pi d_r^3}{6}}_{\text{ciężar}} < \underbrace{\left(x \frac{\pi d_p^3}{6} + \frac{\pi d_r^3}{6} \right) \rho_c g}_{\text{wypór}}$$

Po prostym przekształceniu równania otrzymamy

$$x > \left(\frac{d_r}{d_p} \right)^3 \frac{\rho_c - \rho_r}{\rho_p - \rho_c}.$$

Po wstawieniu odpowiednich danych otrzymamy wynik, iż $x > 12,5$. To oznacza, że przy spełnieniu przyjętych założeń 13 pęcherzyków CO₂ uniesie rodzynek.

Flotacja

Zjawisko zaobserwowane jako „tańczące rodzyнки” jest wykorzystywane w przemyśle metalurgicznym i nosi nazwę flotacji. Polega ono na oddzielaniu wydobywanych minerałów (np. związki żelaza, miedzi) od tak zwanej skały płonej, np. piasku. Woda słabo zwilża drobne cząstki minerałów, a skałę płoną dobrze. Podczas kąpieli mieszaniny w wodzie, w której znajduje się dużo bąbelków powietrza minerały wypływają ku górze, a na dnie osiada szlam ze skały płonej i piasku.

Zjawisko flotacji odkryła przypadkiem w 1886 roku (i następnie opatentowała) amerykańska nauczycielka C.B. Everson. Prała worki, w których przechowywano minerał chalkopiryt (CuFeS₂) i zaobserwowała, że drobne cząstki minerału wypływają na powierzchnię cieczy z pianą.

Doświadczenie, które ilustruje proces flotacji

Pochodzi ono z książki Ryszarda Błażejewskiego *100 prostych doświadczeń z wodą i powietrzem*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1991.

Potrzebne materiały i przyrządy: szklanka, probówka, szczypta drobnych opiłków aluminiowych lub miedzianych i odrobina bardzo drobnego piasku, rozcieńczalnik do farb olejnych lub nafta.

Do czystej probówki należy wsypać szczyptę drobnych opiłków aluminiowych lub miedzianych, wymieszanych ze szczyptą drobnego piasku. Mieszanina ta ma imitować drobno zmieloną rudę metalu ze skałą płoną. Do wysokości około 3/4 probówki dolewamy wody. Zatykamy probówkę kciukiem i wstrząsamy. Można zaobserwować zachowanie opiłków i piasku. Efekt wstrząsania okazuje się mizerny. Następnie do probówki dodajemy kilka kropli rozcieńczalnika lub nafty i wstrząsamy ponownie zawartość probówki. Tym razem można zaobserwować, że znaczna część metalu wypływa blisko powierzchni „na plecach” pęcherzyków powietrza, a piasek pozostaje na dnie.



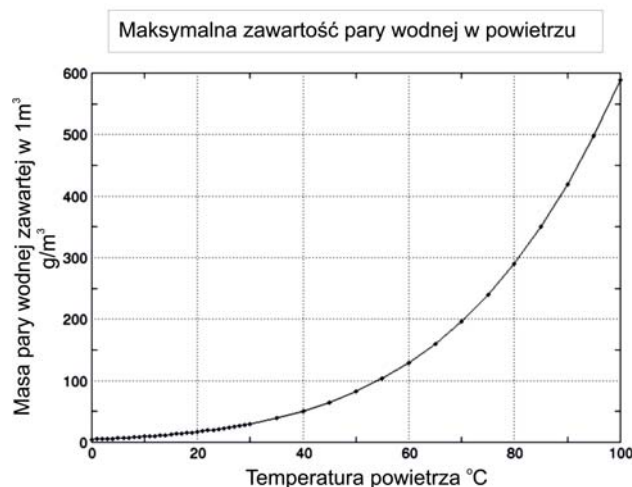
Naturalny higrometr

Dagmara Sokołowska

Instytut Fizyki UJ

Wysuszone błony śluzowe nosa i gardła sprawiają, że czujemy się niekomfortowo w pomieszczeniach z centralnym ogrzewaniem. Pierwsze, co nam wtedy przychodzi do głowy, to otwarcie okien. Jest to posunięcie niewątpliwie dobre ze względu na zrównoważenie proporcji tlenu i dwutlenku węgla oraz chwilowe ochłodzenie pomieszczenia, ale całkowicie nieefektywne, jeśli chodzi o dopływ wilgotnego powietrza.

Zawartość pary wodnej (czyli H_2O w postaci gazowej) w powietrzu może być różna, ale nie może przekroczyć pewnej wartości progowej (nasycenia), ponieważ wówczas para wodna natychmiast się skrapla. Im wyższa temperatura powietrza, tym próg nasycenia jest wyższy, czyli tym więcej pary wodnej może znajdować się w otoczeniu. Pokazuje to poniższy wykres.



Okazuje się, że organizm ludzki nie jest wyczulony na samą zawartość pary wodnej w powietrzu, ale wyłącznie na tak zwaną wilgotność względną, która informuje nas, jaka ilość pary wodnej znajduje się aktualnie w powietrzu w odniesieniu do ilości, która nasyciłaby powietrze w tej samej temperaturze. Błona śluzowa nosa i gardła (nasz naturalny higrometr) funkcjonuje prawidłowo, to znaczy efektywnie wyłapuje i zatapia w śluzie drobnoustroje i zanieczyszczenia, gdy wilgotność względna wynosi 40–60%. Poniżej wilgotności 40% ślu-

zówka wysusza się i przepuszcza znacznie więcej wirusów i bakterii do wnętrza organizmu.

Zimą, gdy temperatura powietrza jest niska już niewielka ilość pary nasyca powietrze, zatem wydaje nam się ono wilgotne, chociaż masa pary wodnej w nim obecnej jest niewielka. Latem w powietrzu, które wydaje się suche, może być więcej pary wodnej, a powietrze ciągle jeszcze nie będzie nią nasycone. Także w nagrzanym pomieszczeniu zwykle znajduje się znacznie więcej pary wodnej niż w powietrzu na zewnątrz, dlatego otwarcie okna w chłodny dzień zmniejszy ilość pary wodnej w mieszkaniu. Po zamknięciu okna i ponownym ogrzaniu powietrza przez kaloryfery, wilgotność będzie niższa niż poprzednio.

Skuteczne jest jedynie nawilżanie pomieszczeń od środka poprzez zamianę wody w parę wodną za pomocą nawilżaczy (elektrycznych, pojemników z wodą, czy naturalnych, jakimi są produkujące parę wodną rośliny). Najbardziej efektywne jednak dla naszego subiektywnego odczucia wilgotności (i najszybsze) jest po prostu obniżenie temperatury pomieszczenia. Na przykład: gdy w temperaturze 25°C wilgotność względna osiąga zaledwie 30% (błona śluzowa wysusza się), to przy tej samej ilości pary wodnej w powietrzu w temperaturze 20°C wilgotność ta jest już równa około 40% (co oznacza komfort dla błony śluzowej).



Góralski higrometr włosowy

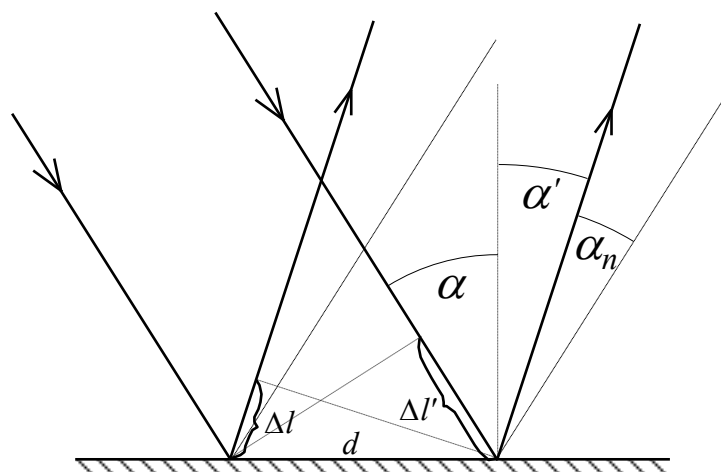


Odgłosy z jaskini (11) Siatka odbiciowa

Adam Smólski

Tym razem będą to raczej odblaski z jaskini. Przed opuszczeniem lwiątkowej piwniczki na Bednarskiej postanowiłem przebadać jeszcze raz to, co z uczniami na lekcji ćwiczyłem w zbytnim pośpiechu – odbiciową siatkę dyfrakcyjną. Niby nic oryginalnego, bo łatwiej obecnie o siatkę odbiciową – w postaci płyty CD – niż klasyczną, ze szczelinami. Ale chodziło o siatkę ustawioną nieprostopadle do wiązki z lasera. A konkretnie o to, jak zależy położenie prążków od kąta padania wiązki.

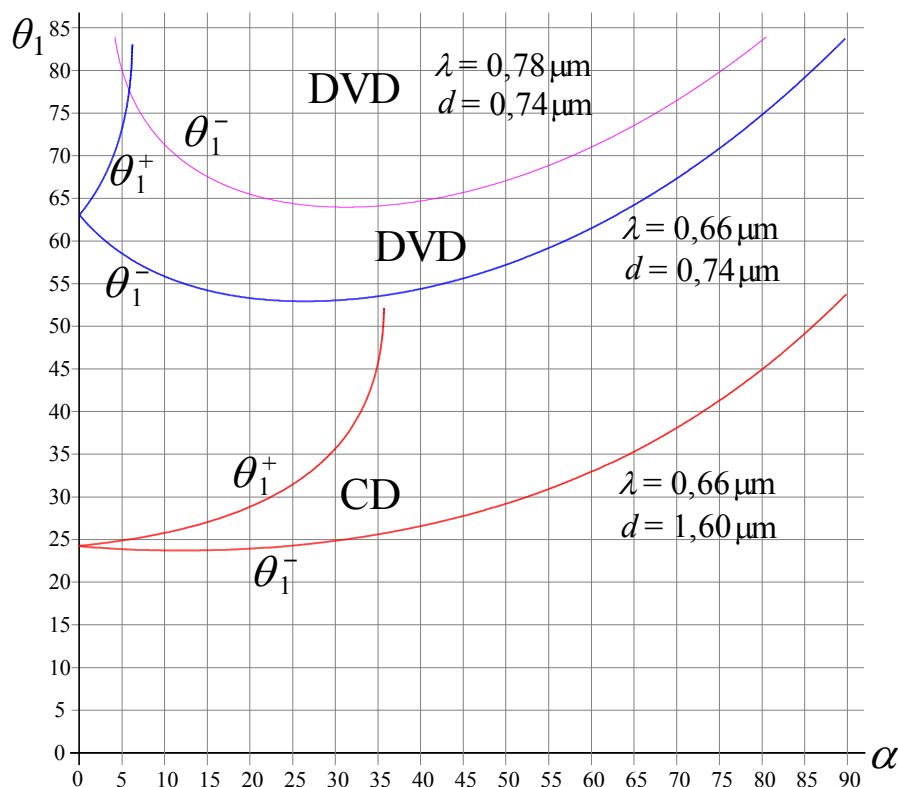
Rozwiążmy ten problem najpierw teoretycznie. Oto rysunek dwóch promieni padających na dwie sąsiednie odbijające linie płyty:



Przy oznaczeniach z rysunku, różnica dróg optycznych promieni rozproszonych przez obie linie pod kątem α' wynosi $|\Delta l - \Delta l'|$, gdzie $\Delta l = d \sin \alpha$, $\Delta l' = d \sin \alpha'$ (dopuszczamy $\alpha' < 0$). Rozproszone promienie utworzą na odległym ekranie prążek n -tego rzędu, gdy $|\Delta l - \Delta l'| = n\lambda$, gdzie λ oznacza długość fali światła. Otrzymujemy równanie $d|\sin \alpha - \sin \alpha'| = n\lambda$. Ostatecznie kąt $\theta_n = |\alpha - \alpha'|$, pod którym promienie widma n -tego rzędu odchylają się od promieni odbitych zgodnie z prawem odbicia, jest dany wzorem

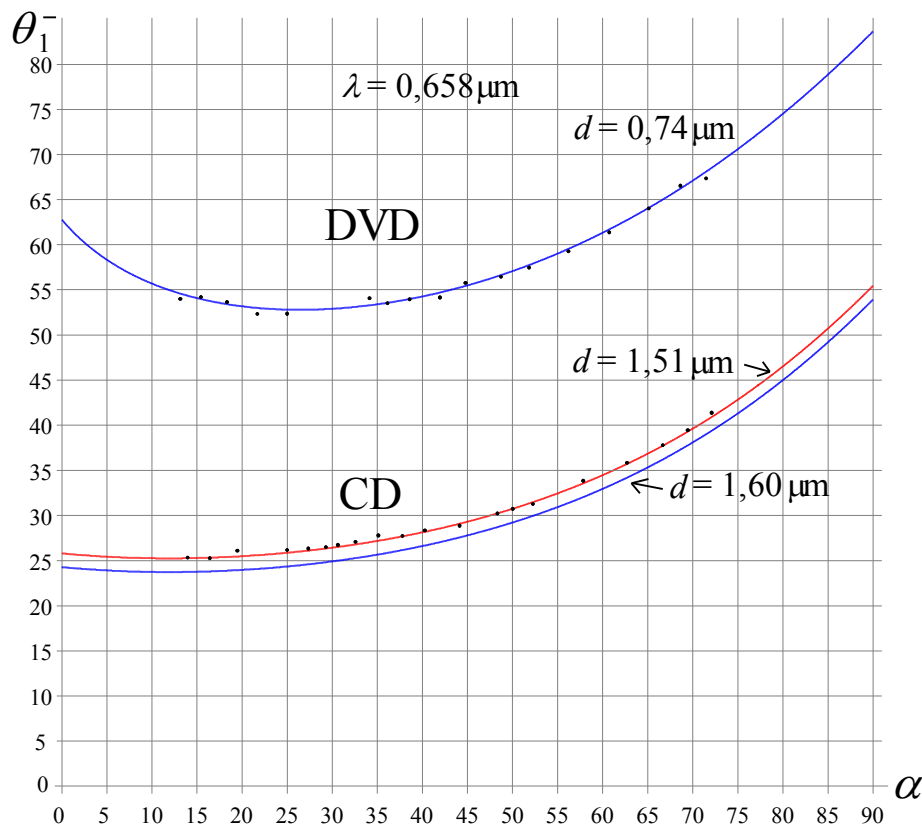
$$\theta_n^\pm = \left| \alpha - \arcsin \left(\sin \alpha \pm \frac{n\lambda}{d} \right) \right|.$$

Znak minus odpowiada sytuacji $\alpha' < \alpha$, znak plus sytuacji $\alpha' > \alpha$. Warto zauważyć, że te dwie sytuacje nie są symetryczne, jak byłyby w przypadku wiązki prostopadłej do siatki. Oto wykresy dla światła z typowego wskaźnika laserowego oraz płyty CD lub DVD (kąty podano w stopniach):



Ciekawe, że oświetlenie płyty pod kątem umożliwia dostrzeżenie efektów interferencji nawet wtedy, gdy długość fali przekracza stałą siatki d . Najwyższy wykres pokazuje przebieg θ_1^- dla płyty DVD oświetlonej falą o długości $0,78 \mu\text{m}$. Oczywiście dla $\alpha = 0$ jest tylko prążek zerowy, ale przy oświetleniu pod kątem powstanie także widmo I rzędu. Płyty DVD mieniają się wszystkimi kolorami tęczy, podobnie jak CD.

Wykonałem doświadczenie. Oto wyniki:



Niepewność punktów pomiarowych wynikająca z wielkości plamki i pomiarów taśmą mierniczą wynosi około $0,5^\circ$ dla płyty CD i ok. 1° dla płyty DVD. Otrzymane punkty chciałem porównać z przebiegiem krzywej teoretycznej. Szczerze mówiąc, nie byłem pewien długości fali mojego laserka. Pomiar za pomocą klasycznej siatki dyfrakcyjnej (500 szczelin na milimetr) dał wynik $\lambda = 0,658 \mu\text{m}$. Problem w tym, że fabryczna informacja o liczbie szczelin siatki (kupionej w ZamKorze) podana jest bez niepewności pomiarowej. Faktycznej stałej tej siatki nie sposób ustalić bez wzorcowego lasera, np. helowo-neonowego, dla którego długość fali byłaby dość dokładnie znana. Nie miałem możliwości wykonania takiej kalibracji. Przyjmując wartość $d = 2 \mu\text{m}$ jako dokładną, otrzymałem dla λ niepewność $\pm 0,008 \mu\text{m}$.

Także wartość d dla płyt budzi wątpliwości. Specyfikacje płyt CD i DVD, jakie znalazłem w internecie, podają dla nich odpowiednio $1,60 \mu\text{m}$ i $0,74 \mu\text{m}$. Przyjmując $\lambda = 0,658 \mu\text{m}$ i $d = 0,74 \mu\text{m}$ otrzymujemy bardzo ładną zgodność z teoretycznym wykresem dla DVD. Natomiast $\lambda = 0,658 \mu\text{m}$ i $d = 1,60 \mu\text{m}$ dla

CD kompletnie nie pasuje do punktów pomiarowych. A co pasuje? Jeśli $\lambda = 0,658 \mu\text{m}$, to $d = 1,51 \mu\text{m}$. Jak jest naprawdę, nie wiem.

Jak Czytelnicy zapewne dostrzegli, nie opowiadam tym razem o lwiątkowych zadaniach, a tylko o ostatnich odbłaskach lasera z lwiątkowej piwnicy. Jeśli już musi być o zadaniach, to raczej przychodzi mi na myśl zadanie doświadczałne z finału XLIX Olimpiady Fizycznej w roku 2000. Należało tam wyznaczyć długość fali światła lasera za pomocą linijki (niby logiczne – linijka służy wszak do pomiaru długości). Cała chytryść miała polegać na tym, by zawodnik wpadł na pomysł, aby linijkę z jej co milimetr położonymi rysami podziałki wykorzystać jako odbiciową siatkę dyfrakcyjną. Kluczowy fragment wzorcowego rozwiązania, opublikowanego w „Fizyce w Szkole”, brzmiał:

Korzystamy ze wzoru dla siatki dyfrakcyjnej:

$$d \sin \theta_m = m \lambda \quad (2)$$

gdzie d to stała siatki dyfrakcyjnej, θ_m to kąt ugięcia prążka m -tego rzędu, λ to szukana długość fali.

W konkretnym pomiarze dla pierwszego rzędu ugięcia $m = 1$:

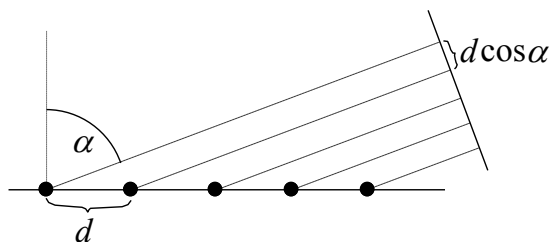
$$d = 1 \text{ mm} \times \cos \alpha = 1,1 \times 10^{-4} \text{ m},^1$$

(...)

$$\sin^\circ \theta_1 = 0,0057,$$

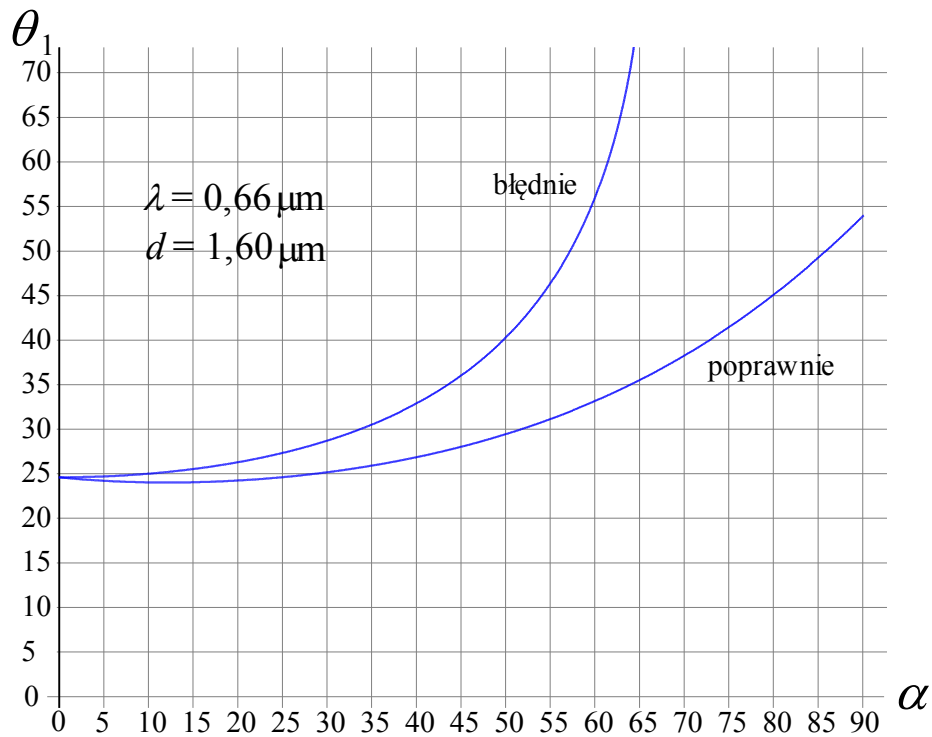
a stąd szukana długość fali $\lambda \approx 620 \text{ nm}$.

Z powyższego sformułowania domyślamy się, że uzasadnieniem ma być efekt pozornego zbliżenia się szczelin, gdy patrzymy pod kątem:



Był to wtedy dopiero drugi z redagowanych przeze mnie numerów *Fizyki w Szkole*. Nic mnie jakoś nie „tknęło”. Oczywiście takie podejście jest w ogólności całkowicie błędne. Gdyby je zastosować do płyty CD, to przy parametrach przyjętych na pierwszym naszym wykresie mielibyśmy:

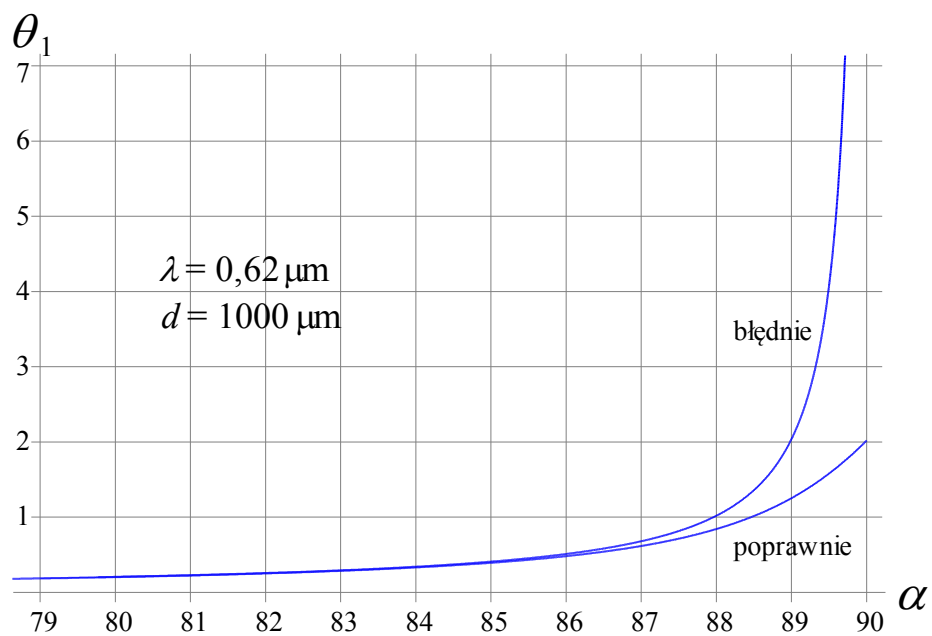
¹ W oryginale kąt α mierzony był nie od normalnej, ale od linijki, w tym miejscu zatem występował sinus.



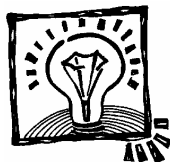
W przypadku linijki, mającej $d = 1000 \mu\text{m}$, oba kąty θ_1 , obliczony poprawnie i błędnie, są bardzo małe, mała jest więc także ich różnica. Miarodajny jest błąd względny i faktycznie może on być w tym wypadku maleńki. Dla bardzo małych $\frac{\lambda}{d}$ bowiem, i nie za dużych α , z dobrym przybliżeniem:

$$\begin{aligned} \theta_1^- &= \alpha - \arcsin\left(\sin \alpha - \frac{\lambda}{d}\right) \approx \alpha - \arcsin\left[\sin\left(\alpha - \frac{\lambda}{d} \cdot \left(\frac{d \sin \alpha}{d \alpha}\right)^{-1}\right)\right] = \\ &= \alpha - \arcsin\left[\sin\left(\alpha - \frac{\lambda}{d \cos \alpha}\right)\right] = \frac{\lambda}{d \cos \alpha}, \end{aligned}$$

co jest wzorem wynikającym z podejścia błędnego. Jednak jak to bywa z podobnymi przybliżeniami, zaczynają się „rozjeżdżać” przy pewnych wartościach zmiennej. We wzorcowym rozwiązaniu użyto $\alpha \approx 84^\circ$. Oto wykresy, poprawny i błędny, w okolicach tej wartości, dla podanej jako odpowiedź długości fali $\lambda = 0,62 \mu\text{m}$:



Jak widać, wzorcowe doświadczenie przeprowadzono jeszcze w obszarze, gdzie oba podejścia dają zgodne wyniki, ale zabrakło dyskusji i oceny dopuszczalności przybliżenia. Subtelny problem został zbanalizowany.



KĄCIK ZADAŃ

Próbna matura z OPERONEM i „Gazetą Wyborczą” Ostrożnie!

Zofia Gołąb-Meyer

„Gazeta Wyborczą” wspólnie z Oficyną Wydawniczą OPERON podjęły piękną akcję pomocy uczniom w przygotowaniu do matury. Byłoby dobrze, gdyby zadania były poprawne, a niestety nie są.

Oto **Zadanie 14. Satelita** (poziom podstawowy)

Z Ziemi wysłano w kierunku Księżyca statek kosmiczny, który dostarczył na orbitę okołoksiężycową satelitę, który rozpoczął badanie powierzchni Księżyca. Satelita okrążył Księżyc po orbicie odległej od jego powierzchni o 32 km.

Masa Księżyca: $7,37 \cdot 10^{22}$ kg, promień: 1738 km, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$.

1. Oblicz wartość prędkości liniowej, z jaką satelita okrąży Księżyc.
2. Jaką pracę trzeba wykonać, aby przenieść satelitę znajdującego się w odległości 32 km od powierzchni Księżyca na odległość 52 km od jego powierzchni? Satelita ma masę równą 100 kg.

Za wzorcowe rozwiązanie punktu 2 autorzy podają:

$$W_{1 \rightarrow 2} = -GMm \left(\frac{1}{R + h_2} - \frac{1}{R + h_1} \right)$$

$$W_{1 \rightarrow 2} = 0,31 \cdot 10^7 \text{ J}$$

Komentarz: Otóż powyższe rozwiązanie jest błędne!!! W temacie zadania jest mowa (domyślnie) o przeniesieniu satelity z orbity bliższej na dalszą. Cytowane rozwiązanie jest poprawne, gdy dotyczy przypadku przeniesienia ciała z jakiegoś punktu (np. w odległości d_1) do innego punktu w odległości d_2 . W tym wypadku rzeczywiście praca jest różnicą energii potencjalnej. Takie przeniesienie nie zapewnia stabilności orbity. Satelita będzie miał zbyt dużą energię kinetyczną. W naszym przypadku praca, którą trzeba wykonać jest równa przyrostowi energii **całkowitej**, a nie przyrostowi energii potencjalnej satelity jak to zrobiono w rozwiązaniu. Należy wyprowadzić wzór na całkowitą energię satelity o masie m na orbicie okołoksiężycowej o promieniu r

$$E = \frac{mv^2}{2} - \frac{GM_k m}{r} = \frac{m}{2} \cdot \frac{GM_k}{r} - \frac{GM_k m}{r} = -\frac{GM_k m}{2r},$$

i następnie na pracę

$$W = \Delta E = -\frac{GM_k m}{2(R+h_2)} + \frac{GM_k m}{2(R+h_1)} = \frac{GM_k m}{2} \left(\frac{1}{R+h_1} - \frac{1}{R+h_2} \right) \approx 1,5 \text{ MJ}$$

Zadanie 3. Prędkość podświetlna (poziom rozszerzony)

Wyobraźmy sobie, że zdołaliśmy rozpędzić pewne ciało o masie 5 kg do prędkości 0,8 prędkości światła. Następnie ciało to poruszałoby się z taką prędkością przez jeden rok.

1. Oblicz, jaka byłaby masa tego ciała, gdyby poruszało się ono ze stałą szybkością 0,8 c .
2. Jaki czas upłynął na Ziemi w czasie ruchu tego ciała?
3. Jaką drogę przebędzie to ciało, poruszając się z podaną szybkością w czasie mierzonym we własnym układzie odniesienia i w układzie, względem którego się porusza? Skomentuj krótko uzyskane wyniki.
4. Jeżeli masa poruszającego się ciała jest 2 razy większa od jego masy spoczynkowej, oblicz energię całkowitą i kinetyczną tego ciała w ruchu.

Autorzy za poprawne podają odpowiedzi:

$$\text{ad. 1. } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = 8,33 \text{ kg}$$

$$\text{ad. 2. } \Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = 1,67 \text{ roku,}$$

gdzie $\Delta t'$ – czas upływający w układzie własnym poruszającego się ciała.

$$\text{ad. 3. } s' = 0,8c \cdot \Delta t' = 0,8 \text{ roku świetlnego lub } s' = 7,6 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

$$s = 0,8c \cdot \Delta t = 1,34 \text{ roku świetlnego lub } s = 12,7 \cdot 10^{15} \text{ m}$$

Droga równa 1,34 roku świetlnego dla poruszającego się ciała w układzie względnym będzie taka sama jak droga równa 0,8 roku świetlnego w układzie własnym.

$$\begin{aligned}
 \text{ad. 4. } E &= mc^2 = 2 m_0c^2 \\
 E &= 9 \cdot 10^{17} \text{ J} \\
 E_k &= E - E_0 = 2 m_0c^2 - m_0c^2 = m_0c^2 \\
 E_k &= 4,5 \cdot 10^{17} \text{ J}
 \end{aligned}$$

Komentarz: Zadanie czyni zamęt w rozumieniu szczególnej teorii względności. Jest niepoprawne.

3.1. Już od dawna masę uważa się za niezmiennik!

3.2. Ten punkt to pytanie typu: „Po wodzie pływa, kaczka się nazywa. Co to jest?” Jeśli **my** rozpędziliśmy ciało do $0,8 c$, to w układzie związanym z Ziemią ciało to porusza się z taką szybkością i na Ziemi upłynął 1 rok.

3.3. W układzie związanym z Ziemią ciało to przebywa drogę

$$\begin{aligned}
 \Delta s &= v \cdot \Delta t = 0,8 c \cdot 1 \text{ rok} = 0,8 \text{ lat świetlnych} \\
 \text{lub } \Delta s &= 0,8 \cdot 3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot 3,15 \cdot 10^7 \text{ s} = 7,56 \cdot 10^{12} \text{ km}
 \end{aligned}$$

We własnym układzie odniesienia ciało zawsze spoczywa! Przebyta przez nie droga w tym układzie jest równa zero!

Zalecamy ostrożność w korzystaniu z zadań OPERONu. Tematy zadań powinny być sformułowane w sposób jednoznaczny. Fizyka ma uczyć precyzyjnego wyrażania się.



Nawojka – pierwsza studentka Akademii Krakowskiej sześćset lat temu

Zofia Gołąb-Meyer

Według łacińskiego tłumaczenia Nawojka to „osoba, która się nie poddaje”. Sześćset lat temu, po odnowieniu Krakowskiej Akademii w 1400 roku, dzięki fundacji królowej Jadwigi, Kraków był jednym z centrów intelektualnych w Europie Środkowej. Akademia kwitła. Zjeżdżali się do niej studenci z Europy Środkowej, Wschodniej, z południa, a także z Włoch i Niemiec. Profesorami były nie byle jakie autorytety. Pierwszym rektorem odnowionej Akademii był Stanisław ze Skalbmierza (ur. około 1365 roku) znakomity prawnik, kanonik kapituły katedralnej na Wawelu. Po studiach w Pradze osiadł on w Krakowie. Był znanym mówcą. Z Pawłem Włodkowicem z Brudzewa, też redaktorem Akademii, uważany jest za twórcę polskiej szkoły prawa międzynarodowego. Zapewne byli doskonałymi mistrzami. Były to ekscytujące czasy przygotowania do wielkich odkryć Kopernika, Galileusza, Gutenberga i Kolumba.

Zwolennicy Arystotelesa, scholastycy, byli atakowani już w XIV wieku przez zwolenników *via moderna*, którzy dostrzegali niezgodność fizyki Arystotelesa z obserwowalnymi faktami. Jednym z przedstawicieli tego kierunku był Jan Buridan (1300–1358), działający w uniwersytecie w Paryżu. Był on zwolennikiem tzw. *impetu* przy opisie ruchu ciał, pojęcia antycypującego pęd. Zwolennicy Buridana trafili między innym na uniwersytet w Pradze (powstały w 1348 roku). Uniwersytet ten utrzymywał bliskie kontakty z Akademią Krakowską. Dzięki wpływom burydianistów w Krakowie rozwijała się filozofia przyrody. Miały miejsce gorące dysputy. Jak podaje Bronisław Średniawa* zwolennikiem Buridana był Andrzej Wężyk (Serpens). Inni, jak Andrzej z Kokoszyna i Jan Waciąg, próbowali łączyć poglądy Arystotelesa z burydianizmem. W Krakowie działali znani astronomowie, mianowicie Marcin Król z Żurawicy, Marcin Bylica z Olkusza i Wojciech z Brudzewa.

Czytelników zachęcamy do wizyty w Muzeum *Collegium Maius* w Krakowie i zwiedzenia kolekcji starych instrumentów astronomicznych. Załączone zdjęcie przedstawia astrolabium



Astrolabium arabskie z Kordoby

* *Historia filozofii przyrody i fizyki na Uniwersytecie Jagiellońskim*, Wydawnictwo Retro-Art, Warszawa 2001.

arabskie z 1054 roku, pochodzące ze zbiorów tego muzeum. Wynalezienie astrolabium przypisuje się Hypatii, greckiej filozofce, astronomce i matematyce żyjącej w IV wieku n.e. w Aleksandrii.



Obraz Jana Matejki przedstawiający Królową Jadwigę podczas uroczystości odnowienia Akademii Krakowskiej w 1400 roku

Pierwsza studentka Akademii, była córką rektora gnieźnieńskiej szkoły i dzięki temu naukę czytania i pisania po polsku i po łacinie wyniosła z rodzinnego domu. To był dla niej wielki dar od losu.

Wedle jednych źródeł w 1414 roku (wedle innych w 1407) rozpoczęła studia w Akademii Krakowskiej jako piętnastoletni Jakub syn Dominika z Gniezna. W przekazach kolejnych pokoleń znana jest jako Nawojka, czyli niezłomna.

Czyn, na jaki odważyła się żadna wiedzy dziewczyna, był pogwałceniem wszystkich reguł i praw, zwyczajów i tradycji; był to czyn wbrew wszystkiemu, czego oczekiwano w tamtych czasach od dziewcząt. Wydarzenie to zostało odnotowane około 1429 roku przez Martina z Leibitz (Lubica na Spiszu, koło Kieżmarku), przeora zakonu Benedyktynów w Wiedniu.

Wedle późniejszych przekazów, gdy w 1417 roku po trzech latach studiów przygotowywała się do złożenia końcowych egzaminów bakalarskich, została zdemaskowana przez syna wójta z Gniezna, rozpoczynającego w tym czasie naukę w Akademii Krakowskiej.

Istnieją inne wersje opisujące okoliczności ujawnienia, że zdolnym studentem była dziewczyna. Niektórzy opowiadają, że student zachorował i w trakcie badania przywołany medyk odkrył tajemnicę; inne źródła wspominają, że studentowi temu zaproponowano służbę u jednego z profesorów, a wtedy obowiązkiem takiego służącego było uczęszczanie z mistrzem do publicznej łaźni.

Kiedy ta zbrodnia została ujawniona, Nawojkę doprowadzono przed oblicze sądu biskupiego. Uniknęła srogiego losu dzięki znakomitym świadectwom nauki i moralności wystawionym przez profesorów, a może i dzięki protekcji ojca.

Nawojka studia zakończyła ze stopniem bakałarza i została nauczycielką. Wstąpiła do klasztoru, gdzie prowadziła szkołę nowicjatu i gdzie zapewne głównie uczyła nowicjuszek pisania, czytania i łaciny. Trzeba pamiętać, iż były to czasy przed wynalezieniem druku, jej uczennice nie miały ani elementarza, ani innych podręczników.



Dziedziniec Collegium Maius obecnie



CO CZYTAĆ

Jak uczyć w szkole teorii względności **Jadwigi Salach**

Jadwiga Salach *Jak uczyć w szkole teorii względności*, Seria: Biblioteka nauczyciela fizyki, szkoła ponadgimnazjalna, zeszyt 2, ZamKor, P. Sagnowski i Wspólnicy, sp. j., 45 stron, cena 8 zł.

Fundamenty kinematyki i dynamiki relatywistycznej opracowane w taki sposób, by nauczyciel mógł skorzystać z książki, ucząc fizyki w liceum. Książka zawiera wskazówki metodyczne, a także w pełni rozwiązane przykłady i zadania.



KOMUNIKAT

Konkurs „Popularyzator Nauki”

Ogólnopolski Konkurs „Popularyzator Nauki” organizowany przez PAP, przy współudziale serwisu Nauka w Polsce (www.naukawpolsce.pl), został rozstrzygnięty. Celem Konkursu jest promowanie osób i instytucji wyróżniających się w Polsce popularyzacją nauki wśród społeczeństwa.

Spośród 29 kandydatów jury wyłoniło zwycięzców. W kategorii „Naukowiec, instytucja naukowa” laureatami zostali: prof. Wojciech Nawrocik z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu, prof. Andrzej Korkowski z Instytutu Archeologii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie oraz Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie.

Prof. Wojciech Nawrocik z Poznania dzięki organizowaniu międzynarodowych festiwali „Fizyka na Scenie” i „Nauki Przyrodnicze na Scenie” pokazał Europie wartościowe przykłady polskiej aktywności w nauczaniu fizyki i innych nauk przyrodniczych. Profesor Nawrocik plasuje się na szczycie rankingu najlepszych wykładowców na swoim wydziale, a jego wykłady otwarte „Fizyka dla wszystkich” przyciągają tłumy. Prof. Nawrocik jest ponadto założycielem Leszczyńskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk.



Prof. Wojciech Nawrocik
(fot. C. Filipiuk)



Miło nam poinformować, że wśród nominowanych do nagrody znalazł się zespół redakcyjny fizyków z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, prowadzący blog: „Świat: Jak to działa?” (swiat-jaktodziala.blog.onet.pl) w ramach współpracy z „Tygodnikiem Powszechnym”. W skład zespołu wchodzi: dr Anna Ochab-Marcinek (szefowa blogu), dr Paweł Góra, mgr Michał Heller, dr Tomasz Romańczukiewicz i dr Dagmara Sokołowska. Dagmara Sokołowska i Paweł Góra (na zdjęciach) są redaktorami *Fotonu*. Blog ten odwiedzany jest około 10 000 razy w ciągu miesiąca.

(na podstawie serwisu: www.naukawpolsce.pl)



Sekcja Kobiet w Polskim Towarzystwie Fizycznym

Na zebraniu Zarządu Głównego w dniu 8 marca 2008 została pozytywnie prze głosowana decyzja o utworzeniu Sekcji Kobiet w ramach PTF.

W większości zagranicznych towarzystw fizycznych Sekcje Kobiet istnieją od wielu lat, a ich działalność jest popierana zarówno przez te towarzystwa, jak i przez EPS, które na kolejnych zjazdach podejmowało uchwały dotyczące tworzenia i popierania rozwoju takich sekcji.

Celem utworzenia Sekcji Kobiet jest poprawienie wizerunku kobiety-fizyka, zachęcenie maturzystek do studiowania fizyki i wpłynięcie na zmianę stereotypu kobiety-naukowca.

Na początek proponujemy realizację następujących zadań:

- promocja z jednoczesnym monitorowaniem przejrzystości systemu awansu kobiet (równość płac itp.),
- prowadzenie kół zainteresowań z nastawieniem na edukację dziewcząt,
- monitorowanie systemu edukacji pod względem równości płci,
- wprowadzenie systemu nagradzania i promowania kobiet naukowców,
- współpraca z innymi sekcjami kobiet z zagranicznych towarzystw (organizowanie wspólnych konferencji),
- udział w projektach na temat równości szans płci.

Prosimy o zgłaszanie chęci przystąpienia do Sekcji Kobiet oraz udziału w jej działalności. Deklaracje należy zgłaszać do kol. Elżbiety Czerwosz na adres Czerwosz@pie.edu.pl oraz kol. Aleksandry Leliwa-Kopystyńskiej na adres Aleksandra.Kopystynska@fuw.edu.pl.

Elżbieta Czerwosz
Aleksandra Leliwa-Kopystyńska
Małgorzata Suchańska

Zachęcamy panie nauczycielki do zapisywania się do Sekcji Kobiet.



Popisy Intelktualne Moich Pupilków

(ze zbioru *Poznać po słowie, co u kogo w głowie*)

Danuta Latos

Zespół Szkół Gastronomiczno-Uslugowych
im. Marii Dąbrowskiej w Chorzowie

- * Zjawisko polaryzacji światła znalazło zastosowanie w lekarstwach i truciznach, a także w socjologii jako polaryzacja społeczna.
- * Atom występuje w trzech odmianach: α , β i γ .
- * Jądro atomu składa się z neutronów i kationów.
- * W stanie nieważkości ciało wiszące na sprężynie trzyma się tej sprężyny.
- * Poza orbitę ziemską siła grawitacji nie sięga.
- * Jeśli sondzie nadamy drugą prędkość kosmiczną, to będzie ona obiegała Ziemię dwa razy w ciągu doby.
- * Satelita okrąży Ziemię z taką samą szybkością jak Ziemia się obraca i wygląda to tak, jakby był przymocowany długim kijem.
- * Ziemia kręci się wokół własnej osi w taki sposób, że satelita geostacjonarny znajduje się cały czas nad równikiem.
- * Ziemia jest podzielona na 24 godziny.
- * Przyczyną pór roku jest odpowiednie nachylenie Ziemi.
- * Dzieląc dobę na połowy osiągamy cel dnia i nocy.
- * Aby widzieć blask gwiazd, potrzebne jest ciemne miejsce.
- * Jeśli jesteśmy na Ziemi i jest dzień, to nie widać gwiazd, a na Księżycu wystarczy się odwrócić w odpowiednią stronę.
- * Aby zaszło zaćmienie. Księżyc musi się wstawić między Słońcem a Ziemią. Księżyc w fazie ma kształt stożka.
- * Na biegunach jest przestój, bo przez pół roku występuje tylko jedna noc.
- * Polarny dzień i polarna noc występują na dwóch równikach: północnym i południowym.
- * Noc polarna i dzień polarny występują na czubkach Ziemi tych najbardziej zlodowaciałych, dlatego, że Słońce co pół roku zmienia tam miejsce.
- * 21 marca nasz obszar geograficzny położony jest bardziej na wschód.
- * Ziemia ma kształt owalu, ponieważ jest płaska i okrągła.
- * Magellan opłynął Ziemię dookoła i stwierdził po swoich zapiskach i rysunkach, że Ziemia jest kulą.
- * Jeśli bieguny północny z południowym się przyciągają, to Ziemia się płaszczy.
- * Przyczyną występowania pór roku jest tzw. faza Księżyca.
- * Słońce krąży wokół Ziemi i oświetla tylko pewną jej część.
- * Kiedy Księżyc całkowicie pokryje Słońce, to wtedy jest zaćmienie.

KOMUNIKAT**Akademia Fizyki Zima 2009***Dagmara Sokołowska*

Akademia Fizyki organizowana po raz kolejny przez Instytut Fizyki UJ odbędzie się w lutym 2009.

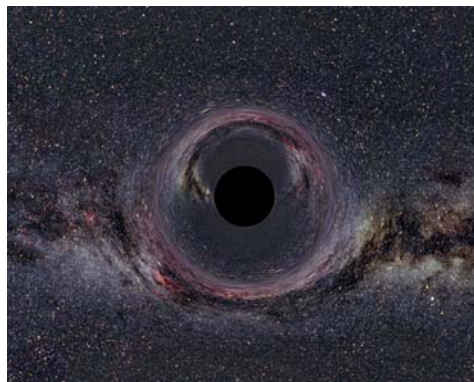
Sesja dla gimnazjalistów: Wszechświat oddziaływań

10 lutego 2009, godz. 9.00–15.00

Sesja dla licealistów: Szkiełko i oko czyli granice poznania

11–13 lutego 2009, godz. 9.00-15.00

Miejsce spotkań: IF UJ – ul. Reymonta 4, Kraków



Symulacja Czarnej Dziury, Ute Kraus

W ramach sesji odbędą się wykłady prowadzone przez pracowników IF UJ. Na wykłady dla uczniów nauczyciele fizyki zaproszeni są jako obserwatorzy.

Wstęp na wykłady jest bezpłatny. Organizatorzy nie zapewniają posiłków ani noclegów. Więcej informacji na stronie:

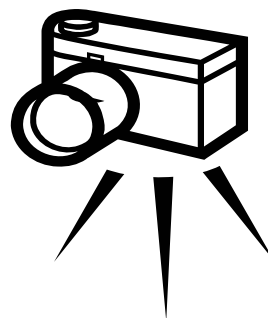
<http://www.if.uj.edu.pl/akademia/akademia.htm>



VII Ogólnopolski konkurs fizyczno-fotograficzny „Zjawiska fizyczne wokół nas”

*Koło młodych fizyków
przy Młodzieżowym Domu Kultury w Wieluniu*

Konkurs fizyczno-fotograficzny jest adresowany do **uczniów szkół gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych** (wiek uczestników: 13–19 lat).



Warunkiem udziału w konkursie jest przesłanie lub osobiste dostarczenie do Młodzieżowego Domu Kultury **własnoręcznie wykonanych zdjęć** przedstawiających dowolnie wybrane zjawiska fizyczne dostrzeżone w otaczającej przyrodzie lub świadomie wyeksponowane w przeprowadzonym przez ucznia eksperymencie. Każdy uczestnik konkursu powinien dołączyć negatyw lub płytę CD z zapisem cyfrowym przesłanych zdjęć.

Konkurs rozstrzygniemy w dwóch kategoriach:

- fotografie przedstawiające określone **zjawiska fizyczne zaobserwowane w otaczającej przyrodzie**
- serie zdjęć ilustrujące **eksperymenty fizyczne**

Na fotografii (barwne lub czarno-białe, formatu 13 x 18 cm lub 15 x 21 cm i poprawne technicznie) oczekiwac będziemy **do 11 maja 2009 roku**.

Informacji o konkursie udziela i prace przyjmuje:

Sekretariat MDK, ul. 3 Maja 29, 98-300 Wieluń
tel.: (043) 843-87-80
e-mail: mdkwielun@wp.pl

KOMUNIKAT**Xperimania II**

Leszek Jabłoński
koordynator krajowy Xperimania II



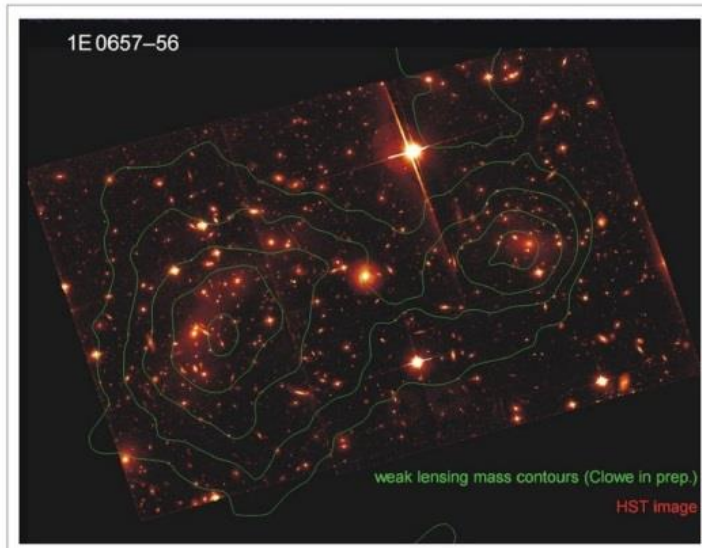
W bieżącym roku szkolnym organizacja europejska **European Schoolnet** wraz ze stowarzyszeniem **Appe**, postanowiła kontynuować realizowany w ubiegłym roku szkolnym projekt **Xperimania**, pod nazwą **Xperimania II**.

W Xperimania II mogą brać udział uczniowie w wieku od **10** do **20** lat. Projekt ten, powiązany głównie z **fizyką** i **chemią**, dotyczy nowoczesnych materiałów wytworzonych na bazie ropy naftowej. Uczniowie mogą wziąć udział w konkursie na doświadczenie polegające na zbadaniu własności wybranego przedmiotu codziennego użytku. Organizatorzy zachęcają do eksperymentów prostych i zabawnych. Jest również możliwość wzięcia udziału w czatach z ekspertami w danej dziedzinie naukowej (tutaj wymagana jest znajomość języka obcego) oraz uzupełnienia osi czasu przedstawiającej przełomowe odkrycia prowadzące do produkcji nowoczesnych materiałów. Szczegółowe informacje znajdują się w Internecie na stronie <http://www.xperimania.net>, która dostępna jest także w języku polskim.

W roku szkolnym **2007/08** polskie szkoły odnotowały pewien sukces w skali europejskiej. Szczególnie aktywne były szkoły z Krakowa, Łodzi i Katowic. Mijamy nadzieję, że w bieżącym roku szkolnym uda się **Xperimanię II** jeszcze szerzej rozpowszechnić na terenie naszego kraju.

W konkursach uczniowie wykonują prace w języku ojczystym. Znajomość języka angielskiego wymagana jest jedynie w czatach. Rozmowy z ekspertami cieszą się sporym powodzeniem wśród uczniów, dla których ta nowoczesna forma komunikacji okazała się niezwykle popularna. Już po pierwszym czacie jego uczestnicy z niecierpliwością dopytywali się o następny. Z polskich szkół w czatach z ekspertami brały udział licea nr **I** i **VI** z Katowic. Z kolei na dyskusję o roli dziewcząt w przedmiotach ścisłych, jaka odbyła się w Paryżu w lipcu 2008 r., zostały zaproszone trzy uczennice **VIII LO** w Katowicach.

Gromada galaktyk Pocisk



Linie stałego potencjału grawitacyjnego nałożone na zdjęcie gromady Pocisk