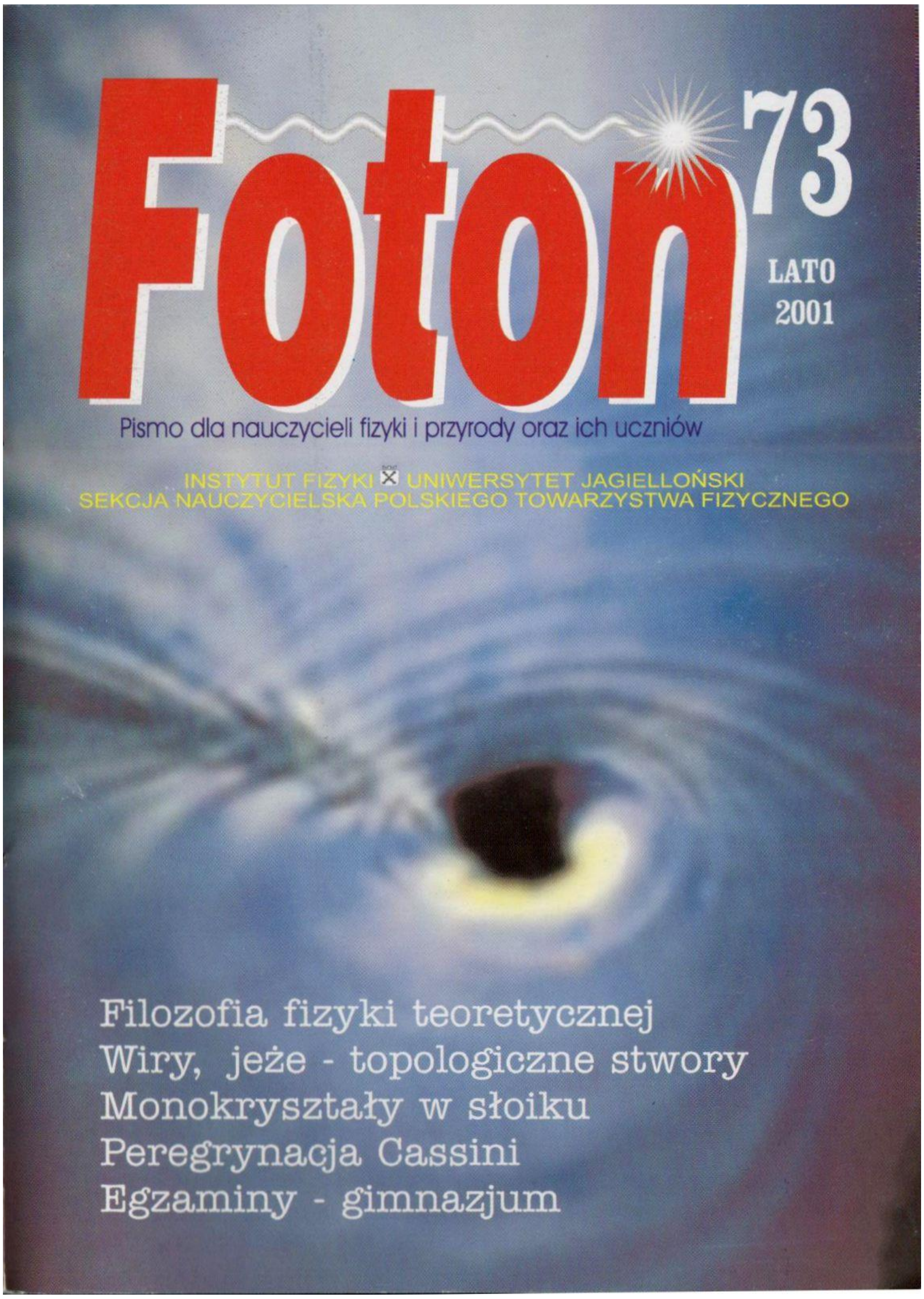
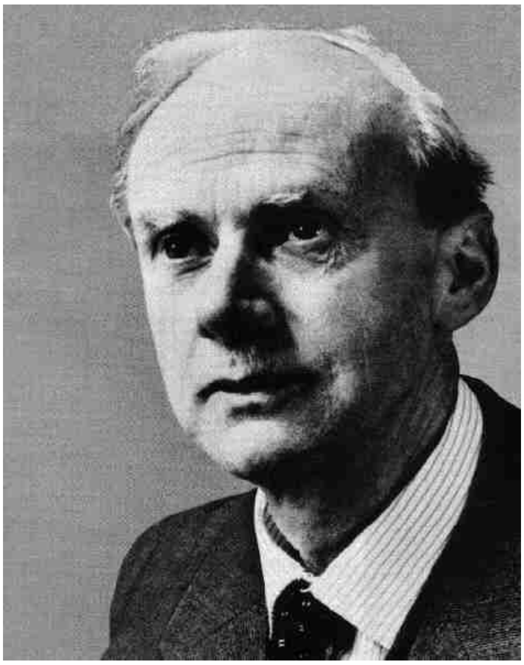

Foton
73
LATO
2001
Pismo dla nauczycieli fizyki i przyrody oraz ich uczniów
INSTYTUT FIZYKI UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI
SEKCJA NAUCZYCIELSKA POLSKIEGO TOWARZYSTWA FIZYCZNEGO
Filozofia fizyki teoretycznej
Wiry, jeże - topologiczne stwory
Monokryształy w słoiku
Peregrynacja Cassini
Egzaminy - gimnazjum


Fot. internet, zbiory EPS

Paul Dirac
1902–1984

W oczekiwaniu na egzaminy 2001

W zeszycie tym znajdą Państwo krótki artykuł rozprawiający się z niepoprawnymi zadaniami z fizyki, sprawdzianem dla gimnazjalistów. Byłoby stratą czasu zajmowanie się jakąś jedną fatalną propozycją. Chodzi o to by zwrócić uwagę Państwa na tendencje występujące w zadaniach i testach egzaminacyjnych. Te omawiane w zeszycie inspirowane są zadaniami z „Informatora – egzamin, klasa trzecia gimnazjum 2002 rok” wydanego przez Centralną Komisję Egzaminacyjną.

Po okresie królowania zadań, znienawidzonych przez uczniów i pozbawionych jakiegokolwiek kontekstu, następuje okres problemów „z życia”. Słuszna idea, by uczeń mógł ujrzeć i zrozumieć użyteczność fizyki, zamienia się w modę, która ma również złe strony. Na „ubieranie” zadań z fizyki w kontekst życiowy jest czas na lekcjach. Na egzaminie uczeń powinien się koncentrować na problemach z fizyki, musi mieć gwarancję jednoznaczności i poprawności zadań. Inna moda, czy raczej tendencja, ma służyć wygodzie poprawiających zadania i obiektywizmowi oceny. To jest ważne, lecz jednak nie najważniejsze. Często prowadzi to do popychania ucznia na ścieżkę, którą by sam nie poszedł, a która nie musi być lepsza od jego własnej. Jest jeszcze czas, możemy wszyscy dopilnować, by obowiązujące za rok zadania były dobre.

Jeszcze raz podkreślam: dobrze dobrane zadania, głęboko tkwiące w problemach „z życia” (kopalnią ich jest np. podręcznik Hewitta), mogą mieć ogromny walor poznawczy. By tak jednak było muszą być stowarzyszone z bardzo poprawną dyskusją na lekcji, a to wymaga i wyższych kwalifikacji nauczyciela, i większej ilości czasu. Jeśli brakuje czasu na nauczanie, a nauczyciele nie nabyli dodatkowych kwalifikacji, to nowe mody służą uspokojeniu opinii publicznej domagającej się głębokiej reformy nauczania.

Aby pomóc Państwu w prowadzeniu swoich najzdolniejszych uczniów proponujemy, tak jak i w poprzednim zeszycie, ambitniejsze artykuły dotyczące tematów prezentowanych uczniom w czasie Przedszkola Zakopiańskiego. Artykuły dobrane są tak, by ukazać różnorodność fizyki. Zatem gorąco polecamy lekturę artykułu profesora A. Staruszkiewicza – spojrzenie na fizykę „z góry”, artykuł A. Schackela o topologicznym zwierzyńcu jak i, jakże odmienny od wymienionych, dalszy ciąg artykułu o badaniu własności monokryształów J. Honiga. W „Kąciku eksperymentatora” zachęcamy do samodzielnej hodowli monokryształów. Artykuł M. Wnuka pozwoli Państwu wyruszyć z uczniami z misją Cassini na Saturna zaś artykuł W. Mroszczyka o orbicie Hohmanna pozwoli przeliczyć z uczniami na lekcji „sadowienie” satelity na orbicie geostacjonarnej. Kilka drobniejszych, ciekawych artykułów i stałe rubryki jak zwykle czekają na Państwa.

(Z.G-M)

Spis treści

Contents

Filozofia fizyki teoretycznej Einsteina i Diraca*

Andrzej Staruszkiewicz

Instytut Fizyki UJ

Czym jest fizyka teoretyczna

Chcąc mówić o poglądach Einsteina i Diraca na fizykę teoretyczną muszę przede wszystkim wyjaśnić czym jest fizyka teoretyczna, samo bowiem zestawienie rzeczownika fizyka z przymiotnikiem teoretyczna może być mylące; podobne zestawienia istnieją w innych naukach ale znaczą zupełnie co innego. Najlepiej wyjaśnić czym jest fizyka teoretyczna rozważając najstarszy i powszechnie znany dział fizyki teoretycznej jakim jest geometria Euklidesa.

Ze współczesnego punktu widzenia mechanika Newtona a także szczególna i ogólna teoria względności stanowią różne rodzaje geometrii przestrzeni i czasu. Jest więc ze wszech miar uzasadnione uważać geometrię samej przestrzeni za historycznie pierwszy dział fizyki teoretycznej, odznaczający się, pomimo swej starożytności, wysokim stopniem doskonałości.

Geometria Euklidesa powstała tak dawno i w tak niejasnych okolicznościach, że jej status epistemologiczny był przez ponad 2000 lat przedmiotem sporów. Panowało pomieszanie pojęć, które niemiecki filozof Kant skodyfikował twierdząc, że treść geometrii Euklidesa stanowi prawdę syntetyczną *a priori*. W bardziej zrozumiałym języku oznacza to, że fizyczna przestrzeń z jakichś powodów musi być Euklidesowa. Matematycy z początku XIX w., wśród których należy wymienić przede wszystkim Karola Fryderyka Gaussa, doszli do wniosku, że tak nie jest: fizyczna przestrzeń nie musi być Euklidesowa. Gauss był także astronomem i geodetą, który wykonał pierwsze dokładne mapy północnych Niemiec. Mógł przy tej okazji przekonać się, że z dokładnością do błędów obserwacji suma kątów w trójkącie zawsze równa się 180^0, co jest charakterystyczną cechą geometrii Euklidesa. Tym samym Gauss mógł przekonać się, że geometria dość dużych kawałków fizycznej przestrzeni jest Euklidesowa i jest to fakt empiryczny.

Jaki jest status epistemologiczny badań takich jakie robił Gauss? Czego dowiadujemy się, gdy zmierzymy kąty w trójkącie, który tworzą wieża kościoła Mariackiego oraz szczyty Giewontu i Babiej Góry i przekonamy się, że ich suma wynosi dokładnie 180^0?

Jeżeli stanąć na stanowisku Kanta, to otrzymamy tu empiryczne potwierdzenie twierdzenia matematycznego, co jest logicznym nonsensem; twierdzenia matematyki są prawdziwe na mocy dowodu a nie na podstawie obserwacji. Musimy w tej sprawie zaprowadzić logiczną i epistemologiczną jasność.

* Wykład wygłoszony na plenarnym posiedzeniu Polskiej Akademii Umiejętności w dniu 18 listopada 2000 r., przedrukowany tu za zgodą Zarządu PAU.

Jasność uzyskujemy mówiąc, że przedmioty matematyczne – takie jak te, o których mówi geometria Euklidesa rozumiana tradycyjnie jako dział matematyki – *per se* nie mają związku z rzeczywistością fizyczną ale tworzą odrębny i autonomiczny świat bytów matematycznych, który oznaczam przez **M**, od słowa matematyka. Na temat świata **M** ciągnie się od czasów Platona dyskusja filozoficzna, w którą nie będę wchodzić, gdyż nie ma ona żadnego znaczenia dla moich rozważań. Pogląd, że świat **M** istnieje równie realnie jak świat przedmiotów fizycznych **F** nazywa się platonizmem. Niektórzy ludzie nie zgadzają się z tym poglądem i twierdzą, że świat **M** należy do świata produktów kultury. Nie ma w tym nic złego, w szczególności nie ma to konsekwencji dla moich rozważań. W końcu podręczniki matematyki, profesorowie matematyki, instytuty matematyki na pewno są produktami kultury. Przenosząc świat **M** do świata produktów kultury tzn. twierdząc, że cała treść matematyki także należy do świata produktów kultury, niczego praktycznie nie zmieniamy a pozbywamy się uciążliwych ludzi, którzy z jakichś tajemniczych powodów są przeciwnikami platonizmu.

Mamy zatem dwa światy, świat **F** i świat **M**.

F **M**

Bez dalszych zabiegów nie ma między nimi żadnych związków. Związki takie można jednak wprowadzić. Np. Gauss w swoich badaniach geodezyjnych zakładał, że promień światła, który jest przecież przedmiotem fizycznym i należy do świata **F**, porusza się po linii, która jest linią prostą w geometrii fizycznej przestrzeni. Założenie to pozwala określić empirycznie geometrię małych fragmentów fizycznej przestrzeni i przekonać się, że jest ona Euklidesowa. Fizykę teoretyczną otrzymujemy, gdy zrobimy uogólniającą hipotezę, że geometria całej przestrzeni fizycznej jest Euklidesowa. Hipoteza ta jest albo prawdziwa albo fałszywa, ale dopóki jej fałszywość nie zostanie przekonująco udowodniona, stanowi ona potężne źródło zdobywania nowej wiedzy: przy jej pomocy możemy obliczyć odległości i kąty, których nigdy przedtem nie mierzyliśmy lub których zmierzenie może być trudne lub w ogóle niemożliwe, jak np. odległość stąd do środka Ziemi.

Zarysowane wyżej rygorystyczne rozróżnienie świata **F** i świata **M**, przy jednoczesnym dopuszczeniu hipotezy odwzorowującej część świata **F** na część świata **M** stanowi całkowicie zadawalające rozwiązanie konfuzji, która panowała ponad 2000 lat i sprowadziła na manowce Kanta. Jednocześnie widać, że geometria Euklidesa ma rzeczywiście podwójny status: jako część świata **M** stanowi zbiór twierdzeń prawdziwych na mocy dowodu, które otrzymały. Ta sama geometria może być jednak hipotezą o własnościach fizycznej przestrzeni. Wówczas stanowi część fizyki teoretycznej a przewidywania oparte na tej hipotezie mogą okazać się fałszywe; nie ma to jednak żadnych implikacji dla twierdzeń geometrii Euklidesa jako działu matematyki. Twierdzenia te są prawdziwe na mocy dowodu a więc niezależnie od obserwacji fizycznych.

Możemy zatem powiedzieć, że fizyka teoretyczna powstaje wówczas, gdy potrafimy sformułować hipotezę odwzorowującą część świata **F** na część świata **M**.

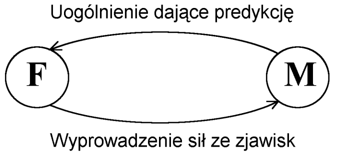
Odwzorowanie to jest użyteczne, gdy pozwala obliczyć wyniki obserwacji, które nigdy nie były wykonane.

W jaki sposób można odkryć takie użyteczne odwzorowanie? Twórcy fizyki teoretycznej nie skąpili rad na ten temat; rady te są, jak zobaczymy, zawsze podsumowaniem ich osobistego doświadczenia.

Newton napisał w przedmowie do pierwszego wydania „Matematycznych Zasad Filozofii Przyrody" [1]: Całe zadanie filozofii przyrody polega na tym, żeby ze zjawisk odczytać siły a następnie ze znajomości sił przewidzieć dalsze zjawiska. Jest to na pewno doskonałe zdanie, które można by uznać za program całego przyrodoznawstwa matematycznego, które bierze swój początek właśnie od Newtona. Z drugiej strony zdanie to podsumowuje po prostu to, co Newton sam zrobił dokonując swego największego odkrycia a mianowicie sformułowania zasad mechaniki i grawitacji. Udowadniając, że prawa ruchu planet Keplera można otrzymać z zasad jego mechaniki oraz z hipotezy, że między Słońcem a planetą działa siła odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości, Newton właśnie „wyprowadził siły ze zjawisk". W zdaniu tym można dopatrzyć się nawet pewnego podtekstu emocjonalnego. Mianowicie, jak to często bywa w historii nauki, hipoteza odwrotnych kwadratów wisiała wtedy w powietrzu i kilku ludzi wypowiedziało ją niezależnie od Newtona. Newton jak gdyby przypomina tym wszystkim, którzy chcieliby mieć jakiś udział w tym wielkim odkryciu, że czyn naukowy nie polega na sformułowaniu hipotezy, chociażby przypadkowo prawdziwej, ale na „wyprowadzeniu sił ze zjawisk" tzn. pokazaniu ponad wszelką wątpliwość, że hipoteza pozwala na racjonalny i zgodny z obserwacjami opis zjawisk, że w pewnym sensie wynika ona ze zjawisk. W przypadku Newtona wymagało to udowodnienia szeregu trudnych twierdzeń matematycznych; dowody tych twierdzeń istotnie były całkowicie poza zasięgiem współczesnych Newtona, także tych którzy myśleli niezależnie od niego o prawie grawitacji. Sławne powiedzenie Newtona: „hypotheses non fingo" znaczy właśnie to, że prawo odwrotnych kwadratów nie jest hipotezą lecz wnioskiem wyprowadzonym ze zjawisk.

Używając diagramu, który zdaje się pochodzić od Diraca, można w następujący sposób zobrazować wypowiedź Newtona. Niech **F** oznacza ponownie przedmioty fizyczne, które poddajemy badaniu a **M** przedmioty matematyczne, przy pomocy których chcemy nasze badania uporządkować. Newton dostrzega konieczność podwójnego ruchu myśli: od obserwacji do abstrakcji i od abstrakcji do predykcji.

NEWTON:



Przypuszczam, że po dziś dzień ogromna większość przyrodników uważa ten podwójny ruch myśli za nieodzowny i będący podstawą skutecznej i odpowiedzialnej nauki. Z tego właśnie powodu jest interesujące, że dwaj wielcy fizycy XX w., Einstein i Dirac, wypowiadają myśli, które można uważać za polemikę z Newtonem. W przypadku Einsteina jest to polemika zupełnie świadoma.

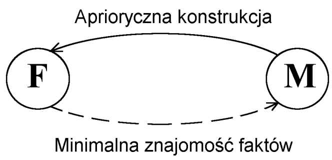
Poglądy Einsteina na fizykę teoretyczną

Albert Einstein udoskonalił w 1916 r. teorię grawitacji Newtona. Udoskonalenie to jest ilościowo znikome, a więc bardzo trudne do „wyprowadzenia ze zjawisk", ale stanowi mimo to prawdziwy przewrót pojęciowy. Nosi ono fatalną i mylącą wielu nazwę Ogólnej Teorii Względności i stanowi największe odkrycie Einsteina. Odkrycie to całkowicie zmieniło jego poglądy naukowe i filozoficzne, o czym nie zawsze się pamięta mieszając poglądy młodego Einsteina z poglądami odkrywcy Ogólnej Teorii Względności. W kwestii dochodzenia do prawdy naukowej Einstein wypowiadał się kilkakrotnie, m.in. w wykładzie „O Metodzie Fizyki Teoretycznej" wygłoszonym w Oxfordzie w 1933 r. oraz w napisanych pod koniec życia „Zapiskach Autobiograficznych", które zostały niedawno wydane po polsku przez Wydawnictwo Znak, nawiasem mówiąc z moją przedmową, którą polecam Państwu jako uzupełnienie dzisiejszych rozważań. W „Zapiskach Autobiograficznych" Einstein pisze tak [2, str. 49]:

> Teoria grawitacji nauczyła mnie jeszcze jednej rzeczy: nawet z najbardziej bogatego zbioru faktów empirycznych nie można wyprowadzić tak skomplikowanych równań. Teoria może być empirycznie potwierdzona, ale nie istnieje droga od doświadczenia do konstrukcji teorii. Równania tak skomplikowane jak równania pola grawitacyjnego mogą być sformułowane jedynie poprzez odkrycie logicznie prostej zasady matematycznej, która całkowicie lub prawie całkowicie określa równania. Po uzyskaniu tych warunków formalnych w postaci dostatecznie silnej, do skonstruowania teorii wystarczy minimalna znajomość faktów; w przypadku teorii grawitacji jest to czterowymiarowość czasoprzestrzeni oraz tensor symetryczny jako wyrażenie dla struktury czasoprzestrzeni; warunki te w połączeniu z niezmienniczością względem grupy ciągłych przekształceń praktycznie determinują równania.

Słowa Einsteina brzmią jak polemika z tym co Newton napisał w „Principiach". Jest to, jak zaraz zobaczymy, polemika świadoma. Na diagramie Diraca myśl Einsteina można zobrazować następująco:

EINSTEIN:



Minimalna znajomość faktów zastąpiła „wyprowadzenie sił ze zjawisk" a aprioryczna konstrukcja zastąpiła hipotezę uogólniającą. To, że jest to świadoma polemika z Newtonem widać z wcześniejszego o 20 lat wykładu „O Metodzie Fizyki Teoretycznej". W wykładzie tym Einstein pisze tak [3, str. 266]:

Newton, pierwszy twórca uniwersalnego i skutecznego systemu fizyki teoretycznej, jeszcze wierzył, że podstawowe pojęcia i prawa jego systemu mogą być wywiedzione z doświadczenia. Takie jest bez wątpienia znaczenie jego powiedzenia „hypotheses non fingo".

Po uzasadnieniu swojego odmiennego stanowiska Einstein pisze tak [3, str. 267]:

Jeżeli zatem jest prawdą, że aksjomatyczna baza fizyki teoretycznej nie może być wywiedziona z doświadczenia lecz musi być swobodnie skonstruowana, czy możemy mieć nadzieję na znalezienie właściwej drogi ? A nawet więcej, czy właściwa droga istnieje poza naszymi złudzeniami? Czy możemy kierować się doświadczeniem widząc, że istnieją teorie takie jak mechanika klasyczna, które bardzo dobrze opisują zjawiska nie docierając zarazem do sedna sprawy? Odpowiadam bez wahania, że w moim przekonaniu właściwa droga istnieje i że jesteśmy w stanie ją znaleźć. Dotychczasowa historia utwierdza nas w przekonaniu, że Natura jest realizacją najprostszych możliwych idei matematycznych. Jestem przekonany, że możemy odkryć za pomocą czysto matematycznych konstrukcji pojęcia i łączące je prawa, które stanowią klucz do rozumienia zjawisk przyrody. Doświadczenie może podpowiedzieć właściwe pojęcia matematyczne, lecz pojęcia te z całą pewnością nie mogą być wyprowadzone z doświadczenia. Doświadczenie pozostaje oczywiście jedynym kryterium fizycznej użyteczności konstrukcji matematycznej. Lecz twórcza zasada tkwi w matematyce. Dlatego uważam, że w pewnym sensie czysta myśl może uchwycić rzeczywistość, tak jak marzyli o tym starożytni.

Tak radykalny program badawczy domaga się równie radykalnej ontologii i Einstein rzeczywiście jej dostarcza. W „Zapiskach Autobiograficznych" pisze tak [2, str. 37]:

Prędkość światła c należy do wielkości, które występują w równaniach fizyki jako stałe uniwersalne. Jeśli wszakże zamiast sekundy wprowadzi się odcinek czasowy, w którym światło przebywa 1 cm, c znika z równań. W tym sensie można powiedzieć, że stała c jest jedynie pozornie uniwersalna.

Oczywisty i ogólnie przyjęty jest fakt, że z fizyki można by usunąć jeszcze dwie stałe uniwersalne, gdyby zamiast grama i centymetra wprowadzić odpowiednio dobrane jednostki naturalne (na przykład masę i promień elektronu). Jeśli się to zrobi, to w podstawowych równaniach fizyki mogą pojawić się tylko stałe bezwymiarowe. Chciałbym w tym miejscu przedstawić pogląd, który obecnie może opierać się tylko na wierze w prostotę czyli poznawalność rozumową natury: nie istnieją arbitralne stałe tego rodzaju; innymi słowy natura ma tą własność, że da się sformułować prawa logicznie tak silnie zdeterminowane, że pojawiają się w nich tylko stałe całkowicie określone rozumowo (a więc nie takie, których wartości liczbowe można zmienić nie niszcząc teorii).

Powyższy pogląd Einsteina można by nazwać udoskonalonym pitagoreizmem. Pitagorejczycy twierdzili, że „wszystko jest liczbą" i to jest pewnego rodzaju truizmem, jeżeli wziąć pod uwagę ogromną pojemność pojęcia liczby. To co Einstein pisze w cytowanym wyżej fragmencie można sparafrazować mówiąc, że „wszystko jest stosunkowo prostą liczbą" a to już na pewno nie jest truizmem, przeciwnie, jest to bardzo silna hipoteza ontologiczna mówiąca o tym jak świat jest naprawdę zbudowany. Hipoteza ta jest albo prawdziwa albo fałszywa. Einstein po prostu uważa ją za prawdziwą, zdając sobie zresztą sprawę z tego, że nie ma na to żadnych argumentów; dlatego mówi o „wierze w prostotę czyli poznawalność rozumową natury".

Znane powiedzenie Einsteina, wyryte na kominku w jednej z sal Fine Hall, dawnego Instytutu Matematyki w Princeton –„Bóg jest pomysłowy ale nie jest złośliwy" – jest obrazowym wyrazem tego, co nazwałem udoskonalonym pitagoreizmem Einsteina.

Poglądy Diraca na fizykę teoretyczną

O ile Einstein był ulubieńcem massmediów i każdy współczesny człowiek coś o nim słyszał, o tyle Dirac, uczony podobnego kalibru co Einstein, jest całkowicie nieznany szerszej publiczności. Gdy umarł 20 października 1984 roku na Florydzie, wychodząca w Cambridge popołudniówka napisała w informacji o tym: „Pan Dirac otrzymał doktorat od Cambridge University" [4]. Uwadze dziennikarzy uszło to, że zmarł emerytowany Lucasian Professor of Mathematics a więc następca Newtona, pierwszy godny Newtona następca, Laureat Nagrody Nobla, kawaler najwyższego brytyjskiego odznaczenia Order of Merit, i.t.d., można by długo wyliczać dowody uznania, jakie stały się udziałem Diraca. Nie wszyscy są oczywiście takimi ignorantami jak owi dziennikarze. Znany pisarz angielski, Lord Snow, nazwał Diraca największym Anglikiem XX wieku. Żeby właściwie ocenić tą ocenę, warto wiedzieć, że Lord Snow był w czasie wojny członkiem rządu brytyjskiego. W tym charakterze spotykał się z Winstonem Churchillem i był pod wrażeniem jego potężnej osobowości. Jest to dla mnie bardzo budujące, że zasługi uczonego mogą w czyichś oczach przewyższać zasługi tak wielkiego przywódcy jakim był Winston Churchill.

Dirac dokonał wielu odkryć, w tym także w dziedzinie czystej matematyki, do której wprowadził na zawsze funkcję delta Diraca. Matematycy długo opierali się temu ale w końcu musieli skapitulować i dziś funkcja delta Diraca jest niezastąpionym narzędziem nie tylko w fizyce teoretycznej ale także w analizie matematycznej.

Największym odkryciem naukowym Diraca jest równanie nazwane jego nazwiskiem. Równanie to w zdumiewająco precyzyjny sposób opisuje ruch elektronu, najpospolitszej cząstki elementarnej. Wszystko to co widzimy wokół siebie lub czego możemy dotknąć to są elektrony, których ruch w każdej chwili podporządkowany jest równaniu Diraca. Nie można właściwie zrozumieć osobliwej epistemologii Diraca nie pamiętając, że jest ona podsumowaniem osobistego doświadczenia, zwłaszcza tego związanego z odkryciem równania Diraca. W wykładzie p.t. „O Relacji Między Matematyką a Fizyką" Dirac zarysował osobliwy program dochodzenia do prawdy w fizyce teoretycznej, w którym zaleca [5]:

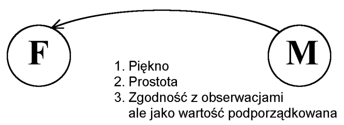
Zacząć, wybrawszy dział matematyki, o którym można z uzasadnieniem przypuszczać, że będzie podstawą nowej teorii. Specjalną uwagę należy poświęcić matematycznemu pięknu tego działu. Zdecydowawszy się na dziedzinę matematyki, należy ją rozwijać we właściwym kierunku, cały czas patrząc czy nie wydaje się ona podpowiadać w naturalny sposób jakiejś interpretacji fizycznej.

Na temat występującego tu pojęcia „matematycznego piękna" Dirac pisze tak [5]:

> Piękno matematyczne jest jakością, której nie da się określić, podobnie jak piękna w sztuce nie da się określić, ale ludzie, którzy studiują matematykę nie mają zazwyczaj żadnej trudności w rozpoznawaniu go.

Gdyby zechcieć metodę Diraca zobrazować na diagramie, który zdaje się pochodzić od niego samego, to wyglądało by to tak:

DIRAC:



Pierwszy element podwójnego ruchu myśli Newtona w ogóle zniknął. Zamiast drugiego mamy zasady wartościujące takie jak piękno, prostota, także zgodność z obserwacjami ale jako wartość podporządkowaną, co Dirac stwierdza *expressis verbis*. To, że zgodność z obserwacjami jest wartością podporządkowaną może wydawać się szokujące. Najlepiej zrozumieć to na przykładzie, który sam Dirac wielokrotnie przytacza, a mianowicie tzw. elektrodynamiki kwantowej. Teoria ta, której Dirac jest współtwórcą, odznacza się fenomenalną zdolnością przewidywania, potrafi np. obliczyć anomalny moment magnetyczny elektronu z dokładnością do dziewięciu miejsc znaczących a obserwacje potwierdzają ten rachunek. Mimo to Dirac jej nie akceptuje, bo ta fenomenalna zgodność z obserwacjami jest osiągnięta, jego zdaniem, w sposób nieestetyczny. Najkrócej stanowisko Diraca można podsumować tak: teoria estetyczna może być prawdziwa lub fałszywa, o tym decydują obserwacje, natomiast teoria nieestetyczna jest fałszywa, a zgodność z obserwacjami nie ma tu nic do rzeczy.

Diagram powyższy ilustruje także zasadę identyfikacji Diraca: odkrycia w dziedzinie fizyki teoretycznej polegają na zidentyfikowaniu przedmiotów fizycznych, które są realizacjami pewnych zastanych przedmiotów matematycznych.

Epilog. Fizyka teoretyczna dzisiaj

Wyobrażam sobie, że typowy przyrodnik, astronom albo chemik, instynktownie uzna filozofię Newtona za swoją własną a filozofię Einsteina i Diraca za jakieś dziwactwo. Zupełnie słusznie. Ta filozofia nie da się przenieść na inne działy przyrodoznawstwa matematycznego, które muszą postępować w myśl trzeźwej recepty Newtona. Jednakże w fizyce teoretycznej filozofia Einsteina i Diraca ma swoje miejsce i nie da się łatwo zignorować, i to wcale nie dlatego, że pochodzi od dwu wielkich uczonych, którzy własnymi odkryciami potwierdzili, że wiedzą co mówią. Są głębsze powody, które pokrótce przedstawię.

Filozofia Einsteina i Diraca ma dwa źródła. Jednym jest emocjonalna reakcja na własne odkrycia naukowe. Einstein i Dirac proponują innym ludziom zrobić dokładnie to, co sami naprawdę zrobili. W tym sensie jest to propozycja uczciwa, chociaż być może nie do wykorzystania przez innych. Jest jednak i drugie źródło, nie tak subiektywne. Jest nim głębokie przemyślenie konsekwencji odkrycia mechaniki kwantowej a raczej świata cząstek elementarnych, które mechanika kwantowa opisuje.

Świat cząstek elementarnych jest światem, w którym dwie rzeczywistości, o których była mowa, rzeczywistość przedmiotów fizycznych i rzeczywistość idei matematycznych jak gdyby zlewają się ze sobą, w jakiś tajemniczy sposób. Jest za tym szereg argumentów, przedstawię tylko najprostsze.

Cząstki elementarne określonego rodzaju, np. elektrony, są identyczne, na co jest wiele bezpośrednich dowodów. Otóż identyczność jest pojęciem matematycznym, pojęciem fizycznym jest podobieństwo, które zachodzi np. między dwoma monetami o tym samym nominale. Z faktu identyczności elektronów widzimy, że idea tożsamości zostaje w przyrodzie zrealizowana z całą nieskończoną ostrością idei matematycznej, ale w świecie cząstek elementarnych. W świecie ciał makroskopowych nie da się wybić dwu monet jednozłotowych tak żeby między nimi nie było jakiejś różnicy.

Inny przykład. ładunki elektryczne elektronu i protonu są sobie równe z dokładnością jak $1{:}10^{-20}$. Zmierzyć coś z dokładnością dwudziestu miejsc znaczących to tak jakby zmierzyć odległość Ziemi od Słońca z dokładnością do promienia pojedynczego atomu wodoru. Jest to dokładność absurdalna i niczemu nie służąca. Jedynym sensownym wnioskiem jaki można wyprowadzić z tego obserwacyjnego faktu, jest przyjęcie, że ładunki elektryczne elektronu i protonu są matematycznie równe. Przyjmując, że może być między nimi jakaś różnica, np. na 25 miejscu znaczącym, ściągamy sobie na głowę kłopot znacznie większy niż matematyczna równość. Potrafimy bowiem wyobrazić sobie teorię tłumaczącą matematyczną równość tych ładunków podczas gdy obliczenie różnicy rzędu 10^{-25} wygląda na przedsięwzięcie zupełnie beznadziejne.

Mówiąc inaczej, miedzy ładunkami elektrycznymi elektronu i protonu zachodzi relacja, ale nie taka jaka zachodzi między dwoma ludźmi, z których każdy ma około 170 cm wzrostu i w tym aspekcie są oni do siebie podobni. Relacja ta przypomina raczej związek jaki zachodzi między dwoma stronami tożsamości matematycznej. To zaś oznacza, że ładunek elektryczny, będąc przedmiotem fizycznym – w co przecież nie można wątpić – jest jednocześnie przedmiotem matematycznym, bo tylko przedmiot matematyczny może być podmiotem w zdaniu, które jest matematyczną tożsamością.

Wreszcie argument być może najbardziej przemawiający do wyobraźni: odporność na działanie czasu. Platon, który pierwszy wyraźnie przeciwstawił przedmioty fizyczne ideom matematycznym pisze w dialogu „Timajos” tak [6]:

Należy wyróżnić następujące problemy: czym jest to, co zawsze trwa i nie zna urodzin; czym jest to, co się zawsze rodzi i nigdy nie istnieje. Pierwszą rzecz może pojąc tylko intelekt za pomocą rozumowania, bo istnieje zawsze jako ta sama. Przeciwnie, druga jest przedmiotem mniemania w połączeniu z nie rozumowym poznaniem zmysłowym, bo rodzi się i umiera.

Platon bardzo trafnie zauważa, że, jak mówi, rodzenie się i umieranie jest uniwersalną cechą przedmiotów fizycznych, nie tylko organizmów: Słońce nie jest organizmem ale kiedyś powstało i kiedyś przestanie istnieć. To samo można powiedzieć o każdym innym dużym przedmiocie fizycznym, dużym to znaczy złożonym z dużej liczby cząstek elementarnych: Ziemia, budynki, samochody, książki, nie są organizmami ale kiedyś powstały i kiedyś przestaną istnieć. Natomiast cząstki elementarne są wieczne i niezniszczalne; istnieją w czasie ale czas się ich nie ima. Sądzę, że gdyby Platonowi przedstawić zachowanie się elektronu, to miałby on wątpliwości czy jest to jeszcze opisany przez niego przedmiot fizyczny.

Przykłady te pokazują, że cząstki elementarne takie jak elektron mają jak gdyby podwójne obywatelstwo, są przedmiotami fizycznymi – w co przecież nie można wątpić – a jednocześnie mają cechy, które od czasów Platona uważa się za charakterystyczne dla idei matematycznych. Ten właśnie fakt, głęboko przemyślany przez Einsteina i Diraca, powoduje, że w proponowanej przez nich metodzie poznania nie ma nic absurdalnego.

W swoim wykładzie „O Metodzie Fizyki Teoretycznej" Einstein używa w pewnym miejscu określenia „właściwa droga". Brzmi to rzeczywiście bardzo groźnie, tak jak by mówił nie uczony ale przywódca jakiejś sekty. Moim zdaniem nie ma sensu kłócić się o to, która z tych dróg jest właściwa gdyż są one komplementarne w sensie, który nadał temu słowu Niels Bohr: to co można osiągnąć na jednej z tych dróg jest nie do osiągnięcia na innych. Właśnie komplementarność metody Einsteina i Diraca w stosunku do metody Newtona czyni ją niezbędną.

Jakie jest społeczne oddziaływanie myśli Einsteina i Diraca? Przez społeczne oddziaływanie rozumiem oczywiście wpływ na niewielką społeczność fizyków, których myśli te mogą zainteresować. Otóż pomimo niezwykłości aprioryzmu Einsteina i Diraca i pomimo tego, że obaj ci wielcy uczeni zostali za życia uznani za relikty przeszłości pozostawione na uboczu przez to co nazywa się *main stream science*, oddziaływanie to jest ogromne. Widząc to co się dziś dzieje obaj mogliby z uzasadnieniem powiedzieć: moje jest za grobem zwycięstwo. Dowodem na to może być chociażby tzw. teoria strun, program badawczy będący naiwnie dosłowną realizacją recepty Diraca. W badania z zakresu teorii strun zaangażowane są na świecie setki ludzi a Edward Witten, amerykański matematyk i fizyk będący głównym animatorem tej teorii, ma około 50 tys. cytowań. Te 50 tys. cytowań nie jest miarą indywidualnego sukcesu Wittena, bo przecież nie jest jasne czy sama teoria strun jest sukcesem, jest to raczej miara rozległości wysiłku badawczego wkładanego w rozwój tej teorii, cytowania te pochodzą przecież głównie od młodych ludzi, którzy poważnie potraktowali teorię strun. Jeszcze sto lat temu fenomen teorii strun nie byłby możliwy; żadne czasopismo naukowe nie opublikowałoby spekulacji tak jawnie oderwanych od rzeczywistości. Co powoduje, że w naszych czasach spekulacje takie są akceptowane i publikowane?

Moim zdaniem są dwa powody. Pierwszy to właśnie filozofia i przykład Einsteina i Diraca, którzy pokazali co można osiągnąć na drodze czystej spekulacji. Drugi powód to sytuacja w jakiej znalazła się fizyka teoretyczna, a której zasadniczym elementem jest sprzeczność między Ogólną Teorią Względności a Mechaniką Kwantową. Zresztą sprzeczność to nie jest dobre słowo, należałoby raczej mówić o rozziewie między tymi teoriami. Rozziew ten można scharakteryzować ilościowo jako rozziew między strukturami o rozmiarze przestrzennym 10^{-16} cm, które bada teoria pola będąca współczesną wersją mechaniki kwantowej a tzw. długością Plancka, która wynosi 10^{-33} cm i która jest charakterystyczną długością kwantowej teorii grawitacji. Wielu ludzi doszło chyba do wniosku, że ten dystans 17 rzędów wielkości jest nie do pokonania metodą Newtona i to stanowi usprawiedliwienie spekulacji takich jak teoria strun. Cokolwiek by sądzić o tej teorii, a teoria ta ma nie tylko entuzjastów, np. Bert Schroer, wybitny niemiecki teoretyk, nazwał teorię strun XX wieczną teorią flogistonu tzn. teorią rzeczy nieistniejących, teoria ta jest przykładem czysto spekulatywnej fizyki teoretycznej, która jeszcze długo będzie nam towarzyszyć, tak długo jak długo będzie istnieć wyzwanie, które jest usprawiedliwieniem spekulacji. Nie ma niczego bardziej nieustępliwego niż duch ludzki w konfrontacji z czymś co postrzega jako oczywiste wyzwanie. Niedawno matematycy dali nam piękny przykład owej nieustępliwości ducha, udowadniając po ponad 300 latach nieskutecznych prób wielkie twierdzenie Fermata. Te 300 lat to jest przypuszczalnie skala czasu, którego potrzebują wielkie i trudne idee na to żeby dojrzeć. Musimy oczywiście nauczyć się odróżniać ziarno od plew, spekulacje twórcze od spekulacji jałowych. Jesteśmy w tym trudnym zadaniu zdani na własne siły, bo przecież ani Einstein ani Dirac nie powiedzieli naprawdę czym się kierować, czym są piękno i prostota do których obaj przywiązywali tak ogromną wagę. Pojęcia te pozostają nie dającą się określić zasadą twórczości w dziedzinie fizyki teoretycznej. Mimo to musimy być przygotowani na to, że samo zjawisko czysto spekulatywnej fizyki teoretycznej będzie nam jeszcze długo towarzyszyć.

Literatura

[1] Cytuję za: *Newton's Philosophy of Nature*, Selections from His Writings, Ed. by. H.S. Thayer, Hafner Press 1974

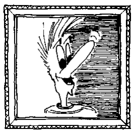
[2] A. Einstein, *Zapiski Autobiograficzne*, Znak 1996

[3] A. Einstein, *Ideas and Opinions*, Laurel Edition, New York 1973

[4] *Reminiscences about a great physicist: Paul Adrien Maurice Dirac*, Ed. by B.N. Kursunoglu and E.P. Wigner, Cambridge University Press 1990

[5] Cytuję za: Helge S. Kragh, Dirac, *A Scientific Biography*, Cambridge University Press 1992

[6] Platon, *Timajos, Kritias*, PWN 1986, str. 34



Okruchy wspomnień

Andrzej Staruszkiewicz

Krzysztof Fiałkowski

Instytut Fizyki UJ

Andrzej Staruszkiewicz ukończył studia w 1961 roku. Byliśmy więc pierwszymi studentami, z którymi prowadził zajęcia – ćwiczenia z algebry. Sprawiały mu one widoczną trudność – najwyraźniej nie mógł pojąć, czemu nie rozumiemy i nie umiemy rozwiązać zadań, które dla niego były całkiem trywialne. Typowy dialog (a właściwie monolog) przy tablicy podczas obliczania wyznacznika „N na N" wyglądał więc tak: „Czego pan tu nie rozumie, przecież to zupełnie proste. Niech pan popatrzy, jeśli od każdej kolumny odejmiemy następną, to wyjdzie tak, a jeśli do każdego wiersza dodamy pierwszy, to wyjdzie tak a teraz widzi pan, że z tego, co zmazałem, wynika to, co napisałem! I teraz już widać, że wyjdzie to, co powinno; widzi to pan, prawda? No to dziękuję, następny!"

Dobroduszność Staruszkiewicza sprawiła, że jego ćwiczenia nie były jednak zbyt gęstym sitem. Chyba zresztą już pod koniec semestru zaczął opanowywać techniki radzenia sobie z naszą tępotą i po dwu latach jego ćwiczenia z mechaniki kwantowej zostały przez nas jednomyślnie uznane za najlepiej prowadzone zajęcia. Od tego czasu wygrywa on niezmiennie wszystkie ankiety studenckie, a dodatkowym przedmiotem podziwu jest jego głos, słyszalny w każdym kącie sali wykładowej nawet wtedy, gdy mówi coś półgłosem odwrócony do tablicy.

Jedna z moich koleżanek już na studiach marzyła o bliższej znajomości ze Staruszkiewiczem. Kiedy więc (już jako stażystka) zmusiła go podczas imienin profesora Rayskiego do przejścia na „ty", wpadła w taką euforię, że zażądała, abyśmy i my dwaj przeszli na „ty". Czułem się oczywiście zaszczycony, zaś Staruszkiewicz wygłosiwszy sakramentalne „wiesz, jestem Andrzej" dodał – „ale nie obraź się, jeśli kiedyś powiem ci 'proszę pana', bo mnie się czasem myli i nawet do mojej mamy mówię 'proszę pani'".

KOMUNIKAT

Nagrody

Komisja Edukacji przy Radzie Miasta Krakowa przyznała 10 nagród dla wybitnych nauczycieli. Wśród nich znaleźli się dwaj fizycy z IF UJ, nauczyciele z V LO – **dr Andrzej Dyrek** i **dr Sławomir Brzezowski**.

Dr Andrzej Dyrek został wyróżniony nagrodą MEN pierwszego stopnia za wychowanie 10 olimpijczyków z informatyki.

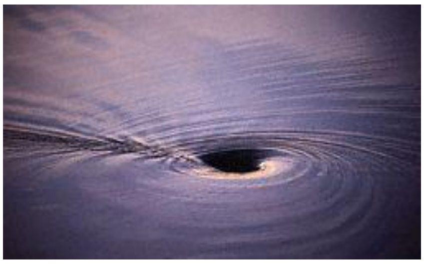
Wiry, jeże
i inne topologiczne stwory

Adriaan M.J. Schakel

Low Temperature Laboratory, Helsinki University of Technology, Finland
National Chiao Tung University, Department of Electrophysics, Hsinchu, Taiwan

Wstęp

Prawdopodobnie każdy widział dziwne zjawisko powstające przy wypuszczaniu wody z wanny. Podczas gdy płyn wypływa, część jego, która pozostaje nadal w wannie, jest wprawiona w ruch wirowy wokół pionowej osi przechodzącej przez otwór w dnie wanny. Jeśliby przyjrzeć się bliżej temu zjawisku można zauważyć, iż prędkość rotującej cieczy wzrasta wraz ze zbliżaniem się do osi. Oczywiście na samej osi nie ma cieczy a jest jedynie powietrze. Takie zjawisko nazywamy wirem.



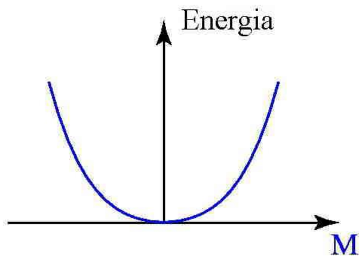
Podobne, lecz często znacznie bardziej niebezpieczne i równocześnie zachwycające zjawisko, obserwujemy nie w cieczy a w atmosferze. Część Ameryki i wschodniej Azji jest regularnie świadkiem niszczących możliwości tornad (*USA)* i tajfunów *(Chiny – od „t'ai-fung")*. Również tutaj, przy uważnej obserwacji można zobaczyć, że prędkość wiatru rośnie gdy zbliżamy się do centrum powietrznego wiru. W samym środku, czyli w tak zwanym oku cyklonu, mierzy się rekordowo niskie ciśnienie, co po prostu oznacza, że znajduje się tam stosunkowo mało powietrza.

Widzimy zatem, iż oba opisane zjawiska są rzeczywiście blisko związane. Prędkość ruchu ośrodka zachowuje się w ten sam sposób. W dodatku oba zjawiska są stabilne. Ruszając delikatnie ręką w wannie, czyli dokonując małego zaburzenia, możemy sprawić, że wir zacznie się nieznacznie poruszać, jednakże nadal będzie istniał. W sprzyjających warunkach tornado może przemierzać znaczne odległości i zagrażać ludziom przez wiele dni.

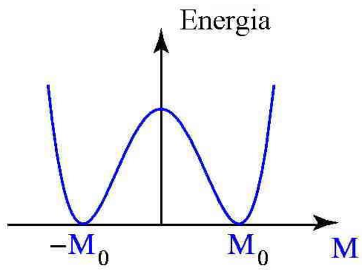
Istnieje jeszcze jeden obiekt posiadający podobne własności. Jest nim wir kwantowy który pojawia się w nadprzewodnikach i w cieczach nadciekłych. Układy kwantowe bardzo mocno różnią się od klasycznych gazów i cieczy, które znamy z otaczającego nas świata. A to dlatego, iż są rządzone przez prawa mechaniki kwantowej. Jedną z możliwości dostania się do kwantowego świata jest przejście do bardzo niskich temperatur. Wtedy termiczne fluktuacje nie przesłaniają subtelnych efektów kwantowych, jak to się dzieje przy wyższych temperaturach.

Złamanie symetrii i parametr porządku

Rozważmy łańcuch złożony z wielu malutkich igiełek magnetycznych skierowanych w górę albo w dół. Zamiast śledzić ruch wszystkich magnesów lepiej i łatwiej jest rozważać pewną wielkość uśrednioną M. Mówi nam ona o tym, jak przeciętnie są zorientowane magnesy w łańcuchu. Jeśli elementarne magnesy są ustawione w chaotyczny sposób wtedy oczywiście M=0. Ma to miejsce przy wysokich temperaturach, kiedy termiczne fluktuacje prowadzą do zupełnie chaotycznego zorientowania magnesów. Zerowa wartość M odpowiada wtedy stanowi o najniższej energii. Gdy układ jest w najniższym stanie energetycznym mówimy, że jest w stanie podstawowym.



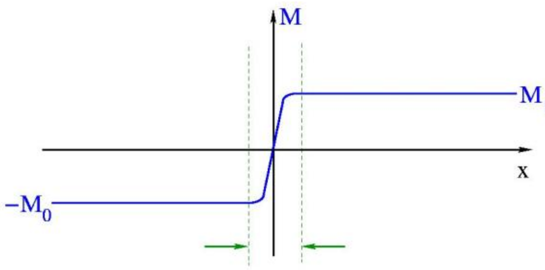
Jednakże, przy chłodzeniu układu może się w gładki sposób zmienić kształt funkcyjnej zależności energii systemu od M, przyjmując postać pokazaną na rysunku poniżej.



Tym razem minimum energii nie jest osiągane dla M=0 lecz dla pewnych konkretnych, niezerowych wartości $+M_0$ oraz $-M_0$. Zatem stanem podstawowym jest teraz stan o nieznikającej wartości M, dodatniej bądź ujemnej. Taka sytuacja odpowiada **spontanicznemu złamaniu symetrii.**[1]. Zamiast sytuacji, w której magnesy są przypadkowo ustawione, dając M=0 czyli nie wyznaczając żadnego preferowanego zwrotu, mamy sytuację, w której magnesy spontanicznie wskazują kierunek albo w górę albo w dół. Temperaturę, dla której po raz pierwszy M staje się niezerowe, zmieniając w tak drastyczny sposób własności układu, nazywamy temperaturą krytyczną. Oddziela ona stan (fazę) wysokotemperaturowy, charakteryzujący się nieobecnością preferowanego ustawienia magnesów, od uporządkowanego stanu niskotemperaturowego, w którym jeden z kierunków jest uprzywilejowany. Można powiedzieć, że wartość M wskazuje jak bardzo uporządkowany jest układ. Dlatego też M nazywamy parametrem porządku.

Ściany domenowe

Wyobraźmy sobie, że chłodzenie wykonujemy wystarczająco szybko, tak że na lewym końcu łańcucha magnesy spontanicznie ustawiają się w dół. Niezależnie magnesy na prawym końcu wybierają ustawienie do góry. Mamy zatem sytuację kiedy na końcach łańcucha magnesy mają przeciwną orientację. Oczywiste jest, że musi istnieć punkt na łańcuchu w którym parametr M ma wartość zero.



Obszar gdzie M w znaczący sposób odbiega od wartości w stanie podstawowym nazywamy defektem, a punkt w którym M = 0 – rdzeniem defektu. Rdzeń de-

[1] Patrz artykuł prof. Andrzeja Białasa „Natura boi się próżni” w *Fotonie 72.*

fektu jest dość niezwykłym obiektem, zbudowanym z symetrycznej fazy ośrodka, podczas gdy cała reszta układu znajduje się w stanie uporządkowanym. Opisany tutaj specyficzny rodzaj defektu nazywamy ścianą domenową. Żeby zrozumieć pochodzenie nazwy wyobraźmy sobie, że zamiast łańcucha mamy rzeczywisty trójwymiarowy układ. Jeśli teraz rozszerzymy punkt reprezentujący rdzeń ściany domenowej o dwa brakujące wymiary, stanie się on powierzchnią, a obszar gdzie M w znaczący sposób się zmienia przyjmie kształt ściany. Najistotniejszą cechą takich konfiguracji jest fakt, iż są one stabilne ze względów topologicznych.

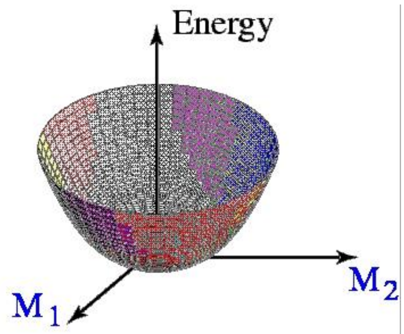
Topologia

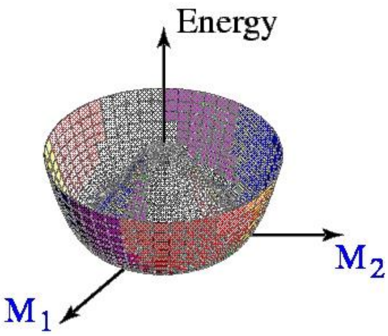
Szczególnie ważną rolę w rozważaniach defektów topologicznych pełnią sfery. Zwyczajna sfera jest obiektem dwuwymiarowym: mrówka na wielkiej sferze może się poruszać jedynie w kierunkach przód-tył bądź prawo-lewo. Aby zaakcentować dwuwymiarowość zwykłej sfery oznaczymy ją S^2, gdzie górny indeks podaje wymiar obiektu. Idea sfery jest na tyle ogólna, że można rozważać sfery dowolniewymiarowe. Na przykład, jeśli przetniemy dwu-sferę płaszczyzną, otrzymamy okrąg czyli sferę S^1; obiekt jednowymiarowy. Jeśli będziemy kontynuować naszą procedurę i przetniemy sferę jednowymiarową linią, uzyskamy oczywiście dwa punkty, które tworzą zerowymiarową sferę S^0.

Istotne jest to, iż można spojrzeć na ścianę domenową jako na odwzorowanie z rzeczywistej przestrzeni w przestrzeń parametru porządku. Prześledźmy to na przykładzie naszego łańcucha. Przestrzeń rzeczywistą $S^0{}_x$ stanowią dwa końce łańcucha, a przestrzeń parametru porządku $S^0{}_M$ jest reprezentowana przez dwa stany podstawowe M. Jeśli oba punkty z $S^0{}_x$ odwzorowane są na ten sam punkt w $S^0{}_M$, w ośrodku nie tworzą się żadne ściany domenowe. Jednakże jeśli punkty z $S^0{}_x$ zostaną odwzorowane w dwa różne punkty $S^0{}_M$, pojawi się ścianka domenowa. I żadna ciągła deformacja nie będzie w stanie zlikwidować tego defektu. Zatem nasza ścianka domenowa jest topologicznie stabilna.

Wiry kwantowe

Skomplikujmy odrobinę nasz model i zamiast skalarnej wielkości M rozważmy parametr porządku posiadający dwie składowe M_1 i M_2. Wykresy energii dają się, w prosty sposób, uogólnić na przypadek z dwuwymiarową wielkością M. Wystarczy jedynie obrócić je wokół osi pionowej (zob. rysunki poniżej). Zbiór punktów na płaszczyźnie, w których parametr porządku przyjmuje wartość próżniową dla stanu uporządkowanego, nie jest sferą S^0 jak dla ścian domenowych, lecz sferą S^1 – okręgiem. Zatem odwzorowanie, które będzie tutaj odpowiednie, jest odwzorowaniem sfery S^1 w S^1, czyli okręgu w okrąg. Takie przekształcenie jest charakteryzowane przez *liczbę nawinięć* mówiącą ile razy nawiniemy okrąg w przestrzeni parametru porządku odwzorowując dokładnie jeden okrąg z przestrzeni rzeczywistej. Przekształcenia te nadają się do opisu wirów kwantowych pojawiających się w nadprzewodnikach i cieczach nadciekłych.



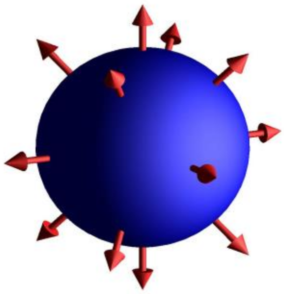


Opisane wiry kwantowe „żyły” w przestrzeni dwuwymiarowej. Aby uogólnić to na trójwymiarową przestrzeń wystarczy rozważyć liniowy defekt, którego przecięcia z płaszczyznami prostopadłymi do niego dają wiry. Obszar otaczający wir na płaszczyźnie może być ściągnięty do okręgu S^1. Poruszając się wzdłuż tego okręgu parametr porządku będzie zataczać okręgi „na dnie butelki wina” (prawy rysunek powyżej). Liczba tych okręgów jest właśnie liczbą nawinięć. Wir z określoną liczbą nawinięć nie może być w sposób ciągły zdeformowany w wir z inną liczbą nawinięć. A zatem jest topologicznie stabilny. Rdzeń wiru planarnego składa się z pojedynczego punktu. Podobnie jak dla ściany domenowej, parametr porządku znika w rdzeniu. Jeśli rozszerzymy przestrzeń do trzech wymiarów, rdzeń wirów kwantowych stanie się linią, jak ma to miejsce dla wirów w wodzie i trąb powietrznych.

W tym miejscu trzeba zaznaczyć, iż wiry wodne i trąby powietrzne są stabilne nie z powodów topologicznych. Wiadomo od dawna, że ich stabilność jest gwarantowana przez prawa rządzące ruchem klasycznych gazów i płynów. Jeśli jednak policzyć liczbę nawinięć dla tych defektów, to okaże się, iż jest ona bardzo duża. Potrzeba subtelności świata kwantowego aby stworzyć defekty o małych liczbach nawinięć.

Jeże topologiczne

Rozważmy jeszcze bardziej skomplikowaną sytuację, gdy parametr porządku ma aż trzy składowe M_1, M_2 i M_3. Niestety brakuje nam wymiarów by narysować kształt funkcyjny energii lecz rysunek poniżej pozwala nam wyobrazić sobie co się dzieje. Trójwymiarowy parametr porządku określa odwzorowanie z S^2 w S^2. Takie odwzorowania także można charakteryzować liczbą nawinięć. Tym razem liczba ta określa ile razy zakreślimy sfery w przestrzeni parametru porządku przy odwzorowaniu sfery z rzeczywistej przestrzeni. Liczba taka nadaje się do klasyfikacji defektów punktowych zwanych jeżami. Jeże pojawiają się na przykład w ferromagnetykach.

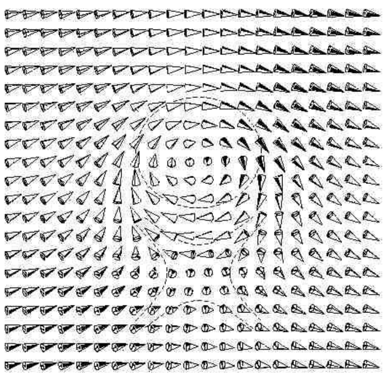


Przestrzeń rzeczywista otaczająca defekt punktowy może być ściągnięta do sfery S^2_x jak jest to pokazane na powyższym rysunku. Strzałki wskazują kierunek wektora M. W tym przypadku końce wektorów M również zataczają sferę. Liczba nawinięć takiego defektu jest zatem równa jeden. Z rysunku widać także, iż istnieje dokładnie jeden punkt gdzie wektor M nie jest określony. Tym punktem, rdzeniem jeża, jest oczywiście środek sfery.

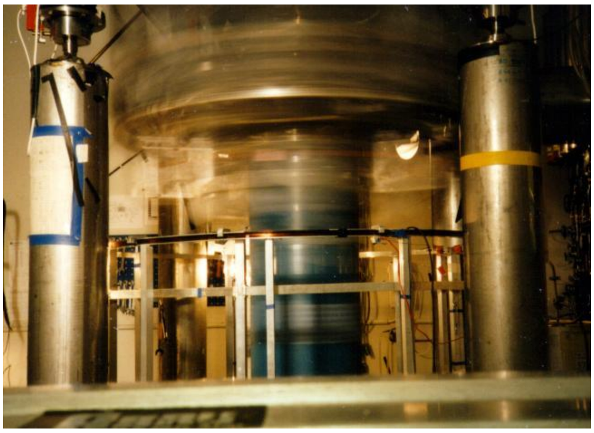
Uważny czytelnik mógł zauważyć że zaczęliśmy nasze rozważania od ścian domenowych będącymi obiektami dwuwymiarowymi. Następnie przeszliśmy do wirów kwantowych – tworów jednowymiarowych, i na końcu omówiliśmy jeże czyli obiekty punktowe tzn. zerowymiarowe. Wszystkie te defekty były rozpatrywane w trójwymiarowej przestrzeni. Można zauważyć prawidłowość, że do klasyfikowania defektu d wymiarowego w n wymiarowej przestrzeni potrzebujemy sfery n-d-1 wymiarowej.

Tekstury

W przyrodzie istnieją oczywiście defekty topologiczne dużo bardziej skomplikowane niż te, które powyżej opisaliśmy. Przykład widzimy na rysunku poniżej.



Defekt ten został ostatnio zaobserwowany w nadciekłym ^{3}HeA przez grupę ROTA w Low Temperature Laboratory w Helsinkach, przy użyciu rotującego kriostatu (na zdjęciu poniżej). Godne uwagi jest to, że w tym defekcie nie istnieje obszar gdzie parametr porządku znika, czyli nie ma rdzenia defektu. Obiekt o takich własnościach nazywamy teksturą.



Wnioski

Defekty topologiczne ciągle są dziedziną intensywnych i ekscytujących badań. Pojawiają się one niemal we wszystkich działach fizyki współczesnej, od fizyki ciała stałego do fizyki wysokich energii i kosmologii. Jest to fascynujące, że stosunkowo proste, lecz głębokie pojęcia topologiczne, znajdują zastosowanie w fizyce.

(tłumaczył J. Wereszczyński, IF UJ)

Podziękowanie

Ten krótki esej jest dedykowany Z. Gołąb-Meyer za jej zapał w ukazywaniu zdolnym uczniom piękna fizyki. Dziękuję profesorowi J. Spałkowi i organizatorom XL Zakopiańskiej Szkoły Fizyki za zaproszenie mnie do udziału i za stworzenie miłej i inspirującej atmosfery.

Jestem też wdzięczny M. Krusiusowi z Helsinek za gościnność. To w Helsinkach, w Laboratorium Niskich Temperatur Uniwersytetu Technicznego opracowywałem ten esej. Podziękowanie należy się B. Rosensteinowi z Taiwanu z Wydziału Elektrofizyki Narodowego Uniwersytetu Chiao Tung, gdzie powstawała ostateczna wersja wykładu. Pan R. Blaauwgeers pomógł mi w opracowaniu ilustracji, za co pragnę mu podziękować. Praca była częściowo sponsorowana przez program EU Transfer and Mobility of Researchers (umowa nr ERBFMGECT980122), a także przez National Sciense Council (NSC) z Taiwanu. Praca została wykonana w ramach programu badań defektów topologicznych finansowanego przez European Science Foundation (zobacz witrynę programu
http://www.physik.fu-berlin.de/~defect).

Redakcja *Fotonu* dziękuje profesorowi H. Arodziowi za pomoc w redakcji artykułu.

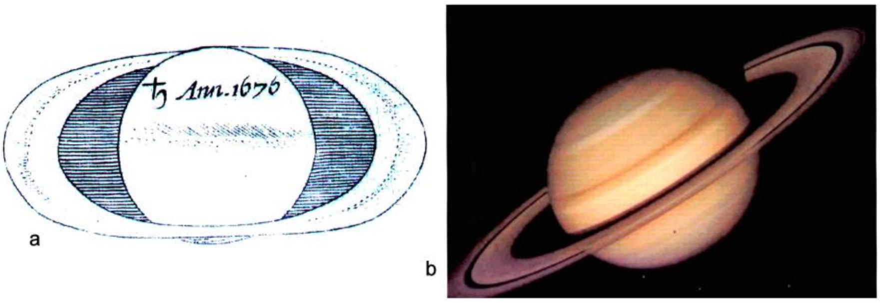
Kosmiczne peregrynacje statku Cassini

Miłosz Piotr Wnuk

University of Wisconsin Milwaukee, USA
College of Engineering and Applied Science

Chęć podróżowania to rzecz nie nowa, jest widocznie ukryta w naszych genach. W starożytnej Grecji podróżowali Argonauci, potem włoski kupiec Marco Polo i angielski odkrywca Livingston docierali do najbardziej odległych punktów kuli ziemskiej. W latach 30. tego stulecia kolejne wyprawy na obydwa bieguny Ziemi dowiodły bez cienia wątpliwości, że ludzka ciekawość i żądza odkrywania nie zna granic. Sięga po wciąż nowe terytoria leżące daleko za horyzontem, najczęściej na innych kontynentach, a nawet – jak w przypadku statku kosmicznego Cassini – sięga do planet leżących na zewnątrz orbity Ziemi wokół Słońca. Celem podróży statku Cassini jest planeta Saturn oraz największy z jej osiemnastu księżyców, Tytan.

Saturn widoczny jest na niebie gołym okiem, a za pomocą szkolnego teleskopu można także zobaczyć wąski krążek pierścieni, które nadają temu ciału niebiańskiemu aurę tajemniczości. Imponująca jest też magnetosfera Saturna, niezwykle silna i niewytłumaczalnie niesymetryczna. Do dziś przyczyny tej niesymetrii nie są znane. Jest to jedyna planeta w naszym układzie słonecznym, której towarzyszy zawiły system pierścieni. Galileusz sądził, że to co widzi w swojej lunecie, którą skierował w stronę Saturna, to są… uszy planety. Po kilku latach jednakże, „uszy” zniknęły zupełnie, tak jak to widać na Rysunku 1a i 1b.



Rys. 1

Stopniowo nasza wiedza o Saturnie narastała. Jeszcze w XVII wieku włoski astronom Cassini, zamieszkały na stałe we Francji, zrozumiał, że „uszy” to pierścienie, a także dowiódł istnienia dosyć dużego odstępu pomiędzy wewnętrznymi i zewnętrznymi słojami pierścieni, które otaczają Saturna.

Dzisiaj odstęp ten nosi imię Cassiniego, a statek kosmiczny NASA, również ochrzczony „Cassini”, ma za zadanie przedostać się poprzez tę właśnie pustą przestrzeń między pierścieniami, tak, aby maksymalnie zbliżyć swoją wydłużoną eliptyczną orbitę „parkującą” do powierzchni planety (unikając jednocześnie zderzenia z pierścieniami). W punkcie największego zbliżenia do powierzchni planety statek orbitalny Cassini będzie znajdował się na wysokości równej 3/10 promienia Saturna.

Jakie są parametry tej dalekiej planety? „Dalekiej”, bo znajdującej się w odległości 9,54 jednostek astronomicznych (J.A.) od Słońca. Za jednostkę astronomiczną przyjmuje się średnią odległość Ziemi od Słońca, która wynosi około 150 milionów kilometrów. Mówimy więc tutaj o odległości Saturn–Słońce rzędu 1431 milionów kilometrów. Natomiast Ziemię od Saturna dzieli odległość 8,54 J.A., czyli „tylko” 1281 milionów kilometrów. Tę odległość statek Cassini przebędzie w czasie siedmiu lat, które upłyną od chwili startu, 15 października 1997 roku, z przylądka Kennedy’ego na Florydzie, do momentu przybycia statku w bezpośrednie sąsiedztwo, 1 lipca 2004.

Aby tam dotrzeć statek Cassini przebędzie odległość nieco większą niż 2562 milionów kilometrów, a zatem drogę ponad dwukrotnie większą niż długość linii prostej łączącej Ziemię z Saturnem. Dlaczego jest to konieczne, wyjaśnimy niebawem.

Wróćmy na chwilę do opisu Saturna. W układzie słonecznym jest to prawdziwy olbrzym, drugi co do wielkości po Jowiszu. Masa Saturna przewyższa masę Ziemi blisko stukrotnie, dokładnie mówiąc 95,2-krotnie. Krąży on po swej orbicie wokół Słońca blisko trzykrotnie wolniej niż Ziemia i dlatego też „rok” na tej planecie wynosi 29,46 lat ziemskich. Planeta ta jest jedną wielką bryłą zamarzniętych gazów. Gdy podzielimy masę Saturna $5{,}69\times10^{6}$ kg przez jej objętość, otrzymujemy średnią gęstość mniejszą niż gęstość wody (podobnie jak gęstość lodu jest mniejsza od gęstości wody). Jeśliby wyobrazić sobie, że Saturn wpadł do oceanu, który byłby na tyle duży, aby pomieścić takich rozmiarów kulistą bryłę, to… pływałby na powierzchni oceanu jak kostka lodu w szklance wody. Jeśli kontynuować tę analogię nieco dalej, to pierścienie Saturna znalazłyby się wówczas pod wodą, na kształt stabilizatorów jakiegoś monstrualnego statku.

Jakie są koszty takiej międzyplanetarnej wyprawy? Suma zainwestowana do chwili obecnej wynosi 3400 milionów dolarów, w tym mieści się około 650 milionów dolarów pochodzących z Europy, mianowicie z Niemiec i z Włoch. Jeśli jednak zważyć astronomiczną odległość jaką ten statek musi przebyć, aby dotrzeć do Saturna, nie jest to suma nadzwyczajna. Weźmy tu pod uwagę 2526 milionów kilometrów, które Cassini musi pokonać, aby 1 lipca 2004 znaleźć się na miejscu przeznaczenia. Jeśli pełny koszt podróży podzielić przez tę odległość, to otrzymamy jedyne 1,33 dolara za każdy kilometr przebytej drogi. Wydawać by się mogło, że to cena rozsądna. A jednak, jak łatwo można dowieść, jest ona ponad dziesięciokrotnie większa od ceny lotu z Warszawy do Chicago samolotem LOTu. Dzieląc cenę w jedną stronę, latem w czasie, kiedy podróże są najdroższe, czyli około

600 dolarów przez odległość 6 tysięcy kilometrów, otrzymujemy tylko 10 centów za kilometr. Gdyby jednak cofnąć się w czasie w nie tak bardzo odległą przeszłość do roku 1912, to okaże się, że cena biletu podróży na Tytaniku z Anglii do Nowego Yorku wynosiła nieco ponad dwa (ówczesne!) dolary za każdy przebyty kilometr. Obliczenie to wykonane zostało dla pasażerów pierwszej klasy. Jest to zatem liczba porównywalna z kosztem realizacji misji Cassiniego. Krótko mówiąc, astronomiczne odległości wymagają astronomicznych inwestycji. Są to liczby niewyobrażalne i tylko takie ekonomiczne imperium jak Stany Zjednoczone może sobie pozwolić na tego rodzaju wydatki.

Ostatnio kongres USA znacznie okroił budżet agencji kosmicznej NASA, nadal jednak sumy przeznaczone na badania kosmosu i kolejne międzyplanetarne „misje" są rzędu miliardów dolarów. Co otrzymujemy w zamian? Odpowiedź jest nieco ezoteryczna, gdyż poza nauką (astronomią i astrofizyką), romantycznie zwanej „Fizyką Głębokiej Przestrzeni", wydawać by się mogło, że nikt z tych czekających nas w najbliższej przyszłości odkryć korzystać nie będzie. Nie jest to całkowicie prawdą, gdyż postęp techniki, elektroniki i technologii, które są fundamentem całego przedsięwzięcia „Cassini", jest tak niezwykły, że nawet mały ułamek niezliczonych ulepszeń czy to w nauce o materiałach, czy też w nauce o komputerach, będzie dla nas, zwyczajnych zjadaczy chleba na Ziemi, tak istotny, że trudno wymierzyć płynące stąd korzyści tak po prostu w dolarach. Pewne układy statku „Cassini" są zaprojektowane w ten sposób, że mogą zostać ulepszone w ciągu najbliższych siedmiu lat, gdy już statek znajduje się w kosmosie, jeśli nowe odkrycia technologiczne na to pozwolą.

Weźmy chociażby osłonę termiczną sondy Huygensa, która zostanie zrzucona z macierzystego statku „Cassini" na powierzchnię księżyca Tytan (odłączenie tej sondy od statku zaplanowano na 6 listopada 2004, a jej wejście w atmosferę, spowolnione gigantycznym spadochronem, nastąpi 27 listopada 2004). Płytki osłony termicznej sondy Hyugensa zbudowane są z włókna krzemowego wytrzymującego temperaturę rzędu 12 tysięcy stopni Celsjusza, która dwukrotnie przewyższa temperaturę powierzchni Słońca! Jednocześnie strukturalna powłoka sondy Huygensa musi być tak zaprojektowana, aby wytrzymać temperaturę powierzchni Tytana, największego z osiemnastu księżyców Saturna, gdzie sonda ta będzie lądować. Jest to temperatura minus 200 stopni Celsjusza… Do tejże powłoki niosącej przyczepiona jest osłona termiczna, która pracować będzie przez jedyne 30 sekund, kiedy to szybkość opadającej sondy zmniejszy się od Mach[1] 1,5 do Mach 0,6. Ciekawostką jest fakt, że masa samej tylko osłony termicznej stanowi 1/3 całej masy sondy wynoszącej 300 kg.

Atmosfera Tytana składa się głównie z azotu z niewielką ilością metanu i argonu. Próbki tej atmosfery zostaną pobrane i zbadane przez sondę Huygensa. Sonda ta została zaprojektowana przez inżynierów niemieckich i włoskich. Zauważ-

[1] Liczba Macha – stosunek prędkości obiektu poruszającego się w cieczy do prędkości dźwięku w tej cieczy (w takich samych warunkach fizycznych).

my, że Niemcy miały swojego Keplera a Włosi mieli Cassiniego, tak więc to co obecnie się dzieje jest po prostu kontynuacją tradycji nauki o Wszechświecie, rozpoczętej jeszcze w Średniowieczu! Sonda została zmontowana w Europie i już jako całość przewieziona na przylądek Kennedy'ego na Florydzie. Tutaj sonda Huygensa została „zintegrowana" ze statkiem kosmicznym Cassini, który łącznie z sondą ważył w chwili startu 5,6 ton. Całość została umieszczona na szczycie dwóch najlepszych rakiet wojskowych Stanów Zjednoczonych. Jedną z nich jest rakieta Tytan IVB, natomiast druga, mniejsza, zwana rakietą Centaur, jest połączona z Tytanem IVB szeregowo (zob. zdjęcie na okładce). Wysokość tego kolosa, obydwu rakiet i statku Cassini wynosiła w dniu startu15 października 1997 roku 56 metrów, wysokość porównywalna z wysokością 20-piętrowego budynku. Łączna masa wszystkich urządzeń w momencie startu równała się nieprawdopodobnej liczbie 1038 ton. Łatwo stąd wyliczyć, że stosunek masy statku Cassini, wraz z sondą Huygensa, do masy całego urządzenia przy starcie wynosił jedynie mały ułamek, mianowicie 6 tysięcznych. Innymi słowy, aby wyrzucić w przestrzeń 1 kg masy urządzeń Cassiniego, potrzebne było około 1000 kg masy urządzeń startowych, takich jak rakiety, paliwo, konstrukcja nośna etc. Może się to wydać bardzo nieefektywnym sposobem „jet propulsion", czyli napędu odrzutowego, ale lepszego obecnie nie mamy.

Po trzystopniowym odpaleniu, dwa stopnie rakiety Tytan IVB oraz trzeci otrzymany z rakiety Centaur, statek Cassini został wyniesiony na orbitę parkingową wokół Ziemi, o kształcie wydłużonej elipsy, dla której apogeum wyniosło 445 km, natomiast perigeum było 170 km. Po opuszczeniu orbity parkingowej Cassini udał się w siedmioletnią podróż do Saturna. Aż cztery manewry przyspieszenia grawitacyjnego zostały zaprogramowane na trasie jego lotu. Dwa pierwsze wykonano w pobliżu Wenus, trzecie, 18 sierpnia tego roku, uzyskano w pobliżu naszej własnej planety, Ziemi. Aby uzyskać bezsilnikowe przyspieszenie statku, Cassini przeleciał bardzo blisko Ziemi, dokładnie na wysokości 1171 km, a więc w odległości równej ułamkowi promienia Ziemi, mianowicie 0,173, osiągniętej o godzinie 3:28 czasu uniwersalnego mierzonego na zerowym południku, który przechodzi przez Królewskie Obserwatorium Astronomiczne w Greenwich w Anglii. Statek kosmiczny widać było wówczas gołym okiem z małych wysp na Południowym Pacyfiku, a fotografia jego toru poprzez ziemskie niebo została wykonana przez Gordona Garradda z Australii i każdy posiadacz komputera może ją obejrzeć w internecie.

W dzień manewru przyspieszającego, 18 sierpnia br., trajektoria Cassiniego została zakrzywiona w pobliżu Ziemi, do jego prędkości względem Słońca doszło dodatkowe 5,5 km/s. Obawy o spalenie w ziemskiej atmosferze okazały się bezpodstawne. Jak dotąd wszystko postępuje według planu, jak w szwajcarskim zegarku. Ów historyczny moment uczczono lampką wina (i ja tam byłem…) w Laboratorium Napędu Odrzutowego, czyli Jet Propulsion Laboratory, które jest częścią najbardziej elitarnej uczelni technicznej w Stanach, California Institute of Technology, mieszczącym się w Pasadenie, przedmieściu Los Angeles.

W ciągu siedmioletniej podróży do Saturna statek Cassini wykona cztery takie manewry przyspieszenia grawitacyjnego, wykorzystując „efekt procy", jaki ma miejsce ilekroć trajektoria statku, lecącego z wyłączonymi silnikami, ulega zakrzywieniu w pobliżu obiektu o znacznej masie. Już trzy takie manewry Cassini ma za sobą. Następny tego rodzaju manewr został wykonany w pobliżu Jowisza 30 grudnia roku 2000, ale w dość znacznej odległości od tej ogromnej planety, tak aby zsynchronizować przybycie do celu zgodnie z wyznaczonym przez komputer harmonogramem obliczonym według ścisłych reguł Mechaniki Orbitalnej. W sumie, te cztery manewry przyspieszające zaoszczędzają silnikom pomocniczym Cassiniego 75 ton paliwa (to nie bagatela!). Co prawda, podróż trwa wówczas dłużej, lecz oszczędność jest ewidentna.

Statek utrzymuje stałą łączność z Ziemią za pomocą sygnałów radiowch przechwytywanych przez trzy anteny, jedna umieszczona w Canberra w Australii, druga w Goldstone w Kalifornii oraz trzecia w Madrycie, w Hiszpanii. Takie rozłożenie anten zapewnia stałą łączność radiową z Ziemią. Łączność ta stanie się szczególnie istotna, kiedy statek dotrze już w pobliże Saturna i „zaparkuje" na orbicie eliptycznej przenikającej pierścienie Saturna. Wówczas sygnał nadany ze statku Cassini w kierunku Ziemi z szybkością 300 000 km/s potrzebuje na dotarcie do niej od 68 minut do 84 minut (w jedną tylko stronę), w zależności od punktu położenia statku na orbicie parkingowej wokół Saturna. Oznacza to, że w przypadku awarii, lub też jakiejkolwiek sytuacji wymagającej interwencji centrali dowodzenia statkiem w Pasadenie, upłynie około trzech godzin, zanim sygnał-odpowiedź dotrze do komputera pokładowego statku.

Łączność radiowa między centralą dowodzenia a statkiem trwa bezustannie w czasie siedmioletniej podróży i trwać jeszcze będzie przez następne cztery lata, potrzebne dla zebrania danych z powierzchni Tytana i Saturna. Potem moc elektrowni pokładowej Cassiniego zmaleje tak bardzo, że statek nie będzie już w stanie nadawać ani przyjmować sygnałów z Ziemi. Ciekawostką jest zastosowanie naturalnego rozpadu promieniotwórczego izotopu plutonu 238 jako źródła energii zasilania nadajnika Cassiniego. Wbrew wielu pogłoskom nie jest to reaktor jądrowy, lecz raczej tradycyjna elektrownia, w której radioaktywny pluton jest źródłem ciepła.

Na zakończenie kilka słów o podróżach naziemnych, wykonywanych przez autora niewielkim samochodem produkcji amerykańskiej „Saturn", rocznik 1996. Samochód ten daje przeciętnie 40 mil z galona, a zatem całe 70 tysięcy mil, jakie dotąd przebył, kosztowało nie więcej niż 2 275 dolarów, licząc tylko koszt paliwa (średnio dolar i trzydzieści centów za galon). Daje to koszt jednostkowy około trzy centy za milę. Jeśli jednak dodać koszt zakupu wehikułu, około 14 000$, oraz policzyć tzw. amortyzację w sumie około dwóch tysięcy dolarów na rok, pełny koszt wszystkich podróży w ostatnich trzech latach wyniesie 22 275$ – co daje 32 centy za każdą przebytą milę (lub też 20 centów za kilometr). Jest to więc koszt 6,65 razy mniejszy niż koszt przebycia jednego kilometra statkiem kosmicznym Cassini. Różnica polega na tym, że – po pierwsze – mój srebrny Saturn stoi przed domem, tak więc nie muszę przemierzać miliardów kilometrów aby do niego się dostać, a po drugie, ten sympatyczny wehikuł nie odbywa podróży kosmicznych.
A jednak ów skromny Saturn posiada swój własny komputer na pokładzie, nieomal jak Cassini.

Manewr Hohmanna, czyli umieszczenie satelity na orbicie geostacjonarnej

Wiesław Mroszczyk

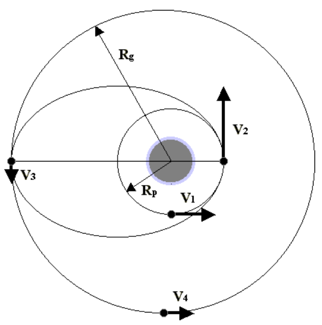
II LO im. Jana III Sobieskiego w Krakowie

Urządzenia telekomunikacyjne umieszcza się na orbicie geostacjonarnej. Satelita umieszczony na takiej orbicie porusza się w płaszczyźnie równika i okrąża Ziemię w tym samym czasie, w jakim nasza planeta obraca się wokół własnej osi. Dzięki temu pozostaje on przez cały czas „zawieszony” nad tym samym punktem równika, czyli w położeniu stacjonarnym względem powierzchni Ziemi.

Umieszczanie satelity na orbicie geostacjonarnej zwykle odbywa się w dwóch etapach. Najpierw umieszcza się satelitę poza zasięgiem atmosfery na tzw. kołowej orbicie parkującej, której promień R_p jest niewiele większy od promienia Ziemi (R_z = 6370 km). Następnie przenosi się satelitę z orbity parkującej na kołową orbitę geostacjonarną o promieniu R_g. Odbywa się to po tzw. orbicie Hohmanna*, dzięki czemu manewr jest najbardziej ekonomiczny. Orbita ta jest elipsą, w ognisku której znajduje się środek Ziemi. Ruch satelity po elipsie jest zatem ruchem swobodnym (bez udziału silników). Orbita Hohmanna jest styczna zarówno do orbity parkującej (od zewnątrz) jak i do orbity geostacjonarnej (od wewnątrz).

Aby sputnik przeniósł się z orbity parkującej na orbitę Hohmanna musi włączyć silniki rakietowe w celu zwiększenia swojej prędkości (stycznej do obu orbit) z wartości v_1 do wartości v_2. Podczas ruchu po elipsie szybkość satelity maleje osiągając w apogeum (najdalszym punkcie od środka Ziemi) wartość v_3 mniejszą od v_2. Chcąc utrzymać sputnik na orbicie geostacjonarnej należy ponownie włączyć silniki i zwiększyć jego szybkość do v_4.

Naszym zadaniem jest znalezienie promienia R_g orbity geostacjonarnej, prędkości v_1 na orbicie parkującej, prędkości v_2 i v_3 na orbicie Hohmanna oraz prędkości v_4 na orbicie geostacjonarnej. Obliczenie mimośrodu e elipsy pozwoli nam uzyskać informację o spłaszczeniu orbity Hohmanna. Rozważymy przypadek, gdy R_p = 6670 km.



Rozwiązanie zadania rozpoczniemy od sporządzenia rysunku.

Do dalszych rozważań wprowadzamy następujące oznaczenia:

M – masa Ziemi,
G – stała grawitacji,
m – masa satelity,
g – wartość przyspieszenia ziemskiego.

Dla kołowej orbity parkującej siła grawitacji spełnia rolę siły dośrodkowej:

$$G\frac{Mm}{R_p^2}=\frac{mv_1^2}{R_p}, \qquad \text{a więc} \qquad v_1=\sqrt{\frac{GM}{R_p}}\ ; \qquad (1)$$

GM obliczymy i wstawimy do wzoru (1) korzystając ze związku:

$$mg=G\frac{Mm}{R_z^2}, \qquad \text{skąd} \qquad Gm=gR_z^2\ . \qquad (2)$$

W konsekwencji po podstawieniu (2) do (1) otrzymujemy

$$v_1=R_z\sqrt{\frac{g}{R_p}}\ . \qquad (3)$$

Podstawienie odpowiednich wartości do otrzymanego wzoru prowadzi do wyniku

$$v_1=6370\cdot 10^3\,\mathrm{m}\cdot\sqrt{\frac{9{,}81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{6670\cdot 10^3\,\mathrm{m}}}=7725{,}22\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\ .$$

Szybkość satelity krążącego po orbicie geostacjonarnej wyraża się analogicznie do (3)

$$v_4=R_z\sqrt{\frac{g}{R_g}}\ , \qquad (4)$$

W celu obliczenia R_g zauważamy, że okres obiegu satelity geostacjonarnego T = 23 h 56 min, a więc jego szybkość możemy wyrazić następująco:

$$v_4=\frac{2\pi R_g}{T}\ . \qquad (5)$$

Porównując stronami równania (4) i (5) otrzymujemy

$$R_g=\sqrt[3]{\frac{gT^2R_z^2}{4\pi^2}}=g^{1/3}\left(\frac{TR_z}{2\pi}\right)^{2/3}\ .$$

$$R_g=\left(9{,}81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right)^{1/3}\left(\frac{86160\,\mathrm{s}\cdot 6{,}37\cdot 10^6\,\mathrm{m}}{2\cdot 3{,}14}\right)^{2/3}\approx 4{,}22\cdot 10^4\,\mathrm{km}\ .$$

Korzystając z zależności (4) obliczamy szybkość satelity na orbicie geostacjonarnej

$$v_4=6{,}37\cdot 10^6\,\mathrm{m}\cdot\sqrt{\frac{9{,}81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{4{,}22\cdot 10^7\,\mathrm{m}}}\approx 3070\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\ .$$

Szybkości v_2 i v_3 obliczymy z układu równań wynikających z zasad zachowania momentu pędu i energii mechanicznej, zastosowanych do ruchu po elipsie (w perygeum i apogeum):

$$v_2R_p=v_3R_g \qquad (6)$$

$$\frac{mv_2^2}{2}-\frac{GMm}{R_p}=\frac{mv_3^2}{2}-\frac{GMm}{R_g} \qquad (7)$$

Rozwiązując układ równań (6) i (7) otrzymujemy:

$$v_2=\sqrt{\frac{2GMR_g}{(R_p+R_g)R_p}}=R_z\sqrt{\frac{2gR_g}{(R_p+R_g)R_p}}\ ,$$

$$v_3=\frac{R_p}{R_g}v_2=R_z\sqrt{\frac{2gR_p}{(R_p+R_g)R_g}}\ .$$

Obliczenia prowadzą do następujących wyników

$$v_2=6{,}37\cdot 10^6\text{m}\cdot\sqrt{\frac{2\cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot 4{,}22\cdot 10^7\text{m}}{(6{,}67\cdot 10^6\text{m}+4{,}22\cdot 10^7\text{m})\cdot 6{,}67\cdot 10^6\text{m}}}\approx 10153\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_3=6{,}37\cdot 10^6\text{m}\cdot\sqrt{\frac{2\cdot 9{,}81\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot 6{,}67\cdot 10^6\text{m}}{(6{,}67\cdot 10^6\text{m}+4{,}22\cdot 10^7\text{m})\cdot 4{,}22\cdot 10^7\text{m}}}\approx 1605\frac{\text{m}}{\text{s}}\ .$$

Aby zdać sobie sprawę ze spłaszczenia orbity Hohmanna wyliczymy mimośród elipsy ze wzoru:

$$e=\frac{R_g-R_p}{R_g+R_p}=0{,}727\ .$$

Taka wartość mimośrodu świadczy o dużym spłaszczeniu elipsy (dla *e = 0* orbita ma kształt okręgu).

Przedstawione obliczenia dotyczą sytuacji, w której nie uwzględnia się oddziaływania grawitacyjnego z innymi planetami. W rzeczywistości zagadnienie jest o wiele bardziej skomplikowane i wymaga użycia zaawansowanych metod obliczeniowych.

---

* **Hohmann Walter (1880-1943)**, niemiecki matematyk i mechanik, pionier astronautyki, jeden z twórców astrodynamiki (teorii ruchów sztucznych obiektów kosmicznych). W 1904 ukończył politechnikę w Monachium. Od 1914 zajmował się teorią lotów międzyplanetarnych. Wyniki obliczeń orbit obiektów międzyplanetarnych zawarł w pracy *Osiągalność ciał niebieskich* (1925), wprowadzając koncepcje orbit Hohmanna (elips przejściowych Hohmanna).

Otrzymywanie i badanie własności elektrycznych monokrystalicznych ciał stałych

J.M. Honig

Department of Chemistry, Purdue University

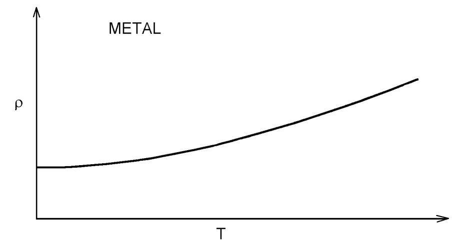
Referat wygłoszony dla uczniów – uczestników Przedszkola Fizyki i uczestników Szkoły Fizyki Teoretycznej w Zakopanem w czerwcu 2000 roku.

W poprzedniej części zapoznaliśmy się z metodami otrzymywania kryształów. Obecnie omówimy, jakie informacje otrzymamy mierząc ich opór elektryczny. Wprowadzimy pojęcie izolatora, półprzewodnika i metalu. Zwrócimy uwagę, że możliwe jest przejście od stanu izolatora do stanu metalicznego.

Z konieczności omówimy tę kwestię bez posługiwania się matematyką. Pełne wyjaśnienie istotnych tu zjawisk fizycznych wymaga opisu matematycznego mechaniki kwantowej. Jednakże, przyjęcie kilku nowych pojęć, takich jak dozwolone pasma energetyczne, energia Fermiego i pojęcia przerwy wzbronionej między tymi pasmami pozwala na obrazowe przedstawienie problemów związanych z przewodnictwem elektrycznym kryształów.

Część II
Opór elektryczny metali i półprzewodników oraz przejście półprzewodnik–metal

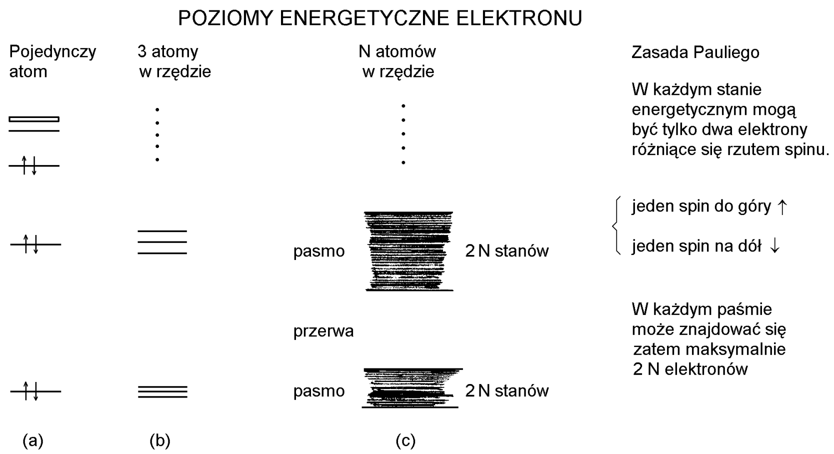
Na rysunku 6 przedstawiony został przykładowy przebieg zależności oporu właściwego typowego metalu od temperatury. Opór właściwy w temperaturze bliskiej 0 K jest bardzo mały, rzędu 1μΩcm. Rośnie on natomiast przy wzroście temperatury. Zjawisko to można wytłumaczyć na podstawie diagramu dozwolonych poziomów energetycznych elektronów w atomach, molekułach i ciałach stałych, przedstawionego na rysunku 7. Jak to przedstawiono na diagramie (a) dozwolone poziomy energetyczne elektronów w izolowanym atomie mają rozkład dyskretny. Tak więc elektrony nie mogą przyjmować dowolnych wartości energii, ale tylko takie, które odpowiadają przedstawionym na diagramie dozwolonym poziomom. Energie o wartościach odpowiadających obszarom znajdującym się pomiędzy dozwolonymi poziomami są dla elektronów zabronione. Gdy atomy związane zostaną na przykład w liniowy periodyczny łańcuch lub w sieć krystaliczną, poziomy odpowiadające tym samym wartościom energii elektronów w różnych atomach ulegają wzajemnemu rozszczepieniu z powodu oddziaływań pomiędzy elektronami i różnymi atomami. Widoczne jest to już na diagramie (b) dla kilku atomów.



Rys. 6 Typowa zależność oporu elektrycznego metalu od temperatury

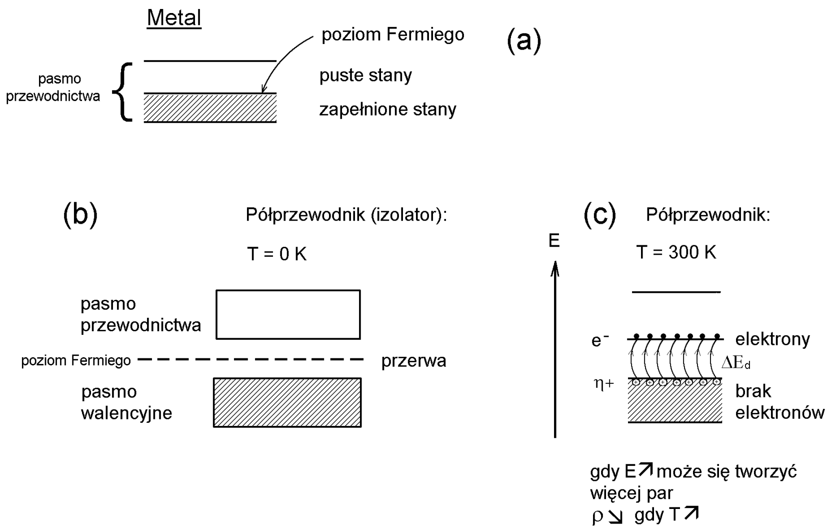
Gdy liczba atomów łączących się w kryształ jest bardzo duża poziomy o tych samych wartościach energii elektronów w różnych atomach również ulegają rozszczepieniu, ale ze względu na dużą liczbę atomów przerwy pomiędzy rozszczepionymi poziomami są bardzo małe. Innymi słowy, poziomy te tworzą gęsty zbiór, zawarty w określonym przedziale energii, który nazywamy pasmem energetycznym (ze względu na niewielkie różnice energii pomiędzy dwoma najbliższymi, poziomami – porównaj diagram (c) na rysunku 7). Różnice energii pomiędzy dwoma stanami w paśmie są dla ciał makroskopowych ($N \sim 10^{23}$ atomów) niemierzalnie małe i dla celów praktycznych można je przybliżyć przez rozkład ciągły. Jak widać na rysunku, pasma odpowiadające różnym poziomom energetycznym elektronów w atomach są oddzielone od siebie obszarem energii, które są dla elektronów zabronione. W rzeczywistości pasma dozwolonych energii mają zwykle bardziej skomplikowaną strukturę i mogą na przykład na siebie zachodzić, ale takie sytuacje nie będą tu omawiane. Obszary energii zabronionych nazywane są przerwami energetycznymi (patrz diagram (7c)). Strukturę pasm energetycznych można otrzymać w wyniku sprowadzenia problemu wieloelektronowego do zagadnienia rozwiązania równania Schrödingera, podstawowego równania mechaniki kwantowej dla pojedynczego elektronu poruszającego się w krysztale.

Rozmieszczeniem elektronów na poszczególnych poziomach w pasmach energetycznych rządzi pewna ogólna kwantowa zasada zwana zakazem Pauliego (lub zakazem Pauliego). Otóż, każdy pojedynczy poziom energetyczny, niezależnie od tego, czy rozważamy poziomy w izolowanym atomie, czy też w paśmie, może być zajęty przez co najwyżej dwa elektrony, przy czym muszą mieć one różne wartości kwantowej, magnetycznej liczby spinowej (umownie mówimy, iż muszą one mieć przeciwnie zwrócone spiny, czyli iż jeden z nich musi mieć spin zwrócony „w górę”, a drugi musi mieć spin zwrócony „w dół”, jak na diagramie (a)). Z tego też powodu, dla sieci krystalicznej utworzonej z N atomów, z których każdy ma tylko po jednym elektronie, tylko połowa pasma (począwszy od najniższego poziomu) jest wypełniona elektronami (N/2 z N wszystkich poziomów), zaś pozostałe poziomy pasma są wolne. Po przyłożeniu pola elektrycznego, elektrony z najwyższych zajętych poziomów (z poziomów znajdujących się blisko tak zwanego poziomu Fermiego) mogą zaabsorbować energię od pola i przejść do wyższego, niezapełnionego poziomu energetycznego – elektrony te mogą się w ten sposób poruszać poprzez materiał, z którego zbudowany jest kryształ. Jednakże w takim przypadku muszą być niezapełnione stany dowolne tuż powyżej zapełnionych stanów (a nie przerwa!). Materiał staje się wtedy przewodnikiem prądu elektrycznego (metalem). Metal jest zatem z punktu widzenia elektronowego układem o częściowo wypełnionym paśmie i jest scharakteryzowany m.in. przez energię najwyżej obsadzonego poziomu w tym paśmie, zwanej energią (lub poziomem) Fermiego (por. Rys. 8a). Ruch elektronów jest jednak zaburzany przez ich zderzenia z drgającymi termicznie jonami tworzącymi sieć krystaliczną. Proces ten powoduje zmniejszenie średniej prędkości poruszających się po sieci krystalicznej elektronów, skąd wynika, iż metale mają pewną, określoną oporność właściwą w zadanej temperaturze. W miarę wzrostu temperatury drgania atomów wokół ich położeń równowagi w węzłach sieci krystalicznej stają się coraz bardziej intensywne, co z kolei sprawia, iż ich zderzenia z elektronami stają się coraz bardziej prawdopodobne, a zatem i średnia prędkość transportu elektronów maleje. Nic zatem dziwnego, że oporność właściwa metali wzrasta wraz ze wzrostem temperatury, co wyraźnie widać na rysunku 6.



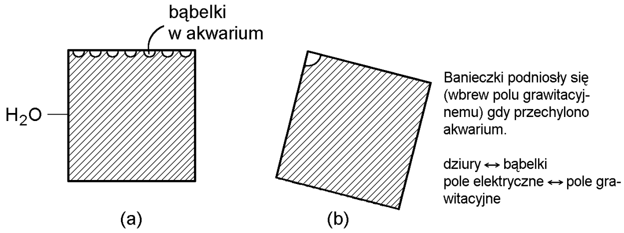
Rys.7 (a) dyskretne poziomy energetyczne dla elektronu w izolowanym atomie; (b) poziomy dla układu trzech atomów; (c) prawie ciągły rozkład poziomów energetycznych dla N atomów w sieci krystalicznej

Rozważmy teraz przypadek sieci krystalicznej, złożonej z N atomów, z których każdy ma po dwa elektrony, a nie po jednym, jak poprzednio. Mamy zatem 2N elektronów w naszym układzie. Wypełniają one wszystkie dozwolone poziomy energetyczne w jednym paśmie. Sytuację tę ilustruje rysunek 8(b). Przyłożenie słabego pola elektrycznego do takiego kryształu niczego nie zmienia. Zaabsorbowanie bowiem energii od pola elektrycznego musiałoby przenieść elektron z poziomu bliskiego poziomowi Fermiego do strefy energii wzbronionych. Taki proces nie zachodzi. Materiał tworzący taki kryształ jest teraz izolatorem (w temperaturze T=0 K). Można pokazać, że w tym przypadku poziom Fermiego znajduje się w środku pasma zabronionego (nie jest obsadzony przez elektrony!)



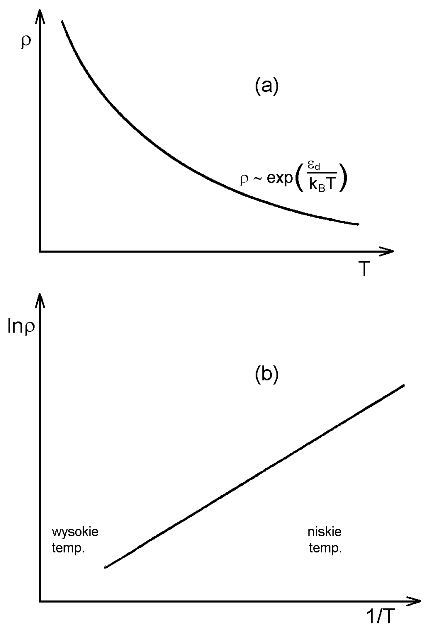
Rys. 8 Schematyczny układ pasm energetycznych dla metali i półprzewodników (izolatorów w temperaturze t = 0 K)

Gdy zwiększymy temperaturę kryształu, pewna liczba elektronów może zaabsorbować dostarczoną energię termiczną i przejść na jeden z najniższych poziomów następnego, dozwolonego pasma energetycznego, zwanego pasmem przewodnictwa (które w temperaturze 0 K było puste). Sytuację tę ilustruje rysunek 8(c). Elektrony te będą oddziaływać z przyłożonym polem elektrycznym dokładnie tak, jak opisaliśmy to wcześniej. Co więcej, wzbudzone termicznie do wyższego pasma elektrony zostawiają po sobie „dziury", które są po prostu ubytkiem ładunków ujemnych w morzu ujemnych elektronów. Ten brak ujemnych ładunków można interpretować jako pojawienie się ładunków dodatnich, jak to pokazano na rysunku 8(c). Te dodatnie ładunki również będą także oddziaływać z przyłożonym polem elektrycznym, ale ich ruch odbywać się będzie w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu elektronów. Można tu zarysować pewną analogię do akwarium z aparatem napowietrzającym wodę. Przy zwykłym położeniu akwarium banieczki powietrza zbierają się równomiernie na powierzchni wody, tak jak ilustruje to rysunek 9(a). Banieczki powietrza reprezentują tu „brak" wody w danym miejscu przy powierzchni (analogia z dziurami, powstałymi na skutek migracji elektronu). Po przechyleniu akwarium (przyłożeniu pola), banieczki poruszają w przeciwną stronę niż woda (w kierunku przeciwnym do kierunku działania sił grawitacyjnych) i zbierają się w najwyższym punkcie przy powierzchni wody w akwarium. Woda reprezentuje tu morze ujemnych elektronów, a banieczki powietrza dziury, powstałe na skutek wzbudzenia elektronów z poziomów zapełnionych. Oczywiście rusza się woda, ale wygodniej jest mówić o ruchach banieczek, bo nie trzeba rozważać wtedy ruchu całej wody! Podobnie ma się sprawa z dziurami po elektronach. W takim języku można uważać pozostałe elektrony w paśmie walencyjnym za nieruchome! Nota bene, dla bardziej zorientowanych w teorii czytelników można dodać, że taka koncepcja dziur i elektronów jest bardzo podobna do koncepcji dziur i elektronów Diraca!



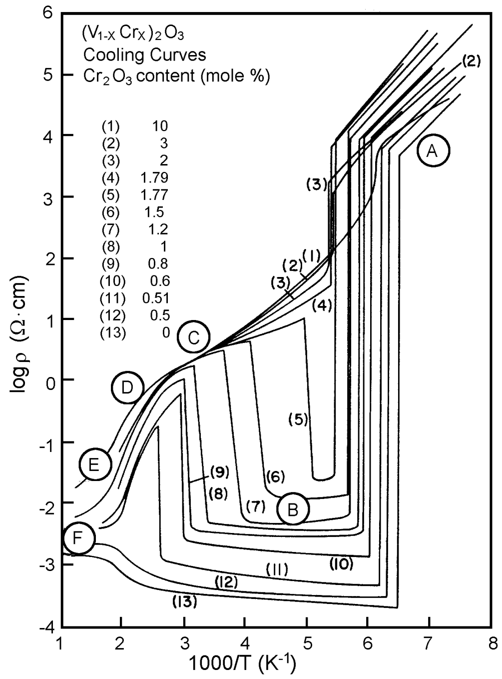
Rys. 9 Analogia ruchu dziur w paśmie do ruchu baniek powietrza w akwarium

Ze wzrostem temperatury coraz większa liczba elektronów jest wzbudzana poprzez przerwę energetyczną między pasmem walencyjnym a przewodnictwa, i co za tym idzie, powstaje coraz więcej dziur. Oba rodzaje nośników prądu (elektrony i dziury) w dalszym ciągu reagują na przyłożone pole elektryczne. Widzimy, że w tym przypadku, w miarę wzrostu temperatury zwiększa się liczba nośników prądu, a zatem oporność właściwa powinna maleć. I tak rzeczywiście jest, gdyż efekt wzrostu nośników jest silniejszy od ich spowalniania wskutek rozproszeń na drgających jonach. Ilustruje to rysunek 10(a). Zależność oporności właściwej od temperatury, taka jak na rysunku 10 (wykładnicza) jest typowa dla półprzewodników. Zgodnie ze standardową teorią, oporność właściwa powinna maleć ze wzrostem temperatury eksponencjalnie, z wykładnikiem równym E/T, gdzie T jest temperaturą bezwzględną, a E pewną charakterystyczną energią, równą w przybliżeniu połowie szerokości przerwy energetycznej pomiędzy dwoma sąsiednimi pasmami dozwolonych energii w krysztale. Zależność ta bierze się z prawa Arrheniusa, które mówi, że liczba wzbudzonych elektronów(do pasma przewodnictwa) wyraża się wzorem $\rho \sim e^{(\varepsilon_d/k_B T)}$, gdzie $\varepsilon_d = E/2$ jest energią aktywacji elektronu do pasma przewodnictwa a k_B stałą Bolzmana. Zatem po narysowaniu wykresu zależności logarytmu naturalnego oporności właściwej ln(ρ) w funkcji odwrotności temperatury 1/T, otrzymamy w tym przypadku linię prostą, której tangens kąta nachylenia będzie równy ε_d. Ilustruje to rysunek 10(b).



Rys. 10 Schematyczne wykresy zależności dla półprzewodników oporu właściwego ρ od temperatury T (a) oraz zależności lnρ od T^{-1}

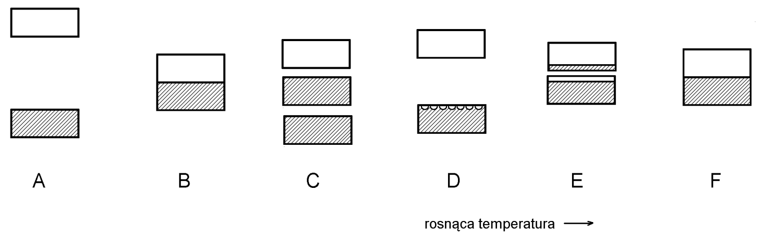
Artykuł ten zakończymy ciekawym przykładem przedstawiającym charakterystykę oporności właściwej trójtlenku wanadu (V_2O_3), zawierającego domieszki chromu (Cr), na poziomie nie przekraczającym 10% molowych (krzywe (1)–(13) na Rys. 11. Na tym rysunku przedstawiony jest wykres zależności logarytmu oporności właściwej dla tego materiału w funkcji odwrotności temperatury (dokładniej 1000/T). Analizując ten wykres, proszę pamiętać, iż temperatura rośnie na osi 1/T, gdy poruszamy się w kierunku punktu o współrzędnej równej 0 na tej osi. Jak widać na rysunku, w obszarze temperatur oznaczonym literą A, mamy prostoliniowy przebieg zależności ln(ρ) od 1/T, aż do momentu nagłego, prawie pionowego spadku wartości (logarytmu) oporności właściwej. Jak pokazaliśmy wcześniej, taki przebieg zależności ln(ρ) od 1/T jak w obszarze A jest charakterystyczny dla półprzewodników. Może zatem wnosić, iż w tym obszarze temperatur nasze próbki są półprzewodnikami. W obszarze temperatur oznaczonym na wykresie literą B, mamy prawie poziomy przebieg zależności ln(ρ) od 1/T, co wskazuje na słabą zależność oporności właściwej od temperatury. Jak pokazywaliśmy to wcześniej jest to cecha charakteryzująca metale (porównaj z rysunkiem 6 – skala logarytmiczna mocno spłaszcza przebieg krzywych). Nasze próbki są zatem w tym obszarze temperatur metalami.



Rys. 11 Zależność oporu właściwego ρ w skali logarytmicznej od odwrotności temperatury (1000/T) dla trójtlenku wanadu domieszkowanego chromem $(V_{1-x}Cr_x)_2O_3$. Zauważmy spadek oporu w temperaturze T≈150–170 K o osiem rzędów wielkości (prawie sto milionów razy!)

Na rysunku 11 widoczna jest także nagła zmiana wartości oporności właściwej (dla dwóch temperatur, dla próbek o numerach od (5) do(13), które wskazują na nagłe przejście pomiędzy stanem półprzewodnika i stanem metalicznym, a następnie przejście przy dalszym grzaniu układu do T~350 K) z powrotem do stanu półprzewodnika. Dalszy wzrost temperatury powoduje ponowną (powolną tym razem) transformację próbek do stanu metalicznego.

Zjawisko to można jakościowo wyjaśnić na podstawie diagramów energetycznych narysowanych na rysunku 12. W obszarze temperatur najniższych (obszar A) materiał jest półprzewodnikiem (okazuje się, że jest to tzw. półprzewodnik magnetyczny, ale nie będziemy się tym tutaj zajmować).W obszarze temperatur oznaczonym literą B próbki są metalami, gdyż tylko połowa dozwolonego pasma energetycznego jest wypełniona elektronami (Rys.12 B). W miarę wzrostu temperatury poza granicę obszaru B ($T>T_B$ gdzie T_B oznacza umownie temperaturę jaką ma układ znajdujący się w stanie odpowiadającym rysunkowi 12 B) oporność właściwa nagle wzrasta, ponieważ pasmo zostaje rozdzielone z powrotem na dwa odrębne pasma oddzielone od siebie przerwą energetyczną (obszarem energii wzbronionych). Ilustruje to rysunek 12 C.



Rys. 12 Schematyczna ilustracja zmian temperaturowych układu pasm energetycznych w materiałach, w których obserwuje się przejścia metal–półprzewodnik

W najniższych temperaturach układ jest półprzewodnikiem o wielkości przerwy rzędu 1,2eV»K_BT. Drastyczna zmiana przy przejściu do stanu metalicznego w obszarze temperatur T ~ 150–170 K musi być zatem spowodowany zniknięciem przerwy i nałożeniem się tych rozdzielonych pasm, jak to przedstawiono na rysunku B. Ponowne rozdzielenie się tych pasm (ale na mniejszą odległość) następuje przy przejściu odwrotnym w przedziale temperatur T ~ 300–350 K. Oczywiście teraz, przy podwyższonej temperaturze, pewna liczba elektronów będzie wzbudzona termicznie do pasma przewodnictwa, co zaznaczono na rysunku D. Przy dalszym wzroście temperatury liczba wzbudzonych elektronów będzie duża (Rys. E), aż nastąpi stopniowe zamknięcie przerwy (Rys. F).

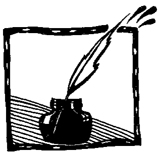
W sposób oczywisty powstaje pytanie: Jak możliwe są takie przesunięcia z rosnącą temperaturą układu kwantowych poziomów energetycznych (układu pasm)? Jest to tym dziwniejsze, jeśli zauważymy, że energia przerwy jest ε_d=1 eV, co jest równoważne temperaturze $T_d = \varepsilon_d/k_B \cong 11600$ K, natomiast energia szumów termicznych w temperaturze T = 200 K wynosi $k_BT \approx 17$ milielektronowoltów! Jak zatem taki słaby czynnik pobudzający elektrony może spowodować tak silną przebudowę struktury elektronowej? Wytłumaczenie takiej sekwencji przejść w sposób mikroskopowy nie jest łatwe i stanowiło przedmiot wieloletniej współpracy polsko-amerykańskiej (J. Spałek, UJ – J.M. Honig, Purdue). Widać jednak jasno z tego przykładu, że materiały typu domieszkowanego i czystego trójtlenku wanadu są półprzewodnikami w jednym przedziale temperatur (np. w niskich) i metalami w innym. Są to tzw. izolatory (półprzewodniki) typu Motta. Nazwane tak zostały od nazwiska nieżyjącego już fizyka angielskiego, który pierwszy wpadł na pomysł, jak takie półprzewodniki scharakteryzować. Za te badania N.F. Mott otrzymał zresztą Nagrodę Nobla w 1978 r.

Podsumowanie

Należy zaznaczyć, iż w niniejszym artykule przedstawiona została jedynie krótka, jakościowa dyskusja niektórych własności elektrycznych, których badanie możliwe jest dzięki umiejętności wyprodukowania odpowiednich monokryształów. Interpretacja fizyczna opisywanych tutaj zjawisk z konieczności, ograniczona została do najbardziej elementarnych, jakościowych rozważań. Pełna analiza tych zjawisk wymaga bowiem zastosowania bardziej zaawansowanych metod fizyki teoretycznej. Analiza taka nie była jednak celem niniejszego artykułu. Podany przykład przejścia półprzewodnik–metal świadczy, że proponowany podział ciał stałych na metale, półprzewodniki i izolatory nie jest podziałem ostatecznym ze względu na przejścia izolator (półprzewodnik)–metal występujące w takich materiałach jak trójtlenek wanadu domieszkowany chromem czy dwusiarczek niklu domieszkowany selenem.

Tłumaczył: Robert Podsiadły, IF UJ

Redakcja *Fotonu* dziękuje J. Spałkowi, S. Wróblowi i K. Durczewskiemu za pomoc w redakcji artykułu.



Wakacje na uniwersytecie Purdue

Leszek Spałek

II rok fizyki medycznej UJ, Kraków

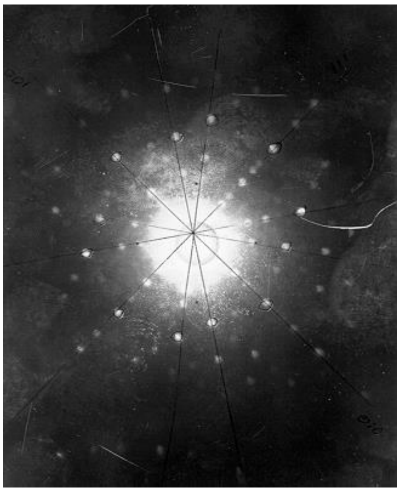
W zeszłym roku w lecie spędziłem dwa i pół miesiąca na uniwersytecie Purdue, w West Lafayette w stanie Indiana (USA). W czasie pobytu, oprócz uczęszczania na wybrane wykłady, pracowałem w laboratorium, gdzie nauczyłem się hodować monokryształy i określać ich strukturę.

Uniwersytet stanowy Purdue (nazwa pochodzi od nazwiska właściciela ziemi podarowanej pod budynek przyszłego uniwersytetu) został założony w 1869 r. Wchodzi on w skład grupy uniwersytetów na Środkowym Zachodzie (Midwest), którą przyjęło się nazywać „Big Ten" (pomimo, tego, że aktualnie stanowi ją jedenaście uniwersytetów), która to nazwa kojarzy się raczej z nazwą jednej z lig uniwersyteckich koszykówki. Jest to jeden z lepszych uniwersytetów amerykańskich, znany przede wszystkim ze świetnej katedry astronautyki (absolwentem jej jest m.in. Neil Amstrong) oraz kierunków inżynierskich. Tak jak większość uniwersytetów amerykańskich nadających magisteria i doktoraty, (tzw. graduate institutions) jest bardzo dobrze zorganizowany, a kampus uniwersytecki jest miastem samym w sobie liczącym ok. 38 tys. studentów i doktorantów (plus około ponad 5 tys. kadry naukowej i obsługi technicznej). W odróżnieniu od wrażeń opisanych przez mego kolegę w ostatnim *Fotonie* o uniwersytecie rzymskim, moje wrażenia co do porządku i organizacji są jak najlepsze. Najbliższymi dużymi miastami są Chicago (ok. 180 km na północny - zachód) oraz Indianapolis – stolica stanu (ok. 100 km na południowy – wschód). Podobnie jak sąsiednie uniwersytety – Indiana State University i University of Illinois at Urbana-Champaign – odległe ok. 120 km, uniwerstytet Purdue znajduje się w środku pól kukurydzy i soji. Wpływa to bardzo dobrze na koncentrację nad nauką i pracą naukową. Mówi się, że liczba krów w Indianie przekracza liczbę mieszkańców (ok. 4,5 mln mieszkańców i ok. 1/3 terytorium Polski). Legenda mówi, iż w Indianie nie zmienia się czasu na letni czy zimowy, bo krowom nie sprawia to różnicy. Miasteczko West Lafayette liczy ok. 10 tys. stałych mieszkańców oraz prawie 4 razy tyle studentów.

Pracowałem w katedrze fizyki w laboratorium badań materiałów (Materials Research Lab), pod opieką pani Patty Metcalf, majora Gwardii Narodowej w służbie czynnej. Atmosfera w pracy była bardzo przyjemna, a moja opiekunka jest dobrym fachowcem w tej dziedzinie. Zajmowałem się hodowlą monokryształów tlenku niobu (NbO), metalu, który staje się nadprzewodnikiem w temperaturze ok. 1,5 K. Opór elektryczny tego materiału zależy liniowo od temperatury w przedziale temperatur od około 30 K do 1000 K. Ma być zatem użyty do testowania pewnych teorii stanów elektronowych w kryształach. Zagadnienie to będzie przedmiotem badań w innym zespole.

Aparatura do hodowli tych kryształów została wykonana pod kierunkiem prof. J.M. Honiga (patrz artykuł tego autora w *Fotonie* Nr 72, str. 15- 21 (2001)) i przedstawia zmodyfikowaną przez T.B. Reeda metodę Czochralskiego. Polega ona, jak wiemy, na wyciąganiu stopionego materiału z tygla za pomocą wirującego pręta chłodzonego wodą, na którym zaczyna narastać kryształ. Proces wzrostu monokryształu zajmuje 20–30 minut, ale wymaga pewnej zręczności w dopasowaniu szybkości wyciągania pręta, jego prędkości obrotowej i przyłożonego napięcia do trzech elektrod stapiających materiał (jego temperatura topnienia wynosi 2210 K). Przygotowanie aparatury do produkcji kryształów (pompy wodnej, uszczelek, ostrzenia elektrod, itp.) zajmuje znacznie więcej czasu. Po zaznajomieniu mnie z zasadami posługiwania się aparaturą cały projekt wykonywałem samodzielnie; po kilku dniach otrzymałem pierwsze monokryształy. Nie obyło się bez przygód; wystąpiła bowiem awaria uszczelki w jednym z trzech systemów chłodzenia, co skończyło się niezłym prysznicem dla mnie i dla ścian laboratorium. Po wymianie uszczelek (i uprzednim rozkręceniu części aparatury) dalsze prace przebiegały już w bardziej suchej atmosferze. Jak stwierdziła moja opiekunka, otrzymałem kryształy w rekordowym czasie (pracowałem nad nimi ok. 3 tygodni). Polak potrafi!

Otrzymane kryształy trzeba było następnie pociąć wzdłuż domniemanych (i widocznych czasami gołym okiem) płaszczyzn krystalicznych i wyszlifować. Dla tak przygotowanych próbek wykonaliśmy z panią Patty badanie struktury metoda dyfrakcji rentgenowskiej. Następnie szlifowałem próbki w oparciu o już uzyskane informacje, by wykonać zdjęcia dyfrekcyjne metodą Lauego w celu ustalenia orientacji krystalograficznej próbki. Rys. 1 przedstawia rentgenogram jednej z otrzymanych przeze mnie próbek NbO promieni odbitych od płaszczyzny <110> (zob. artykuł S. Wróbla w Fotonie Nr 72, str. 8–14 (2001)) tak zorientowanego kryształu. Widać piękną symetrię sześciokrotną kryształu kubicznego. Było dla mnie zadziwiającym doświadczeniem, że tak piękną strukturę atomów można uzyskać stosując tak proste metody hodowlane.



Rentgenogram próbki tlenku niobu (NbO) uzyskany metodą Lauego. Widoczna jest symetria pięciokrotna.Kryształ zorientowany jest w płaszczyźnie <110>.

Ta letnia praktyka była dla mnie bardzo pouczająca i dała mi dużo satysfakcji. Przede wszystkim dlatego, że wszystkie prace wykonałem samodzielnie. Wydaje mi się, że studenci powinni mieć możliwość samodzielnego eksperymentowania i podejmowania jak najwcześniej pracy twórczej.

Jan Czochralski – wybitny metaloznawca

Paweł Tomaszewski

Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN
Wrocław

Profesor Jan Czochralski (1885-1953), wybitny chemik, metaloznawca i wynalazca, jest postacią wzbudzającą nadal wiele emocji zarówno w kraju jak i poza jego granicami. Emocje te nie pozwalają spojrzeć spokojnie na jego życie i dorobek.

Był niewątpliwie człowiekiem niepospolitym o szerokich zainteresowaniach naukowych i pozanaukowych, zarazem technikiem i humanistą. Jego obszerny dorobek naukowy (około stu publikacji) i literacki (m.in. wiersze) wymaga nadal głębszego zbadania i opracowania. Czochralski w pełni zasłużył na taką monografię.

Jan Czochralski żył i pracował w trudnym dla Polski i Polaków okresie zaborów, dwóch wojen światowych, II Rzeczpospolitej i czasów PRL. Należał do pokolenia, które musiało stawić czoła naporowi germanizacji i niebywałego wówczas rozwoju nauki i techniki. Młody Czochralski, syn wielkopolskich rzemieślników z dziada pradziada, podjął to wyzwanie.

Zgodnie z wolą ojca ukończył Seminarium Nauczycielskie w rodzinnej Kcyni (choć nie odebrał niemieckiego świadectwa maturalnego) i wzorem wielu rówieśników udał się na studia do Berlina – najbliższego Kcyni miasta uniwersyteckiego ówczesnych Prus (był przecież poddanym pruskim!). Ogromna pracowitość i upór pozwoliły mu, pomimo formalnego braku uprawnień do nauki, na (eksternistyczne?) studiowanie ukochanej chemii na Politechnice w Charlottenburgu (dziś – dzielnica Berlina). Podobno nie stronił od zajęć na Wydziale Sztuki Uniwersytetu, tam zresztą poznał swoją przyszłą żonę, Margueritę Haase, pianistkę pochodzącą z holenderskiej rodziny osiadłej w Berlinie.

Równocześnie pracował zawodowo, początkowo w aptece a później w laboratoriach kilku metalurgicznych zakładów przemysłowych na terenie obecnego Berlina. Czochralski śledził na bieżąco nowości i nowinki naukowe starając się je wykorzystać w pracach laboratoryjnych. W 1917 r. udało mu się wreszcie przekonać władze koncernu Metallbank und Metallurgische Gesellschaft A.G. we Frankfurcie nad Menem do przyjęcia propozycji utworzenia wielkiego, jak na owe czasy, laboratorium metaloznawczego. W wieku 32 lat został więc twórcą i kierownikiem jednego z najlepiej wyposażonych takich laboratoriów w Niemczech.

Rafinacja miedzi i aluminium, technologia produkcji blach i drutów aluminiowych, spawanie aluminium, tworzenie nowych stopów dla przemysłu elektrotechnicznego, maszynowego, samochodowego, kolejowego i zbrojeniowego oraz wszechstronne badanie ich własności fizykochemicznych stopów było głównym tematem zainteresowań „nadinżyniera” Czochralskiego. A były to wówczas prace pionierskie. Do rozwiązania wielu zagadnień trzeba było opracować nowe metody i przyrządy lub umieć znaleźć je wśród nowinek naukowych. Np. jako pierwszy wskazał na możliwości zastosowania dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego do badania własności materiałów, wymyślił „radiomikroskop", w którym można dziś dostrzec pierwowzór ... skaningowego mikroskopu tunelowego!

Oczywiście, dzisiaj Jan Czochralski znany jest przede wszystkim jako twórca metody używanej do otrzymywania monokryształów różnych substancji czyli tzw. metody Czochralskiego. Trzeba jednak pamiętać, że i tu zawistni „badacze", wbrew faktom i dokumentom, usiłują odebrać mu palmę pierwszeństwa na rzecz Amerykanów, którzy zastosowali tę metodę do hodowli półprzewodników. A przecież tuż po opracowaniu metody w 1916 r. (a więc w tym roku obchodzimy jej 85-lecie!) zauważono, że może być, i była, stosowana do hodowli kryształów metali a nie tylko – jak pierwotnie zakładał Czochralski – do pomiaru szybkości krystalizacji metali. Zresztą Czochralski sam sprawdził, że otrzymywane druty są monokryształami.

Jan Czochralski nie zapomniał o dalekiej Ojczyźnie. Nie wypierał się swojej polskości, więcej – zanim został wybrany przewodniczącym Niemieckiego Towarzystwa Metaloznawczego w 1925 r. uprzedził, że jest Polakiem. Choć dobrze mu się powodziło – wrócił w 1928 r. do Polski, bo tu był potrzebny ze swoją wiedzą, doświadczeniem i – co też ważne – majątkiem. Dobro dzieci też było istotnym argumentem. Nie przyjął więc intratnej propozycji Forda by objąć jego amerykańskie laboratorium przemysłowe. Czochralski był nie tylko bogatym człowiekiem (jako autor wielu patentów szeroko stosowanych w świecie – np. na stop do bezcynowych panewek do łożysk kolejowych) i cenionym na świecie inżynierem ale znanym w polonijnym środowisku Frankfurtu jako aktywny promotor polskich studentów i artystów. Wywiad wojskowy II Rzeczpospolitej potwierdził, że nie ma obaw, by powierzyć mu największe polskie tajemnice wojskowe (a nie zapominajmy, że prace Czochralskiego w koncernie frankfurckim były powiązane z zadaniami zleconymi przez armię niemiecką).

Na zaproszenie Prezydenta RP, prof. Ignacego Mościckiego (też wybitnego chemika!), Jan Czochralski po raz kolejny rozpoczął budowę – od zera – swojego warsztatu pracy. Tworzył nie tylko Instytut Metalurgii i Metaloznawstwa Politechniki Warszawskiej, ale także Dział Metalurgiczny w znanym Chemicznym Instytucie Badawczym. Przejął Instytut Badań Materiałów Uzbrojenia i wykonywał zadania zlecane przez wojsko. Warto podkreślić, że w maju 1939 r. znany fizyk prof. W. Gerlach (ten sam, który później kierował rabowaniem Instytutu Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w 1939 r.) uznał Instytut Czochralskiego za lepiej wyposażony od niejednej placówki niemieckiej. Własne zasoby finansowe Profesor wykorzystywał dla dobra Polski, inwestował w polski przemysł, przeznaczał na cele społeczne. M.in. pomagał studentom, artystom i literatom, wspomagał muzea i badania archeologiczne w Wielkopolsce. Salony jego domu znane były jako miejsce spotkań świata artystycznego Warszawy. Takie zresztą pozostały i podczas wojny nabierając nowego znaczenia – dawały pomoc i oparcie dla artystów, którzy znaleźli się w szczególnie trudnej sytuacji. To tam m.in. powstała zamówiona przez Czochralskiego seria rzeźb A. Karnego, w tym portrety gospodarza salonu. Aktywnie uczestniczył w działalności Polskiego Towarzystwa Chemicznego, Stowarzyszenia Mechaników Polskich, Stowarzyszenia Hutników Polskich. Jeszcze przed wojną usiłowano ukazać Jana Czochralskiego jako uzurpatora na katedrze Politechniki i wroga Państwa Polskiego. Relacje prasowe z procesów wygranych przez Profesora wskazują jednak na głębokie poczucie więzi z Narodem i służebną wobec Niego postawę wykazaną w wielu podjętych działaniach.

Szczególnym doświadczeniem dla Czochralskiego był okres okupacji niemieckiej. On, Polak i niegdysiejszy znany obywatel pruski, żonaty z Niemką, podlegał szczególnym naciskom ze strony Niemców, którzy chcieli w nim widzieć pośrednika między władzami okupacyjnymi a Polakami. Postawa Czochralskiego była jednoznaczna – współpracy nie podjął. Natomiast swoją znajomość Niemców wykorzystał inaczej. Utworzył (jak się dziś wydaje – za zgodą polskich władz zamkniętej Politechniki) usługowy Zakład Badań Materiałów stanowiący oparcie (zatrudnienie i „mocne" dokumenty) nie tylko dla pracowników Politechniki i ChIB, ale także wielu członków Armii Krajowej zatrudnionych fikcyjnie w Zakładzie. Eksperyment udał się i po paru miesiącach powstały kolejne podobne zakłady na bazie innych pracowni Uniwersytetu i Politechniki.

Po tzw. wyzwoleniu Czochralski został aresztowany pod zarzutem kolaboracji. Śledztwo nie tylko nie potwierdziło tych zarzutów, lecz wykazało, że pomagał wielu osobom, wydostawał z rąk Niemców aresztowanych Polaków. Decyzja Senatu Politechniki Warszawskiej z grudnia 1945 r. wykluczyła jednak prof. Jana Czochralskiego z życia naukowego i akademickiego. Rozgoryczony wrócił do rodzinnej Kcyni i tam założył firmę drogeryjną „Bion". Powrócił więc do pracy, od której zaczynał swoją karierę. Nadal jednak interesował się nauką – m.in. przetłumaczył z języka niemieckiego i uzupełnił swój cieszący się uznaniem podręcznik „Nowoczesne metaloznawstwo".

Skazany na społeczne zapomnienie, nawet pochowany został w bezimiennym grobie. Dopiero w 1998 r., 45 lat po śmierci, ufundowano tablicę nagrobną m.in. dzięki staraniom poznańskich fizyków. Był to jeden z etapów przywracania prof. Jana Czochralskiego świadomości społecznej Polaków. I choć pierwszy życiorys opracowano już w 1956 r. (prof. K. Gierdziejewski z Krakowa), to prace nad jego biografią na dobre zaczęły się dopiero w 1984 r. wraz z przygotowywaniem X Europejskiego Kongresu Krystalograficznego we Wrocławiu. Okazało się wówczas, jak silna jest nadal nienawiść do prof. Czochralskiego i sprzeciw wobec wszelkich objawów życzliwości wobec jego osoby. Dopiero w 1993 roku Senat Politechniki Warszawskiej uznał dorobek Czochralskiego za przynoszący zaszczyt uczelni i stanowiący integralną część jej dziedzictwa.

Na szczęście udało się już przełamać opory i hasło „Czochralski" trafiło do wielu encyklopedii (polskie wydawnictwo *Britannica*, najnowsza Wielka Encyklopedia PWN); opublikowano w kraju i zagranicą (także po japońsku!) sporo prac o Janie Czochralskim, organizowano sesje popularnonaukowe. Szczególnie ważna była sesja zorganizowana w 1998 r. W Warszawie m.in. przez Polską Akademię Nauk i Polskie Towarzystwo Fizyczne. Fundacja Rozwoju Badań Materiałowych ustanowiła Złoty Medal prof. Jana Czochralskiego – pierwszy przyznano w Krakowie w 2000 r. prof. P. Siffertowi, twórcy i przewodniczącemu Europejskiego Towarzystwa Materiałoznawczego. Duże znaczenie popularyzatorskie miał artykuł opublikowany w 1998 r. w Magazynie Gazety Wyborczej. Ale za największe osiągnięcie „zwolenników" Czochralskiego należy uznać nadanie w 1999 r. Szkole Podstawowej nr 2 w Kcyni imienia prof. Jana Czochralskiego. Imię Profesora nosi także Polskie Towarzystwo Wzrostu Kryształów.

Zainteresowanych postacią i dokonaniami Jana Czochralskiego zachęcam do korzystania z bogatych zbiorów archiwalnych; pragnę też polecić kilka pozycji literaturowych. Oto najważniejsze opracowania:

P. Cieśliński – *Uczony, którego nie ma* – Magazyn Gazety Wyborczej, nr 25, 19–20 VI 1998, str. 6–12; wersja internetowa pod adresem: http://rekt.pol.lublin.pl/users/ptwk/art1.htm

A. Pajączkowska – *W 115 rocznicę urodzin Jana Czochralskiego* – Postępy Fizyki, **51**(3), 146–148 (2000)

A. Pajączkowska – *Kalendarium wydarzeń w latach 1990-2000 dotyczących życia i działalności profesora Jana Czochralskiego* – Materiały Elektroniczne **28 (1/2)**, 60–66 (2000)

P.E. Tomaszewski – *Profesor Jan Czochralski (1885-1963) i jego wkład do krystalografii* – Wiadomości Chemiczne **41**, 597–634 (1987) [pełna biografia i bibliografia]

P.E. Tomaszewski – *Professor Jan Czochralski (1885-1953) and his contribution to the art. and science of crystal growth* – AACG [American Association for Crystal Growth] **27** (2), 12–18 (1998); wersja internetowa pod adresem: http://rekt.pol.lublin.pl/users/ptwk/art2.htm

P.E. Tomaszewski – *Jan Czochralski na nowo odkryty* – Prace ITME, nr 56, 7–16 (2000) [kalendarium].

Uwaga do artykułu G.M. Honiga (*Foton 72*)

Nie istnieje metoda Czochralskiego-Kyropoulosa. Obecnie nadal wyróżnia się dwie odrębne metody: Czochralskiego (z 1916 r.) i Kyropoulosa (z 1926 r.). Metody są istotnie różne – pierwsza polega na wyciąganiu kryształu ze stopu, w drugiej mamy wzrost monokryształu WEWNĄTRZ stopu (dlatego zarodek musi być chłodzony, by uzyskać wymagany do krystalizacji gradient temperatury). Istnieją techniki (a nie metody) wykorzystujące fragmenty obu metod.

(P.E. Tomaszewski)

CZYTAMY PO ANGIELSKU

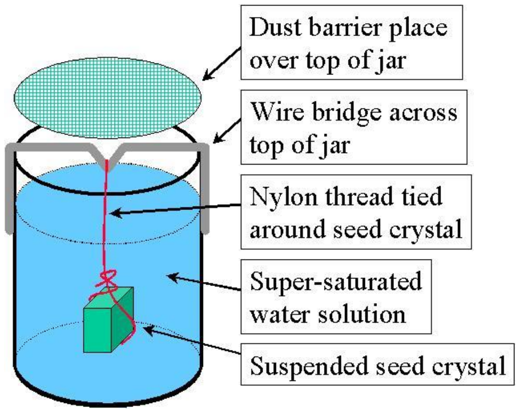
How To Grow Your Own Crystals

Dwight U. Bartholomew

z internetu – **http://www.geocities.com/dwibdwib/crystyals**

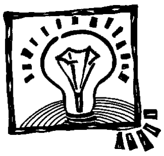
Growing crystals is a slow and careful process because the crystals grow by adding single layers of molecules. The crystal shape reflects the basic patterns by which the molecules of the crystal build up.

• Making a saturated solution
This is the bulked-up solution which, as water evaporates away, forms the crystal.
• Growing seed crystals
"From tiny acorns, mighty oaks grow." This saying goes for crystals, too. Crystals will spontaneously grow from a saturated solution but, in order to control the process, you need to start with a seed. As the saturated solution evaporates, crystal material deposits on the seed and not haphazardly everywhere else.
• Growing a crystal
Crystal growing is like meditation. A calm and steady environment produces healthy crystals. Any variety of disturbances will lead to imperfection and discord.



Dictionary:

saturated solution – roztwór nasycony
seed crystal – zarodek krystaliczny



KĄCIK EKSPERYMENTATORA

Jak wyhodować monokryształy

Na podstawie artykułu Dwighta U. Bartholomew
www.geocities.com/dwibdwib/crystals/

Któż z nas w dzieciństwie nie hodował kryształków soli na nitce zanurzonej w roztworze nasyconym. Okazuje się, że nieco bardziej skomplikowane doświadczenie może doprowadzić do wyhodowania monokryształów. W tym wypadku chodzi o to, by najprzód wyhodować tak zwany zarodek, a potem dać mu powoli wzrastać, warstwa po warstwie.

Proces wzrostu monokryształów podzielimy na trzy etapy:
1. przygotowanie roztworu nasyconego substancji, z której chcemy wyhodować monokryształ (np. sól kuchenna),
2. wyhodowanie zarodków krystalicznych,
3. wzrost monokryształu.

Ad 1. W bardzo czystym słoiku z zakrętką przygotowujemy roztwór nasycony. Czyni się to etapami. Do wody wsypuje się nieco substancji, wstrząsa i odczekuje ok. 30 minut aż się ustoi. Wówczas dosypuje się kolejną porcję substancji, aż na dnie słoika pozostanie pewna jej nierozpuszczona ilość. Roztwór nasycony przelewamy do słoika z zakrętką.
Ad 2. Do szerokiego słoja nalewamy nieco roztworu nasyconego. Słój przykrywamy gazą, by chronić roztwór od kurzu. Stawiamy go w zaciemnionym miejscu. Roztwór będzie odparowywał wodę. Po jakimś czasie na dnie słoja powinno utworzyć się parę zarodków. Gdy osiągną takie rozmiary, że można je będzie wyjąć palcami wówczas uznamy, że proces hodowli zarodków jest uwieńczony sukcesem. Może się zdarzyć, że zamiast pojedynczych zarodków otrzymamy cały dywanik kryształków. Prawdopodobnie roztwór nie był wystarczająco czysty, lub za dużo kurzu dostało się do słoika.
Ad 3. Wybrany zarodek przywiązujemy do końca **nylonowej nitki** i zanurzamy, tak jak w doświadczeniu z lat dziecinnych, w roztworze nasyconym. Ilustracja znajduje się w artykule „Czytamy po angielsku” (na poprzedniej stronie).

Dwight U. Bartholomew w swoim artykule przedstawia fotografie następujących monokryształów wyhodowanych tą metodą: sól kuchenna, ałun (siarczan amonowo-glinowy), siarczan miedzi, sól Seignetta czyli winian sodowo-potasowy, żelazicyjanek potasowy.

Redakcja *Fotonu* zachęca do przysłania fotografii wyhodowanych przez siebie monokryształów.

(Z.G-M)

KĄCIK ZADAŃ

Zadania dla liceum

Jadwiga Salach

Temat 1. Znaczenie średniej gęstości Ziemi

Ziemia ma największą średnią gęstość ze wszystkich planet Układu Słonecznego. Gdyby średnia gęstość Ziemi, przy zachowaniu takiego samego promienia, była cztery razy mniejsza niż obecnie (byłaby ona wówczas zbliżona do średniej gęstości Słońca!), to jak wpłynęłoby to na

1. wartość przyspieszenia grawitacyjnego na powierzchni Ziemi?
2. wartość pierwszej prędkości kosmicznej?
3. wartość drugiej prędkości kosmicznej?
4. promień orbity stacjonarnych satelitów Ziemi?
5. okres obiegu stacjonarnych satelitów Ziemi?
6. okres obiegu Księżyca wokół Ziemi przy założeniu, że promień jego orbity byłby taki sam, jak obecnie?
7. promień orbity Księżyca przy założeniu, że wartość jego prędkości na orbicie nie uległaby zmianie?

Uzasadnij wszystkie odpowiedzi.

Temat 2. Druga prędkość kosmiczna

1. Wyjaśnij, co oznacza termin: „druga prędkość kosmiczna".
2. Wyprowadź wzór na wartość drugiej prędkości kosmicznej (będziemy ją oznaczać v_2) dla ciała wyrzuconego z powierzchni Ziemi; pomiń oddziaływanie innych ciał niebieskich.
3. Jakie będą tory ciała wyrzuconego z powierzchni Ziemi z prędkością o wartości v_2, ale o **dowolnych** kierunkach?
4. Załóżmy, że ciało wyrzucono z Ziemi z prędkością o wartości v_2. Wyprowadź wzór opisujący zależność energii kinetycznej ciała od odległości x od powierzchni Ziemi: $E_k(x)$. We wzorze tym powinny występować jako stałe współczynniki wyłącznie: początkowa energia kinetyczna ciała (E_{k2}) i promień Ziemi R.
5. Narysuj wykres zależności $E_k(x)$ i odpowiedz na pytanie, w jakiej odległości od powierzchni Ziemi energia kinetyczna ciała zmaleje (w stosunku do E_{k2}) 2, 3, 4 razy.
6. Zastanów się, czy wyprowadzona w punkcie 4. zależność jest słuszna w przypadku dowolnego kierunku, w którym ciało zostało wyrzucone z powierzchni Ziemi, czy tylko wówczas, gdy zostało ono wyrzucone pionowo. Uzasadnij odpowiedź.

7. W tym samym układzie współrzędnych (punkt 5.) narysuj dla porównania wykresy zależności energii potencjalnej tego ciała oraz jego energii całkowitej od odległości x od powierzchni Ziemi.

Rozwiązania

1. Odpowiedzi:

1. Wartość przyspieszenia ziemskiego byłaby 4 razy mniejsza.
2. Wartość pierwszej prędkości kosmicznej byłaby 2 razy mniejsza.
3. Wartość drugiej prędkości kosmicznej byłaby 2 razy mniejsza.
4. Promień orbity stacjonarnego satelity Ziemi byłby $\sqrt[3]{4} \cong 1{,}6$ razy mniejszy.
5. Okres obiegu Ziemi przez stacjonarnego satelitę Ziemi nie uległby zmianie.
6. Okres obiegu Księżyca wokół Ziemi byłby 2 razy większy.
7. promień orbity Księżyca byłby 4 razy mniejszy.

Uzasadnienie:

Odpowiedzi na pytania postawione w zadaniu uzyskujemy na podstawie obliczeń. Należy zatem wyprowadzić wzory, z których wynika, w jaki sposób wielkości, o które pytamy, zależą od gęstości Ziemi. Masę Ziemi wyrażamy w każdym przypadku przez jej objętość i gęstość: $M_z = V_z\rho$. W przypadkach 2, 4, 6, 7 korzystamy z faktu, że siłą dośrodkową, potrzebną do utrzymania satelity w ruchu po okręgu jest siła grawitacji (porównujemy więc odpowiednie wzory).

1. Z drugiej zasady dynamiki

$$a_g = \frac{F_g}{m}, \qquad a_g = \frac{GM_z}{R_z^2} = \frac{GV_z\rho}{R_z^2} = \frac{GV_z}{R_z^2}\cdot\frac{\rho_0}{4} = \frac{g}{4}.$$

2. $$\frac{mv_1^2}{R_z} = \frac{GM_z}{R_z^2}, \quad \text{skąd}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM_z}{R_z}} = \sqrt{\frac{GV_z\rho}{R_z}} = \sqrt{\frac{GV_z}{R_z}\cdot\frac{\rho_0}{4}} = \frac{1}{2}v_{01}.$$

3. $$v_2 = \sqrt{2}\cdot v_1, \quad \text{zatem} \quad v_2 = \frac{1}{2}\cdot v_{02}.$$

4. Satelita stacjonarny (o masie m_s) obiega Ziemię w płaszczyźnie jej równika z prędkością kątową równą prędkości kątowej obrotu Ziemi (ω_z) wokół własnej osi.

$$m_s\omega_z^2 r = \frac{GM_z m_s}{r^2},$$

skąd

$$r^3 = \frac{GM_z}{\omega_z^2} = \frac{GV_z\rho}{\omega_z^2}; \quad r = \sqrt[3]{\frac{GV_z\rho}{\omega_z^2}}; \quad r = \sqrt[3]{\frac{GV_z}{\omega_z^2}\cdot\frac{\rho_0}{4}}; \quad r = \frac{1}{\sqrt[3]{4}}\cdot r_0.$$

5. Gęstość planety nie ma żadnego związku z okresem jej obrotu wokół własnej osi.

6. $$m_k\omega_k^2 r = \frac{GM_z m_k}{r^2}, \quad \frac{4\pi^2}{T_k^2} = \frac{GM_z}{r^3}, \quad \text{skąd} \quad T_k^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GM_z} = \frac{4\pi^2 r^3}{GV_z\rho};$$

$$T_k^2 = \frac{4\pi^2 r^3\cdot 4}{GV_z\rho_0} = 4T_{k0}^2; \qquad T_k = 2T_{k0}.$$

7. $$\frac{m_k v^2}{r} = \frac{GM_z m_k}{r^2}, \quad \text{skąd}$$

$$r = \frac{GM_z}{v^2} = \frac{GV_z\rho}{v^2}; \quad r = \frac{GV_z}{v^2}\cdot\frac{\rho_0}{4}, \quad r = \frac{r_0}{4}.$$

2. Odpowiedzi:

1. Druga prędkość kosmiczna to najmniejsza prędkość, z którą należy wyrzucić ciało z Ziemi, aby oddaliło się do nieskończoności. (Uwaga: Słowo najmniejsza oznacza, że nieskończenie daleko od Ziemi energia kinetyczna tego ciała będzie równa zeru). Rachunek nie uwzględnia pokonywania oporów atmosfery.
2. Korzystamy z zasady zachowania energii mechanicznej w polu grawitacyjnym Ziemi. W chwili wyrzucenia z Ziemi całkowita energia mechaniczna ciała (o masie m) wynosi

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{GM_z m}{R_z^2}.$$

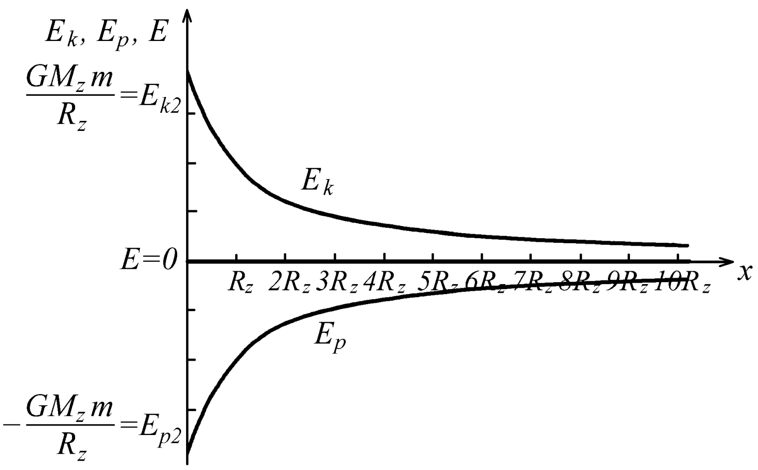
Nieskończenie daleko od Ziemi całkowita energia mechaniczna tego ciała jest równa zeru, zatem

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{GM_z m}{R_z^2} = 0, \quad \text{skąd} \quad v_2 = \sqrt{\frac{2GM_z}{R_z}}.$$

3. Ciała wyrzucone z prędkościami o wartości v_2, ale o różnych kierunkach będą się poruszały po różnych torach. Ciało wyrzucone pionowo będzie się oddalało od Ziemi po linii prostej; jeśli kierunek $\vec{v}_2$ będzie inny – ciało będzie się oddalało po łuku paraboli.
4. Jak już stwierdzono w punkcie 2., całkowita energia mechaniczna ciała wyrzuconego z Ziemi z drugą prędkością kosmiczną jest stała i równa zeru podczas całego ruchu, zatem

$$E_{k2} - \frac{GM_z m}{R_z} = E_k(x) - \frac{GM_z m}{R_z + x} = 0, \quad \text{skąd} \quad E_k(x) = E_{k2} \cdot \frac{R_z}{R_z + x}.$$

5. Gdy $x = R_z,\ E_k = \dfrac{E_{k2}}{2}$, gdy $x = 2R_z,\ E_k = \dfrac{E_{k2}}{3}$, gdy $x = 3R_z,\ E_k = \dfrac{E_{k2}}{4}$... itd.



6. Wyprowadzone wzory są słuszne przy dowolnym kierunku $\vec{v}_2$ – wynika to z zasady zachowania energii mechanicznej (energia kinetyczna nie zależy od kierunku prędkości, tylko od jej wartości).

7. $E_{p2}(x) = -\dfrac{GM_z m}{R_z + x}$, zatem $E_{p2} = -E_k(x), \quad E_{c2} = 0.$

O zadaniach egzaminacyjnych dla gimnazjum

Zofia Gołąb-Meyer

Instytut Fizyki UJ

W krótkim artykule zajmę się krytyką pewnego przykładowego zestawu zadań egzaminacyjnych z zakresu przedmiotów matematyczno-przyrodniczych. Omówię grube błędy merytoryczne i dydaktyczne. Ustosunkuję się do dyktatu nowej mody panoszącej się teraz w dydaktyce fizyki. Moda ta wzięła się ze słusznych postulatów ilustrowania praw fizyki procesami „z życia". Wyrosła ona ze słusznej krytyki kompletnie „wypranych" z kontekstu zadań typu „punkt materialny m pod wpływem stałej siły F przemieścił się o odcinek d... Oblicz pracę wykonaną przez..."

Ta słuszna krytyka wpędziła dydaktyków w drugą skrajność. I oto teraz nie należy po prostu pytać ucznia jaką objętość ma pojemnik w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 4m × 2,3m × 1,8m (i tym samym sprawdzić czy uczeń wie, jak się oblicza objętość tej bryły, czy umie mnożyć, czy umie poprawnie zapisać jednostkę). W zgodzie z modą koniecznie trzeba mówić o pojemniku na śmieci (ekologia) by potem, po podaniu wymiarów, zapytać „jaka ilość śmieci zmieści się w kontenerze?" (przykład z omawianego niżej zestawu zadań).

„Jaka ilość?" Co to znaczy? Ile sztuk? Ile kilogramów? Uczeń ma się domyślić, że to nieprecyzyjne pytanie dotyczy objętości.

Sformułowany w powyższy sposób problem można przedstawić uczniom wstępnie (!!!) jako tekst mówiony, po czym **musi** nastąpić uściślenie. Po to uczymy matematyki i fizyki, by nauczyć uczniów precyzyjnie wyrażać się. Jest różnica (patrz Wygotski „Myślenie i mowa" *Foton 43*) między językiem mówionym a pisanym, a tym bardziej między językiem potocznym a językiem fizyki.

Zadania ze starych zbiorów zadań były tak formułowane, iż w temacie były podane **wyłącznie** dane niezbędne do rozwiązania zadania. To była przyjęta konwencja i ona niosła w sobie już pewne wskazówki dotyczące rozwiązania. Zadanie „ z życia" z nadmierną ilością informacji jest już zadaniem typu otwartego. Uczeń **sam** musi zadecydować co jest ważną do rozwiązania zadania informacją. Takie zadanie może być (i zwykle jest) znacznie trudniejsze. Nadmiar danych jest uzasadniony w sytuacjach, gdy poprzez problem, zadanie, wprowadza się jakąś nowa wielkość, nowe pojęcie. Wtedy temat zadania musi dotyczyć konkretnego kontekstu. Dlatego w takiej sytuacji zamiast mówić, że ciało się porusza od punktu A do punktu B mówimy np. autobus jedzie z Wieliczki do Bochni. To jest prawidłowo. Możemy też mówić np. o doniczce, która wypadła z okna na pierwszym piętrze. Taki problem rozważamy na początku przy omawianiu swobodnego spadku. Po paru podobnych przykładach przechodzimy do rozważania swobodnego spadku dowolnego ciała z wysokości 5m.

Jeszcze raz powtarzam: Przy omawianiu (język mówiony) pierwszych wprowadzających problemów pomagających zrozumieć nowe pojęcie czy prawo fizyki może wystąpić nadmiar informacji. Ten nadmiar ma na celu uczynienie sytuacji bardzo konkretną, wyobrażalną. Dane liczbowe powinny być wtedy proste, a jednostki odpowiednio dobrane. To jest jednak etap wstępny. Po nim następuje uściślenie i precyzyjne sformułowanie zadania. W każdym przypadku uczeń powinien mieć jednoznaczną wskazówkę dotyczącą zadania. Trzeba pamiętać, że rzeczy oczywiste dla nauczyciela nie są takimi dla początkującego ucznia.

Nie jest też prawdą, że każda okazja jest dobra by ucznia czegoś nauczyć. Obserwuję taką tendencję u układających zadania, którzy jakby sądzą, że jest to jedyna okazja by ucznia o czymś poinformować, np. że Barania Góra ma wysokość 1220 m nad poziom morza. Doprawdy egzamin to nie miejsce na to. Na egzaminie uczeń powinien mieć komfortową sytuację na wykazanie się określoną wiedzą i umiejętnościami, a nie tracić energię i wysilać inteligencję na odgadywanie czego egzaminujący od niego oczekują.

Poniżej cytowane zadania niestety nie tylko ilustrują omówioną powyżej modę, lecz także, co najważniejsze, zawierają poważne błędy merytoryczne. Zadania pochodzą z zestawu zredagowanego i opracowanego przez nauczycieli matematyki, chemii, geografii, biologii i fizyki (z gimnazjum Nr 27, Nr 39, Nr 40 w Krakowie oraz gimnazjum w Woli Filipowskiej). Były one prezentowane na warsztatach. Tłustym drukiem podano błędne sformułowania.

Zadanie 5 (2p.)

Uczniowie, „sprzątając Świat" przeszli 1,6 km w czasie dwóch godzin. Gdyby szli w tym samym tempie, co przedtem, to w ciągu pięciu godzin pokonaliby **odległość**:

A. 400 km B. 3,2 km C. 4 km D. 8 km

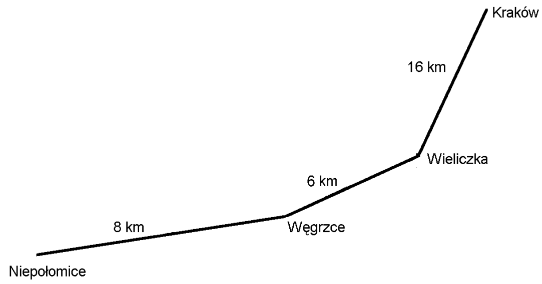
Wyrażenie „przeszli 1,6 km w czasie 2 g" jest poprawne. Sugeruje, że 1,6 km oznacza drogę, czyli długość toru zapewne bardzo krzywego i popętlonego. Wyrażenie tempo jest poprawne, jest synonimem szybkości, lecz lepsza jednak byłaby po prostu „szybkość". Prawidłowa odpowiedź na pytanie o odległość jest: NIE WIADOMO, ponieważ nie znamy toru. Ja bym napisała zero, ponieważ uczniowie ze śmieciami na pewno wrócili do punktu zbiórki. Widzimy w tym zadaniu skandaliczne niezrozumienie przez autorów pojęcia drogi, czyli, długości toru i odległości.

Zadanie 19 (3p.)

Rysunek przedstawia plan trasy biegu zorganizowanego z okazji Dnia Ziemi. Podaj w metrach, jaką **odległość trasy** musieli pokonać uczestnicy biegu.

Co to jest, na litość boską, „odległość trasy"? Do skorygowania tego zadania wystarczyłby polonista.

Zadanie 20 (1p.)
Z okazji Dnia Ziemi w szkole zorganizowano wycieczkę do Niepołomic. Klasa wyjechała autobusem z Krakowa o godzinie 9.00 a już o 9.20 była w Wieliczce. Tam przez 20 minut spacerowała po pięknym ryneczku. O godzinie 9.56 przyjechała do Niepołomic. Posługując się danymi przedstawionymi na rysunku oraz w zadaniu oblicz, z jaką średnią szybkością jechał **autobus** z Krakowa do Niepołomic.



Po co dodawanie szumu informacyjnego o wycieczce do Niepołomic. W tym wypadku autorzy podają w formularzu dla nauczycieli **fałszywe** rozwiązanie, nie znają bowiem definicji średniej szybkości. Aby podać poprawną odpowiedź należy całkowitą drogę podzielić przez całkowity czas podróży, czyli (8+6+16) km / 56 min. Tymczasem autorzy wyrzucili czas postoju. Dlaczego tak zrobili? Nie tylko dlatego, że nie znają poprawnej definicji średniej szybkości, ale dlatego, że wyczuwają (tak jak i uczniowie) bezsens tego kontekstu. W tym konkretnym zadaniu o wycieczce szkolnej informacja o szybkości średniej jest zupełnie nieinteresująca. Natomiast np. informacja o średnie szybkości autokaru pasażerskiego z Krakowa do Hamburga już coś daje. W tym przypadku globalne spojrzenie daje uproszczony (a więc wygodny) opis pokazywania trasy. W tym zadaniu występuje nadmiar informacji. Możliwe, że to nadmiar informacji pchnął rozwiązujących w fałszywe rozwiązanie. Ważny jest tylko czas trwania podróży, a więc godzina wyjazdu i przyjazdu.

Zadanie 21 (1p.)
Wyobraź sobie, że będąc z klasą na „zielonej szkole” chodziliście po Beskidach. Postanowiliście zdobyć szczyt Baraniej Góry znajdujący się na wysokości 1220 metrów. Plecak, który miałeś ze sobą miał ciężar 60 N. Jaką pracę wykonałeś wchodząc na szczyt?

Na podstawie podanych informacji nie można rozwiązać zadania. Nie podano różnicy wysokości, którą uczeń pokonał. Czy uczeń maszerował znad morza? Nie podano też masy ucznia. Wystarczyło napisać: w trakcie wycieczki uczeń o masie 50 kg, niosąc plecak o masie 6 kg, pokonał wysokość 500 m. Jaką pracę wykonał przy pokonaniu tej wysokości. Albo po prostu (inny problem): jaką pracę trzeba wykonać by plecak o masie 6 kg wytransportować na wysokość 500 m.

Zadanie 24 (3p.)

Ziemia ogrzewana jest przez Słońce. Niektóre gazy, jak np. dwutlenek węgla, powodują **zatrzymanie ciepła.** Zbyt wielka ilość dwutlenku węgla doprowadza więc do ocieplenia klimatu na Ziemi.
Wykorzystaj informacje zawarte w tekście i uzupełnij lukę na schemacie, a na podstawie jego analizy wymień przyczyny ocieplania się klimatu. Wymień inne znane Ci gazy cieplarniane.

Na początku zadania uczeń dowiaduje się, że Ziemia jest ogrzewana przez Słońce. Potem występuje potoczne wyrażenie o „zatrzymywaniu ciepła przez dwutlenek węgla". Najprostszy wniosek byłby taki, iż dwutlenek węgla nie „dopuszcza ciepła" do Ziemi (używając terminologii autorów zadania). Autorzy wpadają w pułapkę mowy potocznej. Fatalne i niepoprawne sformułowanie. Uczeń **ma prawo** do błędnych odpowiedzi, **ma prawo być** zdezorientowany!

Zadanie 31 (2p.)

Pojechałeś samochodem z rodzicami na wycieczkę do Ojcowa. Jadąc cały czas ruchem jednostajnym prostoliniowym przejechaliście obok znaku, jak na rysunku. Nie zmieniając swej prędkości przejechaliście od tego miejsca w czasie 3 minut drogę 4 km, po czym zatrzymał Was policjant i ukarał mandatem za naruszenie przepisów ruchu drogowego. Czy policjant miał rację? Uzasadnij odpowiedź.

Kto widział prostą drogę z Krakowa do Ojcowa? Co za potworny szum informacyjny występuje w tym zadaniu, które jest po to by sprawdzić czy uczeń potrafi poprawnie wyrazić wartość prędkości v = 4 km / 3 min w jednostkach km/h.

Zwracam uwagę jeszcze na jeden problem: otóż na 6 zadań trzy dotyczą „nieszczęsnej kinematyki", z którą jak widać sami nauczyciele sobie nie radzą. Czy naprawdę niczego innego nie było w programie nauczania w gimnazjum? Na podstawie cytowanych zadań wyłania się jakaś koszmarna wizja fizyki, która polega na tym, by rozróżniać Ziemię (ciało fizyczne) od ziemi (substancji) (patrz jedno z zadań), by wyliczać jakieś bezsensowne prędkości autobusu i zgadywać czemu moja „praca" przy wejściu z plecakiem na Baranią Górę ma się równać wysokości Baraniej Góry przemnożonej przez ciężar plecaka. Taką fizykę można serdecznie znienawidzić. Aż łza się w oku kręci za czasami, kiedy uczniowie lubili fizykę w klasie VI szkoły podstawowej.

Apeluję do wszystkich nauczycieli. Zaufajcie swojej wiedzy i sięgajcie tylko do sprawdzonych źródeł i podręczników. Szczególną ostrożność należy wykazać przy układaniu zadań egzaminacyjnych. Proście koleżanki czy kolegów uczących innego przedmiotu o sprawdzenie zadań. Sami możecie sprawdzać testy z innych przedmiotów.

Apeluję do wszystkich koleżanek i kolegów fizyków, którzy mają własne dzieci: zainteresujcie ich próbnymi zadaniami egzaminacyjnymi. Wydaje się, że nikt ze środowiska fizyków tego z urzędu nie zrobi.

Uwaga:

Inspiracją powyższych zadań jest „Informator, egzamin klasa trzecia gimnazjum, rok 2002”, Warszawa 2000, brak autorów, wydrukowany na podstawie materiałów Centralnej Komisji Egzaminacyjnej. Omówienie tych materiałów znajdą Państwo w jednym z następnych numerów *Fotonu* oraz w internecie.

FIZYKA W INTERNECIE

Filmy o statku kosmicznym Cassini wprost z NASA!

Materiały filmowe i animacje komputerowe zostały przygotowane przez Jet Propulsion Laboratory w USA i European Space Agency. Na stronie, której adres podaję poniżej znajdują się filmy o budowie i wyposażeniu sondy *Cassini*, a także szczegóły dotyczące toru lotu z Ziemi na Saturna i lądowania na powierzchni Tytana. Pliki w formatach MPEG oraz QuickTime o wielkości od 300KB do 2 MB ściąga się w miarę szybko z internetu. Polecam!

http://www.jpl.nasa.gov/cassini/Movies

Hubble Space Telescope animations !

http://oposite.stsci.edu/pubinfo/Anim.html

Sondę kosmiczną Alfa będzie można dostrzec gołym okiem!

Wystarczy znać datę i czas przelotu nad miejscem zamieszkania obserwatora. Szczegółowe dane dostępne są na stronie NASA:

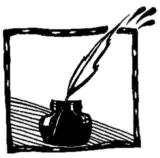
http://space flight.nasa.gov/realdata/sightings/sighttext

Odwiedź stronę obserwatorium astronomicznego na Suhorze!

Można tu znaleźć informacje o sprzęcie astronomicznym, zdjęcia Suhory a także mnóstwo ciekawych linków. Zapraszam wszystkich miłośników astronomii.

http://www.as.wsp.krakow.pl/index.html

(WM)



Jak rozwijać zainteresowania uczniów naukami przyrodniczymi?

Maria Janowiak

nauczyciel fizyki w ZSO Nr 41 w Krakowie

Zmniejsza się ciągle liczba godzin lekcyjnych przydzielanych przez MEN na nauki przyrodnicze. Ubolewamy nad tym i staramy się znaleźć jakiś sposób, aby często przy jednej godzinie tygodniowo zajęć lekcyjnych, zainteresować uczniów naszymi przedmiotami. Organizujemy wycieczki przedmiotowe, wystawy tematyczne, konkursy itp.

Młodsze dzieci szkoły podstawowej chętnie włączają się do mini konkursów – lubią łamigłówki, krótkie zadania „na pomysł", ciekawostki, krzyżówki itp.

W naszej szkole, która jest zespołem Szkoły Podstawowej Nr 77 i Gimnazjum Nr 37, w młodszych klasach organizujemy właśnie takie konkursy, w których uczniowie rywalizują między sobą w rozwiązywaniu krótkich zadań i problemów z różnych dziedzin nauki.

Uważamy, że młodzież gimnazjalna powinna się uczyć samodzielności w poszukiwaniu i odkrywaniu rozwiązań różnych problemów. Staramy się tutaj wykorzystać naturalną w tym wieku ciekawość poznawczą zdolniejszej młodzieży, która dzieląc się z innymi swoimi „odkryciami", rozbudza zainteresowanie rówieśników.

Taką formą, promującą uczniów o dużych zainteresowaniach, jest ciesząca się u nas dużym uznaniem sesja popularnonaukowa wiedzy matematyczno-przyrodniczej.

PRZYGOTOWANIE SESJI

Na początku roku szkolnego nauczyciele ustalają z uczniami zagadnienia, które będą przez nich opracowywane w dowolnej formie. Uczniowie wybrany temat mogą przedstawić w postaci referatu, plakatu, wywiadu, makiety lub inscenizacji. Muszą oni samodzielnie znaleźć literaturę i potrzebne materiały. Nauczyciele oczywiście służą im pomocą, udzielając rad i wskazówek.

Przygotowane referaty uczniowie przedstawiają indywidualnie lub zespołowo na lekcjach w krótkich (maksymalnie 10 minutowych) wystąpieniach.

Prezentacja tematu oceniana jest przez nauczyciela danego przedmiotu. Opracowane zagadnienia uczniowie przekazują nauczycielowi. Najlepsze prace do prezentacji na sesji są wybierane przez nauczycieli poszczególnych przedmiotów wraz z uczniami.

Rozwiązania dodatkowych problemów podejmują się chętni uczniowie, którzy są zainteresowani danym tematem, chcą poszerzać swoje wiadomości i zrobić coś więcej niż wymaga tego program nauczania.

PRZEBIEG SESJI

Zespoły uczniowskie muszą dopracować wybrane do prezentacji prace tak, aby w przejrzysty i ciekawy sposób przedstawić je dużej widowni.

W grudniu 2000 roku prezentowane u nas były prace na następujące tematy:

„Pierwszoklasiści Gimnazjum w ujęciu statystyki”
„Jak człowiek nauczył się liczyć?”
„Przygoda Archimedesa”
„Czy warto oszczędzać?”
„Energie alternatywne i ich wykorzystanie”
„Od abaku do komputera”
„Ekosystemy”
„Figury kosmiczne i odkrycia Pitagorajczyków”
„Podróże małe i duże”
„Pomiary rzeczywiste i złudzenia optyczne”

W sali gimnastycznej z przygotowaną, oświetloną reflektorami wystawą prac uczniów, w radosnej atmosferze uczniowie prezentowali ciekawe problemy badań i odkryć naukowych w dziedzinie matematyki, biologii, geografii, fizyki i chemii.

Autorzy prac musieli poradzić sobie z wykorzystaniem pomocy laboratoryjnych, grafoskopu, plansz i innych rekwizytów. Jednocześnie, ze względu na dużą widownię, musieli oni korzystać z mikrofonu, co było dla nich dodatkowym utrudnieniem.

Prezentacja „Przygody Archimedesa”

UNIWERSYTET JAGIELLOŃSKI

STUDIA MATEMATYCZNO–PRZYRODNICZE

Studia Matematyczno-Przyrodnicze (SMP) to nowoczesny sposób studiowania na wydziałach nauk matematycznych i przyrodniczych Uniwersytetu Jagiellońskiego (10 kierunków do wyboru: astronomia, biologia, biotechnologia, chemia, fizyka, geologia, geografia, informatyka, matematyka i ochrona środowiska).

CO WYRÓŻNIA TE STUDIA?

– Indywidualny tok studiów od ich rozpoczęcia, pod opieką tutora (opiekuna naukowego). Każdy słuchacz wybiera interesujące go kursy spośród całej oferty wydziałów matematyczno-przyrodniczych.

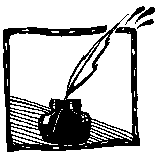
– Interdyscyplinarność – możliwość uczęszczania na zajęcia z różnych dziedzin. Wybór **kierunku wiodącego** (jednego z dziesięciu) następuje po drugim roku studiów.

– Po ukończeniu trwających pięć lat Studiów Matematyczno-Przyrodniczych absolwent uzyskuje **stopień magistra jednego z dziesięciu kierunków**.

– **Rozwijanie samodzielności**, kształtowanie umiejętności dokonywania wyboru, rozbudzanie zainteresowań, indywidualne możliwości rozwoju dla każdego studenta, wczesne zaangażowanie w pracę naukową owocujące znakomitym przygotowaniem słuchaczy Studiów Matematyczno-Przyrodniczych do dalszej życiowej drogi.

W 2001 roku na kandydatów oczekuje 30 miejsc na Studiach Matematyczno-Przyrodniczych. Termin składania podań upływa dnia 8 czerwca 2001 roku. Dokumenty należy złożyć w Sekretariacie Dydaktycznym Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, przy ulicy Reymonta 4 (pokój 013, tel. (012) 632 48 88 wew. 5701). Egzamin konkursowy z matematyki oraz do wyboru: biologii, chemii, fizyki lub geografii odbędzie się w dniach 18 i 19 czerwca 2001 roku. Dodatkowe informacje można również uzyskać na stronach WWW Studiów Matematyczno-Przyrodniczych pod adresem: **http://www.if.uj.edu.pl/pl/SMP/smp.html**.

ZAPRASZAMY!



Technika pisania prac dyplomowych

Maria Pawłowska

Biblioteka Instytutu Fizyki UJ

Cz. I: Gromadzenie literatury

Przygotowanie pracy magisterskiej, czy dyplomowej, to kulminacyjny moment w karierze każdego studenta.

Temat pracy magisterskiej powinien być ustalony co najmniej półtora roku przed terminem ukończenia studiów. Tak więc wielu studentów czwartego roku taki temat już otrzymało.

Tym artykułem pragnę pomóc studentom, którzy chcieliby przygotować dobre i ciekawe prace, ale zupełnie nie wiedzą jak się do tego zabrać.

Zawartość pracy magisterskiej może mieć różnorodny charakter. Może być prostym opracowaniem kompilacyjnym lub pracą eksperymentalną. W każdym przypadku praca dyplomowa musi opisywać badania mające charakter oryginalny, powinna być przygotowana w sposób poprawny pod względem formy i nie może zawierać błędów merytorycznych. Nawet w pracy kompilacyjnej nie można ograniczyć się do przetłumaczenia lub przepisania prac innych osób. Konieczna jest obszerna synteza zebranego materiału, która pozwoli dostrzec, że piszący zna temat i potrafi zdać sprawozdanie ze stanu badań w danej dziedzinie, potrafi przetworzyć informacje zawarte w analizowanych dziełach, czy wreszcie, że potrafi z tych informacji czerpać pomysły do dalszych badań.

Opracowanie tekstu można podzielić na trzy etapy:
1. prace przygotowawcze
2. redagowanie tekstu
3. poprawienie i przeredagowanie tekstu.

Najważniejszym zadaniem realizowanym podczas pierwszego etapu pisania pracy jest sformułowanie problemu i konkretnych celów pracy. Znając temat pracy (na tym etapie może on być jeszcze bardzo ogólny) i jej wstępny plan można przystąpić do zbierania materiałów.

Ten etap pracy jest szczególnie ważny i jak wynika z obserwacji, nastręcza studentom wielu kłopotów. Na pewno promotor podsunie swojemu magistrantowi podstawową literaturę, ale nie wykona za niego wszelkich czynności związanych z gromadzeniem bibliografii. Złe świadectwo wystawi sobie student jeśli w wykazie literatury umieści tylko podręczniki, z którymi powinien zapoznać się w trakcie studiów. Podobne wrażenie zrobi wykaz, w którym znajdują się tylko publikacje polskojęzyczne. Student powinien przejrzeć lub przeczytać możliwie jak najwięcej książek i artykułów (także napisanych w językach obcych). Niezwykle istotna jest praca nad wybranym zagadnieniem aż do ostatniej chwili i aktualizacja tekstu uwzględniająca najnowsze informacje, na przykład takie, które ukazały się w prasie tuż przed ukończeniem pracy.

Miejscem, które stanowi kopalnię informacji bibliograficznych jest oczywiście biblioteka. Wstępne poszukiwanie bibliografii należy rozpocząć od ustalenia czy interesujące nas zagadnienie (temat) zostało już w jakiś sposób opracowane. Rozpoczynamy od najpopularniejszych źródeł informacji: encyklopedii, słowników, podręczników, obszerniejszych monografii, a następnie przechodzimy do opracowań bardziej specjalistycznych.

Przegląd piśmiennictwa rozpoczynamy od publikacji najnowszych. Po opracowania dawniejsze sięgamy tylko wtedy gdy są jedynymi pracami na dany temat lub gdy ich znajomość jest niezbędna do właściwego przedstawienia badanego zagadnienia. Ocena i selekcja wstępnie zebranych materiałów bibliograficznych powinna przebiegać inaczej w odniesieniu do książek i obszerniejszych opracowań, inaczej natomiast w przypadku artykułów zamieszczonych w czasopismach specjalistycznych.

Przydatność książki można ocenić na podstawie jej tytułu, nazwisk autorów, daty wydania i instytucji wydającej pracę. Dalsza ocena książki dotyczyć będzie spisu treści i informacji zamieszczonych w przedmowie i zakończeniu. Po takiej analizie można zacząć czytać książkę. Nie jest to jednak jeszcze czytanie analityczne. To tylko szybkie czytanie, w trakcie którego wyszukujemy i zaznaczamy istotne szczegóły tekstu związane z tematem naszej pracy. Czytanie analityczne obejmuje tylko tę część tekstu, która została zaznaczona podczas czytania szybkiego. Przystępujemy również do sporządzania notatek z przeczytanych publikacji. Notujemy rzeczy najistotniejsze, tak aby notatka stanowiła łącznik między przeczytaną książką a przygotowywaną przez nas pracą. Notując pamiętajmy, by potrzebne informacje zapisywać tak, aby nie było potrzeby wracać do źródła, a równocześnie aby nie tracić czasu na wypisywanie zbędnych informacji. Co należy notować?

W zależności od roli notatek w procesie tworzenia pracy można rozróżnić następujące ich rodzaje [7]:

Notatki odtwórcze:
– notatki bibliograficzne
– notatki terminologiczne
– wyjątki z większej całości
– zestawienie luźnych cytatów
– niektóre dane faktograficzne
– plany, tezy, streszczenia poszczególnych rozdziałów.

Notatki refleksyjne:
– wykaz wątpliwości i niejasności
– ocena przestudiowanego materiału
– luźne uwagi dotyczące całości tematu lub jego fragmentów
– schematy opracowanych zagadnień.

Notatki sporządza się na luźnych kartkach o stałym układzie graficznym. Wygodnie jest pisać tylko na jednej stronie kartki, bo umożliwia to przejrzenie w krótszym czasie większej ilości notatek, ułatwia również porządkowanie zebranych materiałów.

Proponujemy następujący układ notatki [7]:

<table>
<tr><td colspan="2" align="center">Klasyfikacja notatki</td></tr>
<tr><td colspan="2" align="center">Opis bibliograficzny pozycji, z której pochodzi notatka</td></tr>
<tr><td>Strona, na której zawarta jest informacja</td><td>Treść notatki</td></tr>
<tr><td colspan="2">Uwagi własne</td></tr>
</table>

***

Po zebraniu większej ilości notatek należy je pogrupować według pewnej przyjętej klasyfikacji. Można wykorzystać klasyfikację przedmiotową, działową, systematyczną albo po prostu zastosować układ alfabetyczny (np. wg nazwisk autorów publikacji indywidualnych i tytułów prac zbiorowych). Ten ostatni układ ułatwi nam opracowywanie przeglądu piśmiennictwa (bibliografii).

Zatrzymajmy się przez chwilę na opisie bibliograficznym.
Dokonując opisu książki podajemy kolejno:

Autor (nazwisko(a) i imiona, ewentualnie inicjały imion autora(ów)).
Tytuł i podtytuł książki (warto zapisać je kursywą),
Ewentualni współpracownicy: tłumacz, redaktor naukowy tomu zbiorowego, autor opracowania,
Oznaczenie kolejności wydania
Numer tomu lub części
Adres wydawniczy: miejsce wydania, nazwa wydawcy, rok wydania
Numer strony (jeżeli cytujemy fragment większej całości)

Przykład:

Resnik Robert, Halliday David: *Fizyka.* wyd. 14, t. 1, Warszawa, Wydaw. Naukowe PWN 1999.

Opisując artykuł z czasopisma naukowego podajemy następujące informacje:

Autor (nazwisko(a) i imiona, ewentualnie inicjały imion autora(ów)).
Tytuł i ewentualnie podtytuł artykułu (można go zapisać kursywą)
Nazwa czasopisma lub innego wydawnictwa ciągłego
Rok wydania
Numer rocznika (tomu)
Numer zeszytu
Numer pierwszej strony lub strony pierwszej i ostatniej, na których zmieszczono artykuł.

Przykład:

Klisowska Małgorzata, Zawisza Regina: *Dydaktyczne aspekty stosowania analogii w nauczaniu fizyki.* Postępy Fizyki 2000, t.51, z.3, s. 149-156.

Uwagi:
1. Jeśli pracę napisało więcej niż 3 autorów można podawać nazwiska wszystkich, albo podać nazwisko pierwszego autora, zastępując nazwiska pozostałych skrótem „i in." lub „et al.".
2. Opis bibliograficzny publikacji w alfabetach niełacińskich, np. cyrylickim, można podawać na trzy sposoby: zachowując alfabet oryginalny, stosując transkrypcję wydawniczą, posługując się transliteracją. W publikacjach naukowych zaleca się korzystać z transliteracji. W każdej bibliotece można znaleźć tablice ilustrującą sposób transliteracji tekstów rosyjskich. W razie wątpliwości warto poprosić o pomoc doświadczonego bibliotekarza.
3. Opisując artykuł z czasopisma można stosować skróconą konwencję, w której numer rocznika, zeszytu, stronicy podaje się bez poprzedzających je zazwyczaj skrótów. Numer tomu wyróżnia się wówczas często pismem pogrubionym.
4. Szczegółowe informacje dotyczące sporządzania opisów bibliograficznych zawiera norma PN-79/N-01222 arkusz 07 *Kompozycja wydawnicza książek. Bibliografia załącznikowa.*

Tak sporządzony opis bibliograficzny pozwoli ułożyć alfabetycznie wybrane materiały, a jeżeli będziemy chcieli zestawić je w inny sposób, np. opracowując przypisy, wystarczy najpierw podać imię (częściej inicjał imienia) a później nazwisko autora. Pozostałe elementy opisu pozostaną bez zmian.

Na koniec tych rozważań należy tylko dodać, że praktyka nie zawsze dokładnie odpowiada normom. Nie jest zresztą konieczne by odpowiadała. Istotna jest logika i konsekwencja w postępowaniu. Polskie reguły bibliograficzne różnią się w szczegółach od anglosaskich, ale autor piszący po polsku powinien się trzymać raczej miejscowych zwyczajów.

O ile dotarcie do pozycji książkowych jest stosunkowo proste (zakładamy, że student czwartego roku zna już swoją bibliotekę instytutową, potrafi poruszać się po komputerowej bazie danych VTLS, umie przeszukać tradycyjne katalogi kartkowe), to poszukiwanie artykułów w czasopismach naukowych, zwłaszcza zagranicznych, może stanowić nie lada problem. Oczywiście, zawsze można liczyć na promotora. Na pewno udzieli swojemu podopiecznemu cennych wskazówek, ale literaturę trzeba zgromadzić samodzielnie. Warto przeglądnąć katalog czasopism dostępnych w bibliotece instytutowej, można, a nawet trzeba, spróbować skorzystać z komputerowych baz danych bibliograficznych. Baza, która obejmuje literaturę z zakresu fizyki, chemii, informatyki i nauk technicznych to – INSPEC, literaturę matematyczną znaleźć można korzystając z bazy MATH lub EMIS, osobom zainteresowanym zagadnieniami z zakresu nauk biomedycznych polecić należy *Medlin*. Dokładniejsze informacje dotyczące dostępnych w sieci UJ baz danych znaleźć można w bibliotekach instytutowych, Oddziale Informacji Naukowej BJ i na stronach internetowych poszczególnych bibliotek. Jeśli dręczą nas obawy, że zgromadziliśmy za mało literatury, że jest ona niekompletna, mało aktualna, możemy spróbować wykorzystać bardzo cenne źródło informacji o nazwie *Physics Abstracts*. Wyszukane tutaj informacje to abstrakty odsyłające do artykułów zamieszczanych w czasopismach naukowych. Z *Physics Abstracts* można skorzystać w Bibliotece Instytutu Fizyki UJ, natomiast z *Chemical Abstracts* w Wydziałowej Bibliotece Chemii.

Nie wszystkie tytuły czasopism naukowych znajdują się w bibliotekach instytutowych. By ustalić, w której polskiej bibliotece znajdują się poszczególne tytuły wystarczy skorzystać z *Wykazu czasopism naukowych*, który co roku wydawany jest przez Polską Fundację Upowszechniania Nauki i dostępny jest w każdej bibliotece. Biblioteki polskie zobowiązane są do wysyłania kserokopii artykułów zamieszczonych w prenumerowanych przez nie czasopismach.

Analizę literatury zawartej w czasopismach naukowych przeprowadza się zwykle w oparciu o kserokopie artykułów. Ważne jest jednak aby tych materiałów nie było zbyt dużo. Dlatego należy przeglądać i starannie segregować zebrane materiały, by móc rozstrzygnąć, które z nich będą potrzebne, które można wyrzucić, a które należy zostawić tylko „na wszelki wypadek”. Każdy artykuł należy wpisać na odpowiednią fiszkę, podobną do tej, na której opisywaliśmy książki. Dla każdej pozycji, którą uznamy za wartą wykorzystania w pracy, należy sporządzić natychmiast pełny opis bibliograficzny i – koniecznie – podać miejsce gdzie to opracowanie można odszukać.

Spis literatury należy redagować bardzo starannie. Nie należy zbytnio ufać cytowaniom sporządzonym przez inne osoby. Najlepiej samemu dotrzeć do źródła. Czasami warto napisać list do autora jakiejś starszej publikacji, która wydaje się być interesująca, z prośbą o przysłanie nowszych artykułów na dany temat. Na pewno pozytywnie zareaguje na taką prośbę, bo będzie to dla niego dowód, że jego prace są czytane.

Znając (choćby w przybliżeniu) temat swojej pracy magisterskiej należy zwracać uwagę na zawiadomienia o konferencjach, zjazdach, sympozjach, czy seminariach o tematyce związanej z przygotowywana pracą. Być może promotor będzie mógł pomóc swojemu podopiecznemu poprzez umożliwienie wzięcia udziału w takiej imprezie. Nawet jeżeli wygłaszane referaty okażą się zbyt trudne, to taki wyjazd pozwoli nawiązać kontakt z osobami interesującymi się podobnymi zagadnieniami. Materiały konferencyjne będą stanowić cenne źródło informacji dla przygotowującego pracę, ponieważ zwykle zawierają informacje najświeższe i nowatorskie.

O ile zbieranie, analizowanie i studiowanie literatury to czynności niezbędne dla prawidłowego prowadzenia badań, to jej najważniejszą częścią jest faza rodzenia się pomysłu i faza rozmyślania nad opracowywanym tematem.
O tym napiszemy w następnym artykule z tego cyklu.

Literatura:

[1] Bielec E., Bielec J.: *Podręcznik pisania prac albo technika pisania po polsku.* Kraków, Wydawnictwo EJB, 2000.
[2] Gambarelli G., Łucki Z.: *Jak przygotować pracę dyplomową lub doktorską. Wybór tematu, pisanie, prezentowanie, publikowanie.* Kraków, Uniwersitas, 1995.
[3] Kenny P.: *Panie Przewodniczacy, Panie, Panowie...Przewodnik po sztuce i technice wystąpień publicznych ułożony specjalnie dla inżynierów i pracownikow nauki.* Wrocław, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1995.
[4] Maćkiewicz J.: *Jak pisać teksty naukowe?* Gdańsk, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego 1998.
[5] Oliver P.: *Jak pisać prace uniwersyteckie.* Kraków, Wydawnictwo Literackie, 1999.
[6] Osuchowska B.: *Poradnik redaktora i autora. Nauki ścisłe i technika.* Warszawa, Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Wydawców Książek, 1988.
[7] Urban S., Ładoński W.: *Jak napisać dobra pracę magisterską.* Wyd. 2 popr. i uzup., Wrocław, Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu, 1997.

CO CZYTAĆ

Między duchem a materią pośredniczy matematyka, Hugo Steinhaus
Wydaw. Naukowe PWN, Warszawa – Wrocław 2000.

Książka przybliża osobę jednego z najwybitniejszych matematyków polskich XX wieku, współtwórcę lwowskiej szkoły matematycznej, profesora Uniwersytetu Wrocławskiego, Hugona Steinhausa (1887–1972).

W publikacji zawarto biografię uczonego opracowaną na podstawie *Wspomnień i zapisków*, autobiografii profesora oraz wspomnień Jego uczniów i współpracowników.

W dalszej części zebrano 20 publikacji Steinhausa napisanych w języku polskim, w różnych okresach Jego życia i o bardzo różnorodnej tematyce. Są to wykłady popularne i półpopularne, eseje z dziejów matematyki, artykuły dydaktyczne, przemówienia wygłaszane na uroczystościach uniwersyteckich i posiedzeniach towarzystw naukowych. Zaprezentowane artykuły dotyczą m.in. historii matematyki, odkryć matematycznych, teorii gier, rachunku prawdopodobieństwa. Znaleźć tu można również rozdziały poświęcone zastosowaniom matematyki, np. niezwykle ciekawą, acz trochę przestarzałą, pracę „O dochodzeniu ojcostwa", czy artykuł „Na marginesie cybernetyki", w którym na końcu autor stawia następujące pytanie: „Jak zakończy się gra między człowiekiem a maszyną?" I odpowiada na nie: „Nie wiem, ale wiem, że jest to gra o nieskończenie wielką stawkę..." .

Końcowa część książki to trzy wspomnienia o zmarłych uczonych, którzy wnieśli ogromny wkład w rozwój polskiej matematyki: Leonie Lichtensteinie, Zygmuncie Janiszewskim i Stefanie Banachu.

Dwie ostatnie publikacje to przemówienia wygłoszone przez Steinhausa z okazji nadania mu doktoratu honorowego przez Uniwersytet Warszawski (28 kwietnia 1958) i Uniwersytet Poznański (16 listopada 1963).

Wydawnictwo Naukowe PWN zdecydowało się opublikować prace tego wspaniałego uczonego ze względu na piękno języka, oryginalność argumentacji i wielką kulturę wypowiedzi, a tytuł zbioru to słowa H. Steinhausa, które wyryto na płycie nagrobnej zmarłego w 1972 roku profesora.

Józef Łukaszewicz, uczeń Steinhausa, autor *Przedmowy* zachęca do lektury innych prac swego Mistrza, polecając przede wszystkim *Kalejdoskop matematyczny* i *Sto zadań*. W książce zamieszczono dane bibliograficzne dwudziestu publikacji po które można sięgnąć, by naprawdę poznać tego wspaniałego uczonego.

(MP)

XXXVI ZJAZD FIZYKÓW POLSKICH

Toruń, 17 – 20 września 2001

Oddział Toruński Polskiego Towarzystwa Fizycznego,
Instytut Fizyki, Uniwersytet Mikołaja Kopernika
ul. Grudziądzka 5/7, 87-100 Toruń,
tel. (56) 6113285, (56) 6113282, fax (56) 6225397
e-mail: ptf@phys.uni.torun.pl, http://www.phys.uni.torun.pl/~ptf

---

Zapraszamy do odwiedzania zjazdowej strony www, na której zamieszczane są na bieżąco wszystkie informacje.

Osobom, które zgłoszą swój udział w XXXVI Zjeździe Fizyków Polskich zostaną przesłane dalsze materiały informacyjne. W piątek 21.09.2001 r planowane jest zorganizowanie wycieczek. Ich trasy i koszty zostaną podane w terminie późniejszym.

Komitet Organizacyjny zdecydował zorganizować cztery sesje plakatowe:
– Fizyki Atomowej Molekularnej i Optycznej (FAMO),
– Fizyki Fazy Skondensowanej (FFS),
– Fizyki Jądra, Cząstek Elementarnych i Oddziaływań Fundamentalnych (FJEF)
– Dydaktyki Fizyki.

Zgłoszenia plakatu wraz z jednostronicowym streszczeniem należy przesłać w nieprzekraczalnym terminie do 15.06.2001 r.

Zakwaterowanie i koszty uczestnictwa:

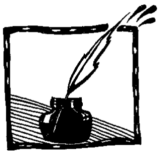
dom studencki – pokój dwuosobowy	opłata	
	do 15.06.2001	po 15.06.2001
– pełna	750 zł	850 zł
– członkowie PTF	630 zł	730 zł
– nauczyciele, studenci, uczniowie	460 zł	560 zł
Osoba towarzysząca (bez materiałów konferencyjnych)	380 zł	480 zł

Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego
Prof. dr hab. A. Bielski

The GIREP conference 2002
4^{th} – 9^{th} August

Physics in new fields and modern applications

http://www.pef.uni-lj.si/girep
http://www.girep.org



KOMUNIKATY REDAKCJI

TERMINY SPOTKAŃ ŚRODOWYCH

IF UJ, PTF Sekcja Nauczycielska
Kraków, ul. Reymonta 4, parter – sala 055

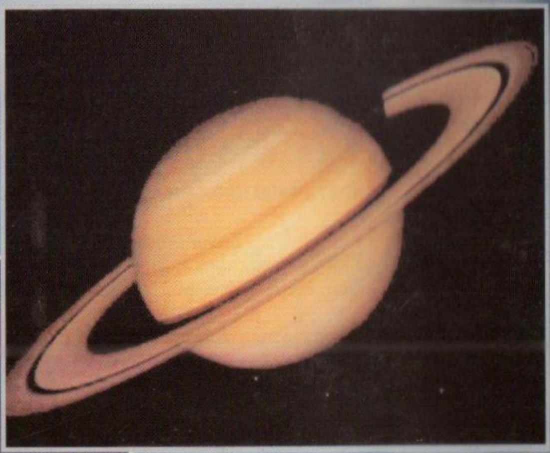
Uprzejmie informujemy, iż w **środy o 16^{00}** w Instytucie Fizyki UJ odbywają się wykłady i pokazy dla młodzieży szkół średnich.

30.V.2001 dr Joanna Janik – *O ciekłych kryształach*

Pracownia Zbiorów w IF UJ informuje, że może organizować płatne pokazy demonstracji fizycznych na uzgodnione ze szkołami tematy. Koszt jednego pokazu wynosi 200 zł (rozkłada się na szkoły). Kontakt: **Pracownia Zbiorów, dr Jerzy Mucha, tel: 632-48-88 w 5504**.

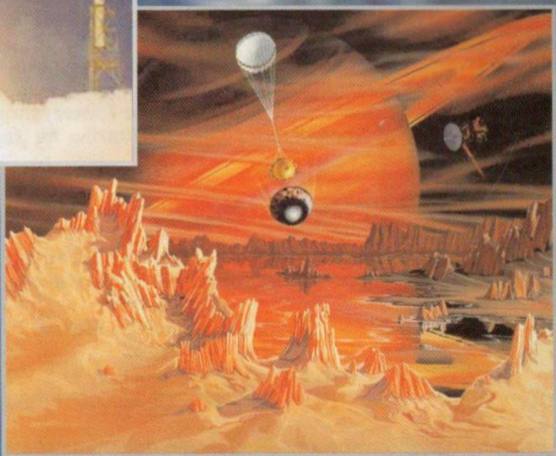
Uczestnictwo w wykładach wyłącznie po zgłoszeniu telefonicznym:
632-48-88 w. **5563** oraz **5677**, lub za pośrednictwem e-mail: **foton@.if.uj.edu.pl**

Z przyczyn losowych terminy mogą ulec przesunięciu.



Saturn

Rakieta
Tytan IV B



Wizja
lądowania