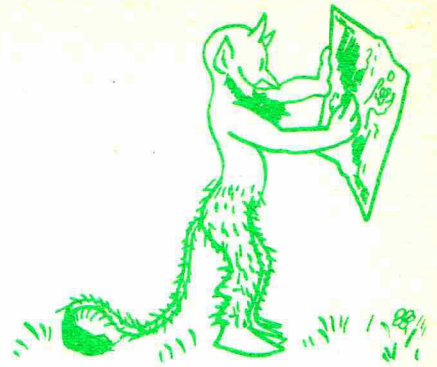


Gdy na wycieczce górskiej stwierdzimy, że teren nie zgadza się z mapą, myślimy od razu „Źle jest, zablądziliśmy” i szukamy powrotu do ostatniego miejsca, w którym się zgadzało. Nie przychodzi nam nigdy do głowy, że mapa — nasza nieodzowna pomocniczka — może być na przykład błędnie wydrukowana. Gdy w badaniach przyrodniczych stwierdzamy, że doświadczenie nie zgadza się z teorią matematyczną, szukamy najpierw błędów rachunkowych, a gdy ich nie znajdujemy, mówimy: „teoria jest zła”. Nie przychodzi nam do głowy, że matematyka — nasza nieodzowna pomocniczka — może w gruncie rzeczy kiepsko nadaje się do opisu rzeczywistości? Wszystkie znane fakty przeczą temu, ale jak jest naprawdę?



Od magnesu i bursztynu...

Doc. dr Michał ŚWIĘCKI

Na czym polega tworzenie jakiegokolwiek teorii fizycznej? Wbrew sugestiom, które nasuwa podział fizyki na doświadczalną i teoretyczną, trzeba wyraźnie stwierdzić, że praca ta nosi przede wszystkim charakter działalności umysłowej. Cała historia zaczyna się z reguły od zauważenia pewnego mniej lub bardziej powszechnego zjawiska. Po wybraniu, założymy, że udatnym, przedmiotu badań, należy uruchomić wyobraźnię i przyjąć jakieś założenia dotyczące przyczyn i wspólnych cech interesujących zjawisk. Cechy wspólne noszą zawsze charakter czysto jakościowy i dlatego poszukiwanie ich mniej lub bardziej ilościowych przyczyn wymaga wprowadzenia różnych nowych koncepcji (np. siły, masy, ładunku, neutronu), których próżno szukać w przedmiocie badanym. Pojęcia te i przyczyny można w zasadzie tworzyć w dowolny sposób. Jedynym fundamentalnym ograniczeniem jest konieczność wyobrażenia sobie takich sztucznie wytworzonych warunków, przy których można badać każdą przyczynę oddzielnie. Dopiero wtedy czas na przeprowadzanie doświadczeń, które polegają na możliwie dokładnym stworzeniu takich właśnie, nietypowych dla danego zjawiska, warunków i zbadaniu ilościowych praw rządzących wprowadzonym pojęciem. Jeżeli prawa te nie mają prostej matematycznej struktury, cały opis jest do luzu. W przeciwnym razie mówimy, że odkryliśmy prawo fizyczne. Wykorzystując je możemy teraz budować maszyny, co jest jednak domeną fizyki stosowanej i inżynierii. Odkryte prawo sprawdza się następnie w różnych sztucznie wytworzonych warunkach doświadczalnych, aż wreszcie wykrywa się jakieś odstępstwo. Czas na wprowadzenie nowych uogólnionych przyczyn i pojęć. Jest zadziwiająca cecha geniuszu ludzkiego, że liczba praw maleje z upływem czasu, a liczba zjawisk, które umiemy opisać, rośnie. Jako przykład tworzenia koncepcji fizycznych wybraliśmy historię rozwoju nauki o elektryczności i magnetyzmie. Będzie to oczywiście historia współczesnej fizyki widziana naszymi oczami.

Nie ulega wątpliwości, że dziwne własności potartego bursztynu oraz skał magnetycznych znane były już w starożytności. Historię naszą zaczniemy jednak dopiero gdzieś w XVI wieku. O magnesach wiedziano już wtedy stosunkowo dużo. Nic dziwnego. Ich własności były bardzo trwałe i mogły być przekazywane przez potarcie (namagnesowanie) przedmiotom żelaznym, a więc tym samym, których przyciąganie uprzednio odkryto. Znana była igła magnetyczna oraz jej dwa bieguny wraz z własnością ich wzajemnego przyciągania i odpychania, a także fakt ustawiania się igły w kierunku północ-południe. O elektryczności nie wiedziano prawie nic. Nie posunięto się prawie wcale poza fakt zaobserwowany już przez Talesa z Miletu, że potarty bursztyn przyciąga skrawki różnych materiałów, że szybko traci tę własność i nie przekazuje jej przyciąganym skrawkom. Pierwsza znana koncepcja teoretyczna wprowadzona przez Williama Gilberta w 1600 roku dotyczyła więc magnetyzmu. Polegała ona na założeniu, że Ziemia jest magnesem. Z teorii tej wynikało, że igła magnetyczna w różnych miejscach kuli ziemskiej inaczej nachyla się do poziomu. Można było też ocenić zależność tzw. kąta inklinacji od szerokości geograficznej i porównać te wyniki z doświadczeniem. Poważne badania elektryczności zaczęto prowadzić dopiero w XVII wieku. Stwierdzono wtedy, że nie tylko bursztyn nabiera przez potarcie własności przyciągania, i zbudowano pierwsze maszyny elektrostatyczne (Otto von Guericke w 1651 roku) oparte na tym zjawisku. Przy okazji stwierdzono, że zjawisku elektryzowania przez tarcie towarzyszy pojawianie się isker, co nasunęło myśl o elektrycznym pochodzeniu piorunów. Hipoteza ta została udokumentowana doświadczalnie dopiero w połowie XVIII wieku przez Beniamina Franklina.





Rozwiązanie zadania M 196
Przez πM będziemy oznaczać iloczyn wszystkich liczb skończonego zbioru M złożonego z liczb naturalnych. Niepustemu podzbiorni D zbioru $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ przyporządkujemy zbiór tych liczb pierwszych p_{11}, \dots, p_{1n} , które w rozkładzie liczby πD na czynniki pierwsze występują w potęgach nieparzystych. Otrzymamy w ten sposób odwzorowanie $(2^n - 1)$ -elementowego zbioru $2^A \setminus \{\emptyset\}$ w zbiór $2^n - 1$ -elementowy. Musi ono przyjmować równe wartości na dwóch różnych podzbiornach, które oznaczymy przez B i C . Zauważmy, że w rozkładzie iloczynu $\pi B \cdot \pi C$ na czynniki pierwsze wszystkie liczby pierwsze występują w potęgach parzystych i wobec tego $\pi B \cdot \pi C$ jest kwadratem pewnej liczby naturalnej. Równocześnie $\pi B \cdot \pi C = \pi(B \setminus C) \cdot \pi(B \cap C) \cdot \pi(C \setminus B) \cdot \pi(B \cap C) = \pi((B \setminus C) \cup (C \setminus B)) \cdot (\pi(B \cap C))^2$ i wobec tego iloczyn $\pi((B \setminus C) \cup (C \setminus B))$ jest również kwadratem liczby naturalnej. Szukanymi liczbami są liczby należące do zbioru $(B \setminus C) \cup (C \setminus B)$ tj. do różnicy symetrycznej zbiorów B i C .



Tak więc już w XVII wieku obserwowano zjawiska towarzyszące przepływowi prądu elektrycznego, chociaż nie wiadano nic o dwóch rodzajach elektryczności. Nie rozróżniano też przewodników i izolatorów. Wiek XVIII przyniósł wiele nowych odkryć. Przede wszystkim po raz pierwszy stwierdzono, że ciała naelektryzowane przez tarcie mogą udzielać swej własności innym ciałom przez dotknięcie oraz przez indukcję w wyniku zbliżenia (Stephen Gray). Oczekiwano tego od dawna, szukając związku między elektrycznością i magnetyzmem. Próbuąc elektryzować różne ciała stwierdzono, że metale (przewodniki) nie elektryzują się przez tarcie, natomiast łatwo elektryzują się przez zbliżenie i dotknięcie ręką (ręką zapewne po prostu przytrzymywano ciała przy elektryzacji). Zupełnie na odwrót zachowywały się niemetały (izolatory). Szukano też, obserwowanych od dawna dla magnesów i igieł magnetycznych, specyficznych własności oddziaływania między ciałami już naelektryzowanymi. I znaleziono. Stwierdzono, że niektóre z nich przyciągają się, inne odpychają. Nadszedł czas na pierwsze poważne koncepcje teoretyczne.

Pojawiły się one w połowie XVIII wieku i polegały na założeniu istnienia dwóch tylko rodzajów elektryczności (Charles Dufay w 1733 roku), podobnie do dwóch biegunów magnesu. Najbardziej płodna okazała się teoria wiążąca własności elektryczne ciał z pewnego rodzaju materią. Materią tą były dwa rodzaje płynów (lub jeden rodzaj oraz jego brak), które mogły w odpowiednich warunkach przepływać z jednego ciała do drugiego elektryzując je różnoimiennie. Od tego czasu wszystkie zjawiska elektryczne zaczęto opisywać, posługując się jakościowymi na razie pojęciami ilości elektryczności (ładunku) dodatniej bądź ujemnej, pojemności elektrycznej ciał oraz przepływu elektryczności (prądu elektrycznego) wraz z jego cechami: różnicą poziomów (napięciem), szybkością (natężeniem) i oporem. Teoria płynu elektrycznego utrzymała się do końca XIX wieku. Dopiero doświadczenia Millikana wykazały, że płyn ten przelewa się porcjami i wygodniejsze stało się pojęcie elektronowej struktury elektryczności.

Teoria płynu elektrycznego łatwo mogła być zastosowana do jakościowego opisu znanych zjawisk. Wraz z nią pojawiła się jednak możliwość wykonywania doświadczeń ilościowych, których wyniki można było zbierać w postaci praw. Pionierską pracę wykonał w 1784 roku Charles Coulomb. Umiał on przenosić własności elektryczne z jednych ciał na drugie, a zgodnie z teorią płynu dwukrotnie „takie samo” przeniesienie odpowiadało naładowaniu ładunkiem dwa razy większym. W ten sposób Coulomb zmierzył zależność siły oddziaływania ładunków od ich ilości oraz wzajemnej odległości. Powstało pierwsze prawo elektryczności, którego postać okazała się zadziwiająco podobna do prawa powszechnego ciężenia Newtona. Warto wiedzieć, że w tym samym doświadczeniu Coulomb odkrył występowanie identycznego prawa sił dla oddziaływań końców (biegunów) długich wąskich magnesów. Zapomnieliśmy trochę o magnetyzmie, w którym oczywiście również zapanowała teoria płynów magnetycznych. Niestety płyny te nie dały się zupełnie rozdzielić i zawsze biegunowi północnemu towarzyszył biegun południowy. Nic dziwnego, że teoria płynu okazała się tu bezpłodna. Zwróćmy uwagę, że od czasów Newtona usiłowano wszystkie rodzaje oddziaływań sprowadzić do centralnych sił elementarnych działających między elementami ciał wzdłuż łączących je prostych. Oddziaływanie magnesów nie miało tej własności i obserwowana nierozdzielność biegunów stawiała całą koncepcję pod znakiem zapytania.

W każdym razie dopiero pod koniec XVIII wieku wiedza dotycząca elektryczności zrównała się z informacjami o magnetyzmie, przy czym płyny magnetyczne nie chciały płynąć, w przeciwieństwie do łatwo przenoszonych wzdłuż przewodników ładunków elektrycznych. Przyszedł czas na znalezienie źródła prądu elektrycznego bardziej trwałego od kondensatorów (od niedawna znana już była butelka lejdejska). Zaczęło się od dwóch przypadków lekarza Luigiego Galvaniego. Najpierw stwierdził (przypadkiem), że rozładowanie maszyny elektrostatycznej przez udka żabie (przysmak w krajach romańskich) wywołuje ich skurcze. Następnie badając to zjawisko odkrył (przypadkiem), że takie same skurcze pojawiają się bez żadnego źródła ładunków, o ile oba końce udka stykają się z różnymi metalami połączonymi ze sobą przy pomocy przewodnika. Galvani nie miał żadnej koncepcji odkrytego zjawiska. Miał je za to Alessandro Volta, który przyjął, że źródłem ładunków są reakcje chemiczne zachodzące między metalem a udkami żabim. Różne metale, więc i różne reakcje. Może więc i różne ładunki. Tak powstało ogniwo elektryczne (1799 rok) umożliwiające utrzymywanie prądu w przewodnikach przez dłuższy czas. A na marginesie powstała nowa gałąź wiedzy — elektrochemia.

Wraz z powstaniem trwałego źródła ładunków elektrycznych można było zacząć badania praw rządzących przepływem prądu. Nie jest to zbyt pasjonująca historia. Teoria płynów okazała się bardzo przydatna i odpowiednie prawa są podobne do najprostszych praw hydrodynamiki. Stwierdzono przy okazji, że płynący prąd może wywoływać zjawiska cieplne — przewodniki z prądem rozgrzewają się. Można było zbudować pierwsze mierniki szybkości przepływu (natężenia prądu) o działaniu opartym na rozszerzalności cieplnej przewodników. Równocześnie kontynuowano prace doświadczalne mające na celu znalezienie jakiegokolwiek związku między magnetyzmem i elektrycznością. Najwybitniejsi fizycy tych czasów wieszali ogniwa Volty na sznurku i przystawiali do nich magnesy bez żadnego rezultatu. Wprawdzie ciała naładowane elektrycznie przyciągały igłę magnetyczną, ale fakt ten był w teorii płynu wyjaśniany jako elektryzacja końca igły przez indukcję i nie miał związku z namagnesowaniem samej igły.



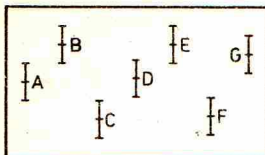
Próbowano również umieszczać igłę magnetyczną w pobliżu przewodnika z prądem. Jednak fizycy ówczesni byli na tyle przesiąknięci ideami Newtona, że nie byli w stanie wyobrazić sobie innego rodzaju oddziaływania niż przyciąganie czy odpychanie. Umieszczano więc igłę tak, że mogła obracać się swobodnie jedynie w płaszczyźnie zawierającej przewodnik. Od lub do przewodnika. I nie stwierdzano niczego. Dopiero fizyk samouk Hans Christian Oersted umieścił igłę zupełnie bez sensu — nad przewodnikiem — i odkrył prawo oddziaływania, które nie było ani przyciąganiem, ani odpychaniem, ale oddziaływaniem w kierunku określonym przez regułę prawej ręki. A przecież wiadano od dawna, że podobnie oddziałują magnesy. Tam jednak, pomijając ważną, choć w teorii płynów techniczną, trudność nierozdzielności biegunów, można było wyjaśnić wszystko przez czysto newtonowskie (coulombowskie) centralne siły działające między biegunami małych składowych magnesików. Koncepcja ta runęła wraz z odkryciem Oersteda. Było to ani odpychanie, ani przyciąganie, ale działanie w kierunku mającym niewiele wspólnego z linią łączącą elementy ciał. Widać to wyraźnie, jeżeli zamiast przewodnika prostoliniowego użyje się zwojnicy. Całe zjawisko oddziaływania magnesów z prądami oraz prądów z prądami (to badanie samo się narzucało) szybko zbadano i opisano ilościowo (Ampère oraz Biot i Savart). Już wtedy pojawiło się pojęcie pola fizycznego wraz z jego natężeniem. Jeżeli bowiem nie oddziaływanie między ciałami, to może między ciałem i polem wytworzonym przez drugie ciało. Ta koncepcja nie miała już nic wspólnego z ideami Newtona. Wydaje się jednak, że pierwszym, który w istotny sposób związał swe badania z pojęciem pola elektrycznego i magnetycznego był inny fizyk samouk, Michael Faraday. Dotychczas badano ruchy ciał. Zajmijmy się więc ruchem pól. Zmiany pola magnetycznego można wywołać poruszając magnes, ale również przerywając obwód z prądem elektrycznym. I Faraday rozpoczął swą fantastyczną serię doświadczeń odkrywając prawa indukcji elektromagnetycznej (1831 rok), budując silnik elektryczny, transformator oraz pierwszą prądnicę. Następnie James Clerk Maxwell (1864 rok) zapisał całą dotychczasową wiedzę o polach w zwartej postaci matematycznej. Odtąd źródłem powstania pola elektrycznego mogła być zarówno obecność ładunków elektrycznych, jak i zmienne pole magnetyczne. Otrzymane równania nie mają jednak rozwiązań. To drobiazg. Brak przecież jeszcze jednego nie odkrytego prawa. Dopisujemy je — źródłem pola magnetycznego mogą być nie tylko prądy elektryczne, ale także zmienne pole elektryczne — i teoria nie ma żadnych luk. Rozwiązujemy otrzymane równania i co się okazuje. Otrzymujemy fale elektromagnetyczne rozchodzące się z prędkością równą, w granicach błędów doświadczalnych, prędkości światła. Przypadek?! Oczywiście Maxwell założył, że światło to też fala elektromagnetyczna.

Skąd tu fala, powiecie. Płyną sobie jakieś nieważkie płyny elektryczne i one, a nie między nimi, może coś falować. Ano, falowość wynika z założonej koncepcji pola, jako rzeczywistego (równie rzeczywistego, jak pojęcie siły u Newtona) obiektu. W mechanice ośrodków sprężystych źródłem fali jest przekazywanie energii drgań z jednego elementu na drugi. W koncepcji polowej same drgania pola mogą być źródłem nowego pola. Żaden eter drgający nie jest tu potrzebny. I nic dziwnego, że z trzaskiem go z fizyki wyrzucono (Albert Einstein w 1905 roku).

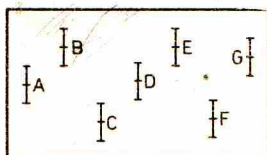
Na zakończenie tej historii nasuwa się następująca refleksja. Przynajmniej dwa podstawowe odkrycia zostały uczynione bądź przypadkiem (Galvani), bądź niezgodnie z regułami gry (Oersted). Sytuacje takie miały miejsce również w historii innych dziedzin fizyki. Najlepszym dla nas przykładem będzie odkrycie zjawiska fotoelektrycznego. Mało kto wie, że dokonał tego Heinrich Hertz w tym samym doświadczeniu, w którym potwierdził falową naturę zjawiska indukcji elektromagnetycznej (1886 rok). Przerwę w przewodniku, odbiorniku fal po prostu czasem oświetlał. Obserwował wtedy wyraźne nasilenie intensywności iskier. Dopiero jego uczeń, Philipp Lenard, zajął się tym zakłóceniem, za co wiele lat później otrzymał Nagrodę Nobla. Obecnie stosowane techniki doświadczalne pozostawiają bardzo mało miejsca na tego typu odkrycia przypadkowe. Nie mamy zaś prawie wcale możliwości czynienia odkryć niezgodnych z regułami gry. Kto bowiem da milion dolarów na budowę akceleratora, który prawie na pewno nie będzie nic wart?!



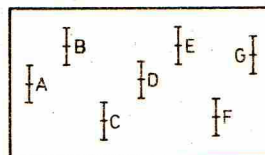
„Maluj sam” — wydawnictwo dla początkujących fizyków



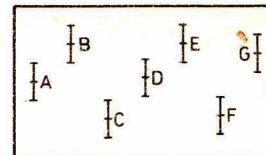
1. Dane doświadczalne. Teoria przewiduje pik w punkcie *E*. Zamaluj *E* na czerwono.



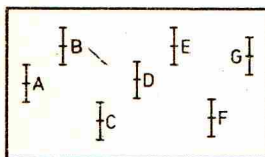
2. Dane doświadczalne. Teoria nie przewiduje pik w punkcie *E*. Zamaluj *E* na szaro.



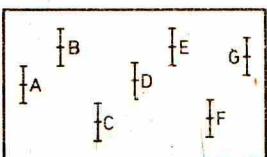
3. Dane doświadczalne. Teoria nie ma z nimi nic wspólnego. Zamaluj błędy na czarno GRUBYM... GRUBYM... GRUBYM... mazakiem.



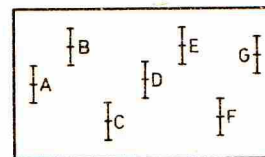
4. Dowód istnienia nowego, Spin-U-niezmienniczego dodekupletu. Nie ma czasu na malowanie. Natychmiast wysłać do *Phys. Rev. Letters*. (Kopia do *Expressu Wieczornego*.)



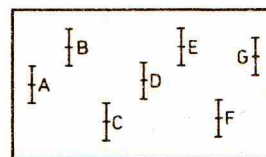
5. Diagram Feynmana. Połączyć *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G* wszystkimi możliwymi grubymi, cienkimi, przerywanymi i falistymi liniami i pomalować całość niezmienniczo ze względu na skalowanie.



6. Diagram Dalitza. Po nałożeniu na mapę świata punkty wskażą, gdzie go można zastać.



7. Punkty w niefizycznym obszarze argumentu zespolonego. Jeden tylko Chew wie, co to takiego. Jeżeli zgadzasz się z jego teorią, pomaluj całość na złoto. Jeśli nie, przeprowadź rozcięcie od *A* do ∞ , następnie od *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G* — do ∞ . Strzępki wyrzucić.



8. Punkty eksperymentalne na IDJ-gramie. Jeżeli jesteś idiotą, pomaluj obrazek na wszystkie barwy tęczy. Jeśli nie — weź tabletkę antyhistograminy i idź spać.

(za *Journal of Irreproducible Results*)



Zadania



Redaguje mgr Krzysztof NOWIŃSKI

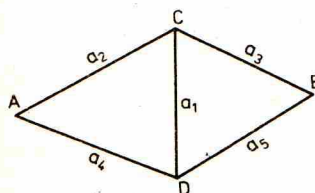
M 196. Wykazać, że jeżeli w rozkładach n liczb naturalnych a_1, \dots, a_n na czynniki pierwsze występuje co najwyżej $n-1$ różnych liczb pierwszych, to można znaleźć iloczyn k tych liczb (tj. k spośród a_1, \dots, a_n) będący kwadratem liczby naturalnej.

Rozwiązanie na str. 9

M 197. Z *A* do *B* możemy przesłać wiadomość albo bezpośrednią linią komunikacyjną, albo korzystając z przedstawionej na rysunku sieci połączeń pośrednich. Wszystkie linie są jednakowo zawodne, to znaczy prawdopodobieństwo przesłania wiadomości na każdym z odcinków wynosi p , przy czym możliwe uszkodzenia są zdarzeniami niezależnymi. Która z dróg łączności pomiędzy *A* i *B* jest pewniejsza?

Rozwiązanie na str. 3

M 198. Jakie wielokąty foremne możemy otrzymać przecinając płaszczyznę ośmiościan foremny? Rozwiązanie na str. 4



Redaguje dr Halina ABRAMOWICZ

F 66. Na zdjęciach fotograficznych przedmioty znajdujące się w pewnym zakresie odległości od obiektywu są przedstawione z zadowalającą ostrością. Jeżeli obiektyw ustawiony jest na odległość x (wtedy obrazem punktu znajdującego się w odległości x jest też punkt), to punkty znajdujące się w innej odległości będą na kliszy przedstawione jako rozmyte plamki. Zakładając, że plamki o średnicy mniejszej lub równej d widzimy jako punkty (jest to związane ze zdolnością rozdzielczą oka), znaleźć minimalną i maksymalną odległość od obiektywu przedmiotów przedstawionych ostro na zdjęciu. Obiektyw można w przybliżeniu uważać za cienką soczewkę o średnicy $2r$ i ogniskowej f . Obliczyć, jaki maksymalny czas naświetlania trzeba przyjąć przy fotografowaniu przedmiotów poruszających się z daną prędkością.

Rozwiązanie na str. 14