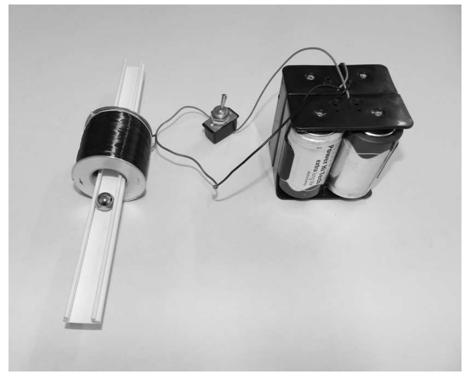
Gauss, cel, pal!

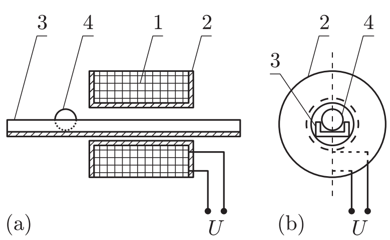
Stanisław BEDNAREK



Fot. 1. Elektromagnetyczne działo Gaussa.

Klasyczne działa miotające pociski siłą wywieraną przez gazy wytwarzane podczas detonacji chemicznych materiałów wybuchowych znane są co najmniej od kilkuset lat. Tymczasem do rozpędzania pocisków można także użyć oddziaływań elektromagnetycznych – taką broń nazywamy działem Gaussa. Na pierwszy ogień naszych doświadczeń pójdzie elektromagnetyczne działo Gaussa. Żeby je zbudować, z dolnej części korytka kablowego odcinamy brzeszczotem piłki do metalu odcinek o długości około 15 cm i umieszczamy go w otworze cewki położonej na stole. Końcówki cewki łączymy przewodami poprzez otwarty wyłącznik z baterią, a w korytku kablowym, tuż przed otworem cewki, kładziemy kulę łożyskową. Zamykamy na chwilę wyłącznik i obserwujemy, że kulka potoczyła się do wnętrza cewki i wyleciała z drugiej strony ze znaczną prędkością. W ten sposób oddaliśmy pierwszy strzał z działa Gaussa.

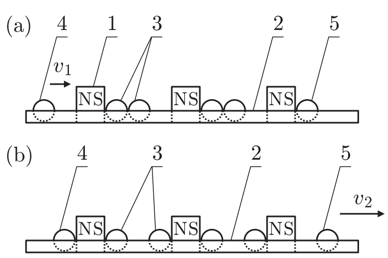
Potrzebne materiały: plastikowe korytko kablowe – do kupienia w sklepie z materiałami elektroinstalacyjnymi (wystarczy kawałek o długości ok. 0,7 m i szerokości ok. 1 cm), cewka z otworem, umożliwiającym wsunięcie korytka (wypożyczona z pracowni fizycznej lub samodzielnie nawinięte kilkaset zwojów miedzianego drutu w emalii o średnicy ok. 0,5 mm na izolacyjnej szpuli), 4 baterie R20, pojemniki na baterie, wyłącznik, przewody połączeniowe, lutownica, wąska taśma klejąca, nożyczki, linijka, brzeszczot piłki do metalu, miernik uniwersalny, stoper, dostęp do czułej wagi (wystarczy tania, elektroniczna waga jubilerska), kilka walcowych magnesów neodymowych o średnicy ok. 1 cm i wysokości ok. 5 mm (do kupienia w sklepie z częściami elektronicznymi), stalowe kulki łożyskowe o średnicy kilku milimetrów w liczbie co najmniej dwa razy większej niż liczba magnesów.



Rys. 1. Budowa elektromagnetycznego działa Gaussa: (a) przekrój podłużny, (b) widok z przodu; 1 – uzwojenie, 2 – szpulka izolacyjna (karkas), 3 – korytko kablowe, 4 – kulka, U – impuls napięcia.

Kulka uzyskała energię kinetyczną w wyniku przemiany energii prądu elektrycznego, przepływającego przez cewkę, która z kolei zmieniła się na energię pola magnetycznego wciągającego kulkę do wnętrza cewki. Sprawność takiego działa jest jednak niewielka. Aby ją oszacować, powinniśmy zmierzyć natężenie prądu I, napięcie baterii U i czas zamknięcia wyłącznika t – następnie obliczamy energię prądu ze wzoru $E = UIt$. Energię kinetyczną kulki obliczamy ze wzoru $E_K = \frac{mgz^2}{4h}$, gdzie m jest masą kulki, z zasięgiem rzutu poziomego, a h wysokością, z której wystrzeliwujemy kulkę. Sprawność działa to stosunek E_K/E.

Znacznie większą prędkość nadaje kulkom magnetyczne działo Gaussa, które jeszcze łatwiej zbudować. Odcinamy kawałek dolnej części korytka kablowego o długości około 40 cm i w nim umieszczamy kilka walcowych magnesów neodymowych w odstępach około 3–4 cm. Magnesy przyklejamy przez owinięcie ich i korytka kilka razy taśmą klejącą. Wszystkie magnesy powinny mieć tak samo zorientowane bieguny magnetyczne, np. wszystkie bieguny S w prawo. Tak przygotowane korytko kładziemy poziomo i między magnesami umieszczamy po dwie kulki łożyskowe jak na rysunku 2(a). Żeby oddać strzał, umieszczamy jeszcze jedną kulkę w korytku przed pierwszym magnesem i lekko ją popychamy w stronę tego magnesu, nadając pewną prędkość v_1. Stwierdzimy wtedy, że kulka dotykająca ostatniego magnesu wyleci z korytka z prędkością $v_2 \gg v_1$. Zmieni się przy tym rozmieszczenie pozostałych kulek – popchnięta kulka (nalatująca) zostanie przyciągnięta do pierwszego magnesu, natomiast kulki między magnesami rozdzielą się i każda z nich będzie przylegała do innego magnesu (rys. 2(b)).

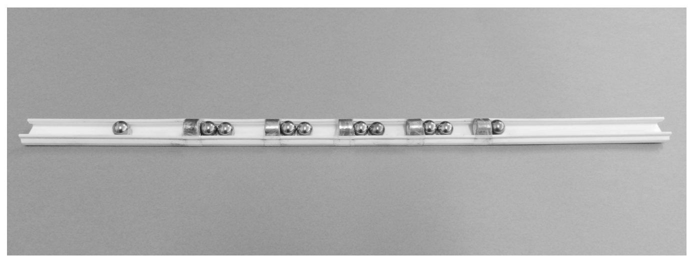


Rys. 2. Magnetyczne działo Gaussa widziane z boku: (a) przed wystrzałem, (b) po wystrzale; 1 – magnes walcowy, 2 – korytko kablowe, 3 – kulki pośrednie, 4 – kulka nalatująca, 5 – kulka wystrzeliwana, N, S – bieguny magnesów, v_1, v_2 – prędkości kulki nalatującej i wystrzelonej.

Aby oddać następny strzał, należy działo „naładować” przez przywrócenie rozmieszczenia kulek z rysunku 2(a). Ponieważ kulka wystrzelona ma znacznie większą energię kinetyczną niż kulka nalatująca, to zasadne jest pytanie, dlaczego ta wersja działa nie łamie zasady zachowania energii. Wzrost energii kinetycznej wystrzelonej kulki pochodzi z przemiany różnicy energii potencjalnej oddziaływania magnetycznego układu magnesów i kulek w konfiguracjach pokazanych na rysunkach 2(b) i 2(a). W czasie ładowania działa wykonujemy pewną pracę, pokonując siły oddziaływania magnetycznego. Właśnie ta praca zostaje zgromadzona w postaci energii potencjalnej układu. Magnetyczne działo Gaussa stanowi nie tylko atrakcyjną zabawkę, ale nadaje się również do badań ilościowych.

Rozpędzając kulkę nalatującą na równi pochyłej i mierząc zasięg kulki wystrzelonej z działa w celu wyznaczenia jej prędkości początkowej, możemy określić stosunek prędkości kulki nalatującej i wystrzeliwanej, a także zbadać go w zależności od takich czynników jak: ilość magnesów, odległość między nimi, wysokość równi, czy ilość kulek między magnesami. Znaczny wzrost prędkości kulki wystrzeliwanej można uzyskać, umieszczając za ostatnim magnesem dwie kulki.

Na koniec ważna uwaga. Ulepszone działa Gaussa mogą wyrządzić szkody – pistolety ze strzałkami magnetycznymi są używane jako tajna broń przez służby specjalne, m.in. ze względu na ciche działanie. Polskie prawo (ustawa o broni i amunicji) nie obejmuje stosownymi ograniczeniami urządzeń miotających pociski za pomocą pola elektromagnetycznego. Jak zawsze, należy jednak zachować ostrożność i zdrowy rozsądek.



Fot. 2. Testowane magnetyczne działo Gaussa.

Zadania

Redaguje Tomasz TKOCZ

M 1393. Znaleźć wszystkie funkcje f postaci

$$f(x_1, \ldots, x_n) = a_1x_1 + \ldots + a_nx_n,$$

dla pewnych $a_1, \ldots, a_n \in \mathbb{R}$, które na zbiorze $\{-1,1\}^n$ przyjmują tylko dwie wartości: $+1$ lub -1, tzn. takie, że jeśli $x_i \in \{-1,1\}$ dla $i = 1, \ldots, n$, to $f(x_1, \ldots, x_n) \in \{-1,1\}$.
Rozwiązanie na str. 10

M 1394. Niech wielomian f postaci

$$(*)\qquad \begin{aligned} f(x_1, \ldots, x_n) = a_0 &+ (a_1x_1 + \ldots + a_nx_n) + \\ &+ (b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + \ldots b_{1n}x_1x_n + \\ &+ b_{23}x_2x_3 + \ldots + b_{2n}x_2x_n + \ldots + b_{n-1,n}x_{n-1}x_n) \end{aligned}$$

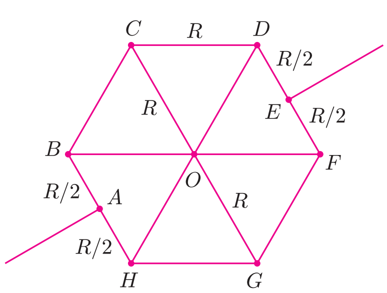
przyjmuje na zbiorze $\{-1,1\}^n$ tylko dwie wartości -1 lub 1. Udowodnić, że suma kwadratów jego współczynników wynosi 1.
Rozwiązanie na str. 23

Uwaga. Mówiąc ogólnie, w zadaniach badamy własności funkcji boole'owskich, czyli przyjmujących tylko dwie wartości, określonych na zbiorze $\{-1,1\}^n$, nazywanym *kostką dyskretną*.

M 1395. Czy istnieje wielomian f zadany wzorem $(*)$, taki że dokładnie trzy spośród jego współczynników $a_0, \ldots, b_{n-1,n}$ są niezerowe, i o tej własności, że na zbiorze $\{-1,1\}^n$ przyjmuje on tylko wartości -1 i 1? A jeśli założymy, że dokładnie cztery współczynniki mają być niezerowe?
Rozwiązanie na str. 22

Przygotowali Andrzej MAJHOFER i Michał NAWROCKI

F 837. Mieszanina gazów doskonałych zawiera $0 < x < 1$ moli gazu A i $1 - x$ moli gazu B. Molowe masy gazów oraz ich molowe ciepła właściwe w stałej objętości i pod stałym ciśnieniem wynoszą odpowiednio m_A, c_{VA}, c_{pA} oraz m_B, c_{VB}, c_{pB}. Ile wynosi prędkość dźwięku c w tej mieszaninie w temperaturze T? Uniwersalna stała gazowa wynosi R.
Rozwiązanie na str. 8



F 838. Znaleźć oporność zastępczą pomiędzy punktami A i E układu oporników w kształcie sześciokąta foremnego z przekątnymi (rysunek), zbudowanego z 12 jednakowych elementów, o oporze R każdy.
Rozwiązanie na str. 6