

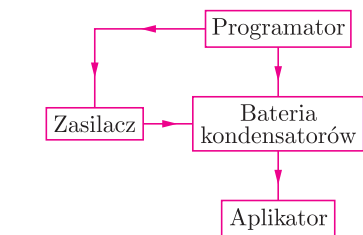
Rys. 1. Schemat układu do wytwarzania pól magnetycznych z możliwością modulacji.

Pierwsze próby wykorzystania pól magnetycznych do celów leczniczych miały miejsce już w starożytnym Egipcie i Grecji. Istnieją dowody na to, że Aesculapides, jeden z ówczesnych greckich uczonych, obserwował wpływ pól magnetycznych, wytworzonych zapewne przez kawałki rudy żelaza zwane magnetytem, na organizm człowieka. Istotne rozszerzenie zakresu zastosowań pól magnetycznych o niskiej częstotliwości do leczenia różnych schorzeń i poprawy funkcjonowania ludzkiego organizmu odbywa się w ostatnich kilkunastu latach. Badaniem zachodzących przy tym zjawisk i procesów zajmuje się stojąca na pograniczu fizyki i medycyny dziedzina naukowa zwana fizyką medyczną.

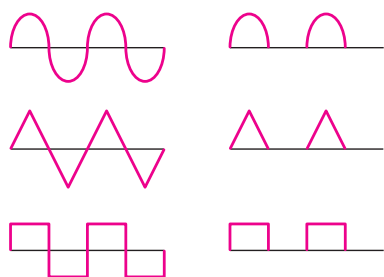
Współczesne oddziaływanie polem magnetycznym na organizm człowieka dzieli się na dwa rodzaje, zróżnicowane celami i parametrami pola: są to magnetostymulacja i magnetoterapia. Pierwszy z nich służy do pobudzania funkcji organizmu i wykorzystuje pola magnetyczne o indukcji nieprzekraczającej 10^{-4} T i częstotliwości do 3 kHz. Drugi rodzaj ma na celu leczenie istniejących schorzeń i posługuje się silniejszymi polami o indukcji od 10^{-4} do 0,02 T i częstotliwości nieprzekraczającej 1 kHz. Dla porównania, indukcja pola magnetycznego Ziemi wynosi od $3 \cdot 10^{-5}$ T do $7 \cdot 10^{-5}$ T. W magnetostymulacji stosuje się również pola zmodulowane, tak żeby ich amplituda zmieniała się z częstotliwością od kilku do 100 Hz.

Czas trwania pola w obu rodzajach oddziaływań wynosi od kilku do kilkunastu minut. Pola magnetyczne przykłada się do organizmu za pomocą tzw. aplikatorów. Są to różnego rodzaju cewki. Najmniejsze z nich to aplikatory punktowe – cewki o rozmiarach kilku centymetrów pozwalające na przyłożenie pola magnetycznego w ściśle określonym miejscu. Większe to aplikatory przestrzenne złożone z jednej dużej lub kilku mniejszych cewek, pozwalające na umieszczenie w polu magnetycznym pewnego obszaru ciała, np. kończyny czy klatki piersiowej. Największe są aplikatory dla całego ciała, mające postać mat lub materaców z umieszczonymi w nich wieloma cewkami.

Schemat blokowy układu do wytwarzania pól magnetycznych o mniejszych wartościach indukcji z możliwością modulacji przedstawia rysunek 1. Parametry pola oraz częstotliwość i głębokość modulacji ustalane są za pomocą programatora zadającego warunki pracy generatora prądu zmiennego i wzmacniacza mocy. Silniejsze pola magnetyczne wytwarzane są w układach zawierających baterię kondensatorów rozładowywaną przez aplikator. Schemat blokowy takiego układu pokazuje rysunek 2. W tym przypadku programator zadaje warunki pracy zasilacza i baterii kondensatorów. Zarówno w magnetostymulacji, jak i w magnetoterapii do zasilania aplikatorów stosowane są impulsy o przebiegu sinusoidalnym, trójkątnym lub prostokątnym albo tzw. impulsy połowkowe, np. półsinusoidalne, otrzymane przez obcięcie połowy wspomnianych przebiegów (rys. 3).



Rys. 2. Schemat układu do wytwarzania silniejszych pól magnetycznych.



Rys. 3. Kształty impulsów pola magnetycznego.



Rozwiązanie zadania F 637.

Korzystamy z zasady zachowania momentu pędu i zasady zachowania energii. W perygeum i apogeum mamy $E = \frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{r}$, $J = mvr$ (poza tymi punktami energia kinetyczna zawiera też wyraz pochodzący od ruchu radialnego, tj. do lub od centrum planety). Eliminując v i rozwiązując równanie kwadratowe ze względu na r , dostajemy dwa pierwiastki

$$r = \frac{1}{2E} \left(-GMm \pm \sqrt{G^2 M^2 m^2 + \frac{2JE^2}{m}} \right).$$

Podstawiając $J = mv_a r_a$ i $E = \frac{mv_a^2}{2} - \frac{GMm}{r_a}$, dostajemy jako pierwiastki r_a oraz

$$r_p = r_a \left(\frac{2GM}{v_a^2 r_a} - 1 \right)^{-1}.$$

Aby obliczyć v_p , korzystamy jeszcze raz z zasady zachowania momentu pędu $mv_a r_a = mv_p r_p$ i otrzymujemy $v_p = v_a \left(\frac{2GM}{v_a^2 r_a} - 1 \right)$.



Rozwiązanie zadania M 1088.

Niech $ABCDE$ będzie pięciokątem wypukłym o wierzchołkach w punktach kratowych, zawartym w danym pięciokącie i mającym najmniejsze pole. Z zasady szufladkowej wynika, że wśród wszystkich par wierzchołków istnieje para o odpowiednich współrzędnych tej samej parzystości, a zatem środek pewnej przekątnej pięciokąta $ABCDE$ lub środek jednego z jego boków jest punktem kratowym. W pierwszym przypadku teza zadania jest spełniona. W drugim przypadku przyjmijmy, że X jest środkiem odcinka AB . Wówczas pięciokąt $XCDE$ ma wierzchołki w punktach kratowych, jest zawarty w wyjściowym pięciokącie oraz ma pole mniejsze od pola pięciokąta $ABCDE$. Uzyskana sprzeczność dowodzi, że istnieje punkt kratowy leżący wewnątrz danego pięciokąta.

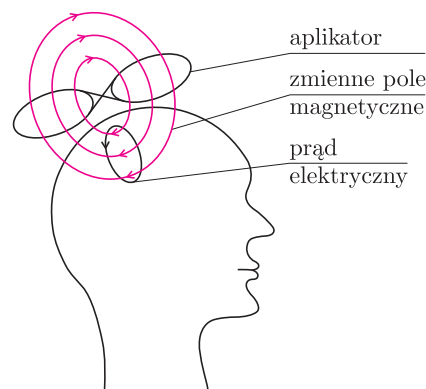
Ze względu na bardzo skomplikowaną strukturę i złożone funkcje organizmu człowieka wiele szczegółów związanych z oddziaływaniem pola magnetycznego o niskiej częstotliwości nie zostało jeszcze dokładnie poznanych i nadal pozostaje w sferze hipotez. Udało się jednak wykryć kilka niebudzących wątpliwości efektów zachodzących po przyłożeniu pola. Stwierdzono, że w organizmie przepływają słabe prądy elektryczne polegające na ruchu jonów przenoszących ładunki elektryczne. W polu magnetycznym na te ładunki działa siła Lorenza, powodująca zmianę kierunku ich ruchu. Tak więc pole magnetyczne powoduje w organizmie efekty elektrodynamiczne. Niektóre związki chemiczne lub nawet całe komórki mają wypadkowy moment magnetyczny – podobnie jak małe magnesy. Pole magnetyczne, oddziałując na takie magnesy, może doprowadzić do zmiany ich orientacji w przestrzeni lub kształtu albo osłabić wiązanie z innymi cząsteczkami. Są to przykłady efektów magnetomechanicznych powodowanych przez pole. W organizmie znajdują się duże ilości tzw. płynów ustrojowych, zawierających poruszające się jony. Pod działaniem siły Lorenza zakrzywiającej ich tor ruchu jony te zaczynają poruszać się po okręgach. Gdy częstotliwość zmian pola i jego indukcja będą odpowiednio dobrane, wówczas wystąpi jonowy rezonans cyklotronowy i częstotliwości ruchu jonów po okręgach oraz zmian pola staną się równe. Zmienne pole magnetyczne indukuje również zmienne pole elektryczne, które może powodować przepływ dodatkowych prądów elektrycznych, szczególnie w tkankach o niższej oporności elektrycznej, jak tkanka nerwowa.

Istotną zaletą magnetoterapii i magnetostymulacji jest ich nieinwazyjny charakter, polegający na braku mechanicznej ingerencji w struktury organizmu, np. nakłuwania tkanek, a także niskie koszty i prosty sposób zastosowania. Magnetoterapię z dobrymi skutkami wykorzystano w przypadku wielu schorzeń, a w szczególności zwyrodnienia stawów i kręgosłupa, stanów zapalnych, trudno zrastających się złamań kości, stłuczeń tkanek miękkich i dolegliwości bólowych. Magnetostymulacja stosowana jest z powodzeniem do poprawy oddychania komórek i przyspieszania regeneracji tkanek miękkich po kontuzjach, a także do obniżania poziomu stresu. Z magnetostymulacji korzystają znani sportowcy, m.in. Adam Małysz.

Bardzo obiecująco zapowiada się wykorzystanie magnetostymulacji do leczenia i poprawy funkcjonowania ludzkiego mózgu. Jedną z chorób dotyczących coraz więcej osób, zwłaszcza w krajach wysokorozwiniętych, jest depresja. Polega ona na zmniejszeniu ilości pewnych substancji zwanych neuroprzekaznikami, głównie dopaminy i serotoniny, które biorą udział w przekazywaniu informacji między komórkami nerwowymi, czyli neuronami. Skutkiem tego jest pogorszenie ogólnej sprawności fizycznej i umysłowej, przejawiające się m.in. mniejszą wydolnością fizyczną, spowolnieniem myślenia, gorszym

zapamiętywaniem oraz smutnym nastrojem. W ciężkich przypadkach do leczenia depresji oprócz środków farmaceutycznych stosowane są wstrząsy elektryczne. Polegają one na przyłożeniu do głowy pacjenta elektrod i spowodowaniu przepływu prądu elektrycznego. Zabieg ten, choć niezwykle prosty z technicznego punktu widzenia, jest bardzo nieprzyjemny dla pacjenta oraz ma skutki uboczne w postaci zaników pamięci i zaburzeń orientacji. Dlatego też pacjenci poddawani wstrząsom elektrycznym wymagają silnych środków przeciwbólowych i zwykle muszą przez pewien czas pozostać w szpitalu. Nic więc dziwnego, że lekarze i fizycy poszukiwali lepszych metod. Okazało się, iż podobny skutek leczniczy bez efektów ubocznych można osiągnąć, stosując stymulację mózgu wolno zmieniającym się polem magnetycznym.

W istocie rzeczy do stymulacji tej wykorzystywany jest również przepływ prądów elektrycznych, podobnie jak w przypadku wstrząsów elektrycznych. Prądy są tu wytwarzane jednak w inny sposób. Nad głowę pacjenta umieszcza się aplikator stanowiący zwykle podwójną cewkę w kształcie ósemki, zasilaną zmiennym prądem elektrycznym (rys. 4).

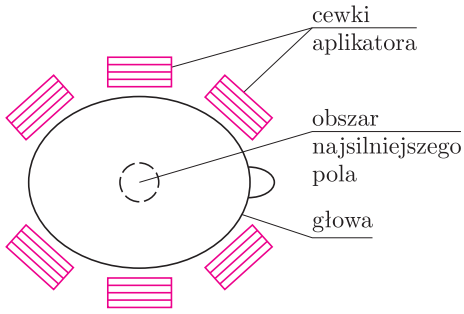


Rys. 4. Układ do magnetostymulacji mózgu.

Cewka taka wytwarza wokół siebie zmienne pole magnetyczne, które w znacznej części przenika przez skórę i kości czaszki do mózgu. Tkanka mózgowa charakteryzuje się dość dobrą przewodnością elektryczną. Zmienne pole magnetyczne indukuje wokół siebie również zmienne pole elektryczne, pod wpływem którego w tkance mózgowej następuje przepływ prądu elektrycznego. Zachodzi tutaj znane zjawisko indukcji elektromagnetycznej, które jest podstawą działania m.in. transformatora, z tą różnicą, że w przypadku magnetostymulacji rolę uzwojenia wtórnego spełnia fragment mózgu pacjenta.

Aplikatory z podwójną cewką w kształcie ósemki mają istotną wadę, polegającą na małej głębokości wnikania pola magnetycznego do tkanki. Skuteczna stymulacja przy użyciu takich aplikatorów ogranicza się do zewnętrznych fragmentów kory mózgowej, znajdujących się nie głębiej niż 2–3 cm pod powierzchnią czaszki. Dlatego też prowadzone są

prace zmierzające do zbudowania aplikatorów umożliwiających głęboką stymulację dowolnie wybranego fragmentu mózgu. Jedno z obiecujących rozwiązań polega na zastosowaniu sześciu pierścieniowych cewek umieszczonych po trzy z obu stron głowy pacjenta (rys. 5).



Rys. 5. Układ do głębokiej magnetostymulacji mózgu.

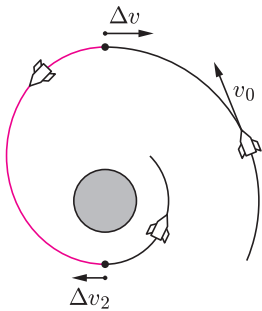
Cewki nawinięte są w tym samym kierunku i połączone szeregowo. Sumując wektory indukcji magnetycznej pól wytworzonych przez każdą z cewek, łatwo sprawdzić, że wypadkowe pole ulega wzmocnieniu w obszarze środkowym między cewkami. Położenie i wielkość tego obszaru oraz indukcję wypadkowego pola można regulować przez zmianę położenia cewek. Zwykle cewki takie przymocowane są do giętkiego pasa lub przegubów, co ułatwia dobranie optymalnych parametrów pola.

Stymulacja mózgu polem magnetycznym o niskiej częstotliwości stosowana jest nie tylko w przypadku chorych na depresję. Badania przeprowadzone w kilku ośrodkach w Stanach Zjednoczonych i Europie wykazały jej skuteczność u pacjentów cierpiących na chorobę Parkinsona, u których powodowała zmniejszenie drżenia kończyn i poprawę sprawności ruchowej. Stymulacji poddawano także osoby zdrowe. Stwierdzono, że pobudzając dostatecznie silnie określone obszary mózgu, można spowodować ruch pewnych części ciała, np. zginanie kciuka lub odbieranie wrażeń powodowanych przez nieistniejące bodźce, takie jak błysk światła czy dźwięk. Znaczna grupa osób poddanych stymulacji magnetycznej mózgu wykazywała zadowolenie i zwiększoną odporność na stres. Wzrost zadowolenia stwierdzono także przypadkowo u osób poddanych badaniu rezonansem magnetycznym, których głowa umieszczona była w polu magnetycznym. Te interesujące efekty są obecnie intensywnie badane, w celu ich dokładniejszego zrozumienia. Jeżeli rozpoczęte badania zakończą się sukcesem, to być może za kilka lat modne czapeczki z przenośnymi stymulatorami magnetycznymi, dającymi odpoczynek i wzrost zadowolenia, staną się przedmiotem codziennego użytku. Tę hipotezę uzasadnia fakt, że już obecnie kilka firm na świecie oferuje seryjnie produkowane stymulatory do użytku w warunkach stacjonarnych.



Zadania

Redaguje Mikołaj KORZYŃSKI



Rys. 1

F 637. Ciało krążące po eliptycznej orbicie wokół planety o masie M ma w apogeum prędkość v_a i odległość od centrum planety równą r_a . Jaką odległość od środka planety r_p i prędkość v_p będzie miało ciało w perygeum? Rozwiązanie na str. 4

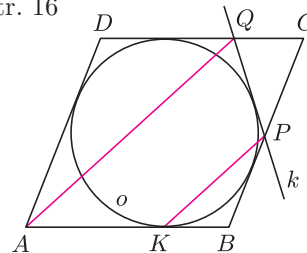
F 638. Pojazd kosmiczny krąży po orbicie kołowej z prędkością v_0 wokół planety o masie M . W pewnym momencie hamuje bardzo krótkim impulsem, zmniejszając swoją prędkość o Δv . Po drugiej stronie planety (rys. 1) pojazd hamuje jeszcze raz. O ile musi zahamować, aby trafić znów na orbitę kołową? Jaka będzie wartość jego prędkości na tej orbicie? Skorzystać z wyników poprzedniego zadania. Rozwiązanie na str. 3

Redaguje Waldemar POMPE

M 1087. Na każdym polu nieograniczonej szachownicy napisano liczbę całkowitą, przy czym każda napisana liczba występuje na szachownicy tylko raz. Dowieść, że dla dowolnej liczby rzeczywistej a istnieją takie dwa sąsiednie pola szachownicy, że różnica liczb napisanych na tych polach jest większa od a . Rozwiązanie na str. 16

M 1088. Dany jest pięciokąt wypukły o wierzchołkach w punktach kratowych. Udowodnić, że wewnątrz tego pięciokąta znajduje się punkt kratowy. (Punktem kratowym nazywamy punkt płaszczyzny, którego obie współrzędne są liczbami całkowitymi.) Rozwiązanie na str. 4

M 1089. Okrąg o , wpisany w romb $ABCD$, jest styczny do boku AB w punkcie K (rys. 2). Styczna do okręgu o przecina odcinki BC i CD odpowiednio w punktach P i Q . Wykazać, że proste AQ i KP są równoległe. Rozwiązanie na str. 16



Rys. 2