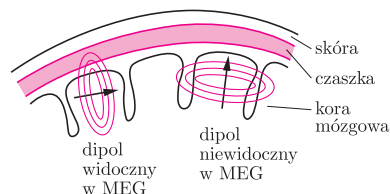
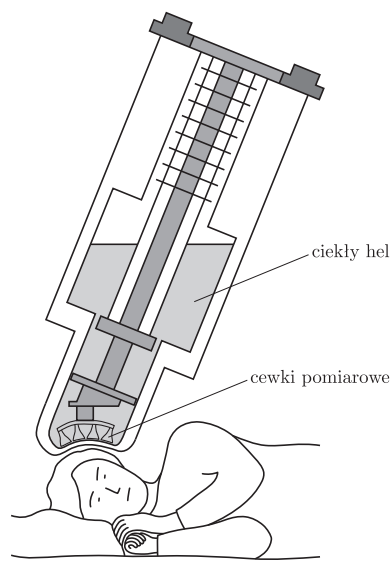


Rys. 1. Linie pola magnetycznego generowanego przez dipol prądowy.



Rys. 2. Źródła ułożone prostopadle i równoległe do powierzchni głowy wraz z ich liniami pola magnetycznego.



Rys. 3. Aparatura do pomiaru MEG.

Magnetoencefalogram (MEG) mierzy tę samą zsynchronizowaną aktywność komórek nerwowych (neuronów) mózgu co EEG (elektroencefalogram – zapis czynności elektrycznej mózgu). Nazwa magnetoencefalogram pochodzi od wyrazów *magneto* – magnetyczny, *enkephalo* – mózg, *graphein* – rysować.

## Pole magnetyczne mózgu

Skąd się bierze pole magnetyczne mózgu? W artykule poświęconym pomiarowi EEG (*Delta 4/2005*) omawiałem powstawanie pola elektrycznego mózgu. Jest ono generowane przez synchroniczną aktywność postsynaptyczną równoległo ułożonych grup komórek nerwowych (neuronów) kory mózgowej. Dla uproszczenia możemy traktować takie przestrzennie uporządkowane grupy neuronów jako dipole prądowe. Jak wiadomo, przepływ ładunku przez taki dipol powoduje powstawanie pola magnetycznego prostopadłego do kierunku prądu i radialnie go otaczającego (tzw. zasada prawej ręki) (rys. 1).

Magnetoencefalogram to zapis pola magnetycznego mózgu, generowanego przez zmienne pole elektryczne. Ponieważ pole magnetyczne jest ułożone prostopadle do pola elektrycznego, MEG rejestruje sygnały ze źródeł równoległych do powierzchni głowy, podczas gdy źródła prostopadłe do powierzchni głowy generują pole magnetyczne, które nie jest mierzalne na zewnątrz głowy (rys. 2). Dlatego też MEG znacznie lepiej rejestruje sygnały z warstw neuronów ułożonych równoległo do detektorów, czyli leżących w bruzdach kory mózgowej (rys. 2).

## Pomiar MEG

Urządzenia pomiarowe składają się zwykle z kilkudziesięciu cewek tworzących matrycę przykładaną do powierzchni głowy (rys. 3). Zasada pomiaru MEG opiera się na prawie Faradaya, zgodnie z którym zmienne pole magnetyczne powoduje przepływ prądu przez cewkę. Sygnały mózgowy są bardzo słabe (około  $10^{-12}$  tesli) w porównaniu z innymi polami wokół nas. Przykładowo, pole magnetyczne Ziemi wynosi około  $5 \cdot 10^{-5}$  T. Dlatego do detekcji pola magnetycznego mózgu trzeba używać cewek z nadprzewodnika, a pomiary przeprowadzać w ekranowanych pomieszczeniach, aby zminimalizować wpływ zewnętrznych pól magnetycznych.

Do pomiaru MEG wykorzystuje się technologię SQUID (Superconducting Quantum Interference Device – Nadprzewodzący Kwantowy Interferometr Magnetyczny). Działanie takich urządzeń oparte jest na efekcie Josephsona. Pętla z nadprzewodnika jest podzielona nieprzewodzącą warstwą, tak cienką, że możliwe jest przeskakiwanie przez nią elektronów. Pojedynczy detektor, oprócz samego SQUIDu, składa się z dwóch cewek leżących jedna nad drugą połączonych szeregowo, ale przeciwnie skręconych. Taki układ jest niewrażliwy na jednorodne zmiany pola tła, lecz odbiera zmiany niejednorodne w pobliżu cewki.

## MEG a EEG

Jakie są różnice pomiędzy pomiarami MEG i EEG? Czy pomiar MEG wnosi jakąkolwiek nową informację na temat procesów zachodzących w mózgu?

MEG jest czuły na dipole równoległe do powierzchni głowy, czyli znajdujące się głównie w bruzdach kory mózgowej. Tak się składa, że niektóre obszary sensoryczne mózgu: słuchowy, wzrokowy i somatosensoryczny, leżą właśnie w bruzdach. Z kolei EEG wykrywa wprawdzie wszystkie składowe prądowe, jednakże dipole umieszczone w bruzdach kory mózgowej mają zmniejszoną amplitudę. Jest to związane z tym, że pofałdowanie warstw neuronów kory mózgowej powoduje, iż elektroda może „widzieć” naraz dwie warstwy przeciwnie skierowane, a wtedy ich pola mogą się odejmować.

\*Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski



### Rozwiązanie zadania F 658.

Zakładamy, że ciało porusza się ruchem jednostajnym i prostoliniowym. Odległość ciała od Ziemi zmienia się zgodnie ze wzorem

$$l = D - vt \cos \beta,$$

a więc światło wysłane w kierunku Ziemi w chwili  $t$  dotrze do ziemi w chwili

$$t_1 = t + l/c = t - (vt/c) \cos \beta + D/c.$$

Odległość na sferze niebieskiej z kolei zmienia się według wzoru  $s \approx v \sin \beta t$ . Łącząc oba wzory, dostajemy zależność

$$s \approx \frac{vt_1 \sin \beta}{1 - (\cos \beta)v/c} - \frac{vD/c \sin \beta}{1 - (\cos \beta)v/c}.$$

Wobec tego pozorna prędkość ruchu ciała po niebie to

$$v_a = v \frac{\sin \beta}{1 - (\cos \beta)v/c}.$$

Warunek  $v_a > c$  można przekształcić do najprostszej postaci jako

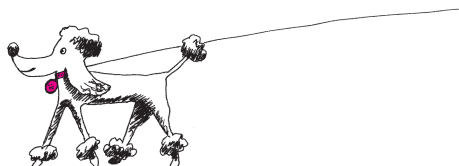
$$v(\sin \beta + \cos \beta) > c.$$

Pole elektryczne jest dużo bardziej tłumione przez małą przewodność czaszki i skóry niż pole magnetyczne. Także nieregularności tych tkanek powodują zniekształcenia w rozkładzie potencjałów na powierzchni głowy w stosunku do ich rozkładu bezpośrednio na korze. Pole magnetyczne pochodzi z kolei głównie od prądów płynących we w miarę jednorodnych obszarach wewnątrzczaszkowych. Ze względu na słabą elektryczną przewodność czaszki nieregularne prądy w czaszce i skórze są słabe i mają bardzo mały wkład do zewnętrznego pola magnetycznego. Dlatego też MEG ma lepszą rozdzielczość przestrzenną niż EEG, dochodzącą nawet do kilku milimetrów. Pomiary MEG mogą być wykonane dużo szybciej, ponieważ nie jest potrzebny kontakt elektrod ze skórą. Z drugiej strony, ze względu na to, że nie ma bezpośredniego kontaktu czujników ze skórą, a także z uwagi na rozmiar aparatury pacjent musi być nieruchomy podczas pomiaru. Natomiast przy pomiarach EEG jest możliwy ruch pacjenta, co przekłada się na większy wachlarz zastosowań eksperymentalnych.

Najciekawsze wydaje się jednoczesne stosowanie pomiarów MEG i EEG. Na przykład w badaniach czynności mózgu podczas snu występują wyraźne różnice pomiędzy obydwojma zapisami. W MEG pojawiają się głównie rytmy teta nieobecne w EEG. Połączenie MEG i EEG umożliwia także lokalizację ognisk padaczki na poziomie zbliżonym do zapisów wykonywanych bezpośrednio z kory mózgowej.

### Bibliografia

Hamalainen M., Hari R., Ilmoniemi R., Knuutila J., Lounasmaa O. (1993). *Magnetoencephalography—theory, instrumentation, and applications to noninvasive studies of the working human brain*. Rev. Mod. Phys, 65: 1-93.



## Odpowiedzi i punktacja zadań MiniMaratonu Matematycznego

### Runda I

**Zad. 1.** 222242. [0 lub 1 pkt.]

Dążymy do jak największej liczby początkowych dwójek, np. tak:

$$\underline{4}99244 \rightarrow \underline{2}49244 \rightarrow \underline{2}24244 \rightarrow \underline{2}24924 \rightarrow \underline{2}22424 \rightarrow \underline{2}22492 \rightarrow \underline{2}22242.$$

Mniejszych liczb, tzn. 222222, 222224 i 222229 nie da się uzyskać. Pierwszej się nie da, bo każda zmiana wprowadza czwórkę lub dziewiątkę. Ostatniej się nie da, bo dziewiątka nigdy nie powstaje na końcu. Aby uzyskać drugą, trzeba by albo nie zmieniać ostatniej cyfry z układu początkowego, co jest niemożliwe, bo wszystkie pozostałe cyfry musiałyby być dwójkami, co jak już stwierdziliśmy, nie jest możliwe, albo końcowa czwórka musiałaby powstać z układu ...49, ale dziewiątka na końcu nie da się uzyskać. Zatem otrzymany wynik jest najmniejszy.

**Zad. 2.** Piotr 14, Paweł 16. [0 lub 1 pkt.]

Niech  $x$  oznacza obecny wiek Piotra, a  $y$  – Pawła. Ponieważ za 5 lat suma ich lat zwiększy się o 10, mamy:  $x + y + 10 = 40$ , czyli  $x + y = 30$ . Ponieważ  $18 = 30 - 12 = x + y - 12$ , sześć lat temu bracia mieli w sumie 18 lat. Z zadania mamy więc  $x - 6 = y/2$  oraz  $x + y = 30$ , czyli otrzymujemy układ równań o rozwiązaniu:  $x = 14$ ,  $y = 16$ .

**Zad. 3.** 1980. [0 lub 1 pkt.]

Palindromów 3- i 4-cyfrowych jest po 90 ( $9 \cdot 10 \cdot 1$  i  $9 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1$ ), 5- i 6-cyfrowych po 900 ( $9 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1$  i  $9 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$ ), co daje  $90 + 90 + 900 + 900 = 1980$ .

**Zad. 4.** 20. [0 lub 1 pkt.]

Niech  $x$  będzie wyjściową ceną, a  $w$  ceną obecną (i wskaźnikiem spadku ceny w %). Mamy

$$w = \frac{100 - w}{100}x,$$

skąd dochodzimy do równości

$$w = \frac{100x}{100 + x} = \frac{100}{\frac{100}{x} + 1},$$

z czego wynika, że  $x$  dzieli 100. Niech zatem  $n \cdot x = 100$ . Wtedy podstawiając  $x$  do pierwszej równości, otrzymamy  $(n + 1) \cdot w = 100$ , z czego wynika, że zarówno  $n$ , jak i  $n + 1$  dzielą 100. Jedyne kolejne dzielniki 100 to 1 i 2 oraz 4 i 5. Tylko ta druga para pasuje do treści zadania, więc  $x = 25$ , a  $w = 20$ .

**Zad. 5.** 4624, 6084, 8464. [0, 1, 2 lub 3 pkt.]

Czterocyfrowe kwadraty powstają z liczb od 32 do 99. Reszta z dzielenia kwadratu przez 4 daje 0 lub 1, ale w tym drugim przypadku kwadrat byłby nieparzysty i wszystkie jego cyfry musiałyby być nieparzyste. Jedyne możliwe dwucyfrowe końcówki, które spełniałyby te warunki, to: 13, 17, 33, 37, 53, 57, 73, 77, ale kwadraty liczb nieparzystych nie kończą się na 3 ani na 7. Wobec tego szukana liczba i wszystkie jej cyfry są parzyste. Wystarczy więc badać kwadraty liczb parzystych, które wypadają w przedziałach [2000, 3000), [4000, 5000), [6000, 7000) i [8000, 9000). Dla pierwszego przedziału wystarczy sprawdzić 46, 48, 52 i 54. Jednak żaden z ich kwadratów nie spełnia warunków zadania. W pozostałych przedziałach znajdujemy po jednym rozwiązaniu:  $68^2$ ,  $78^2$ ,  $92^2$ .