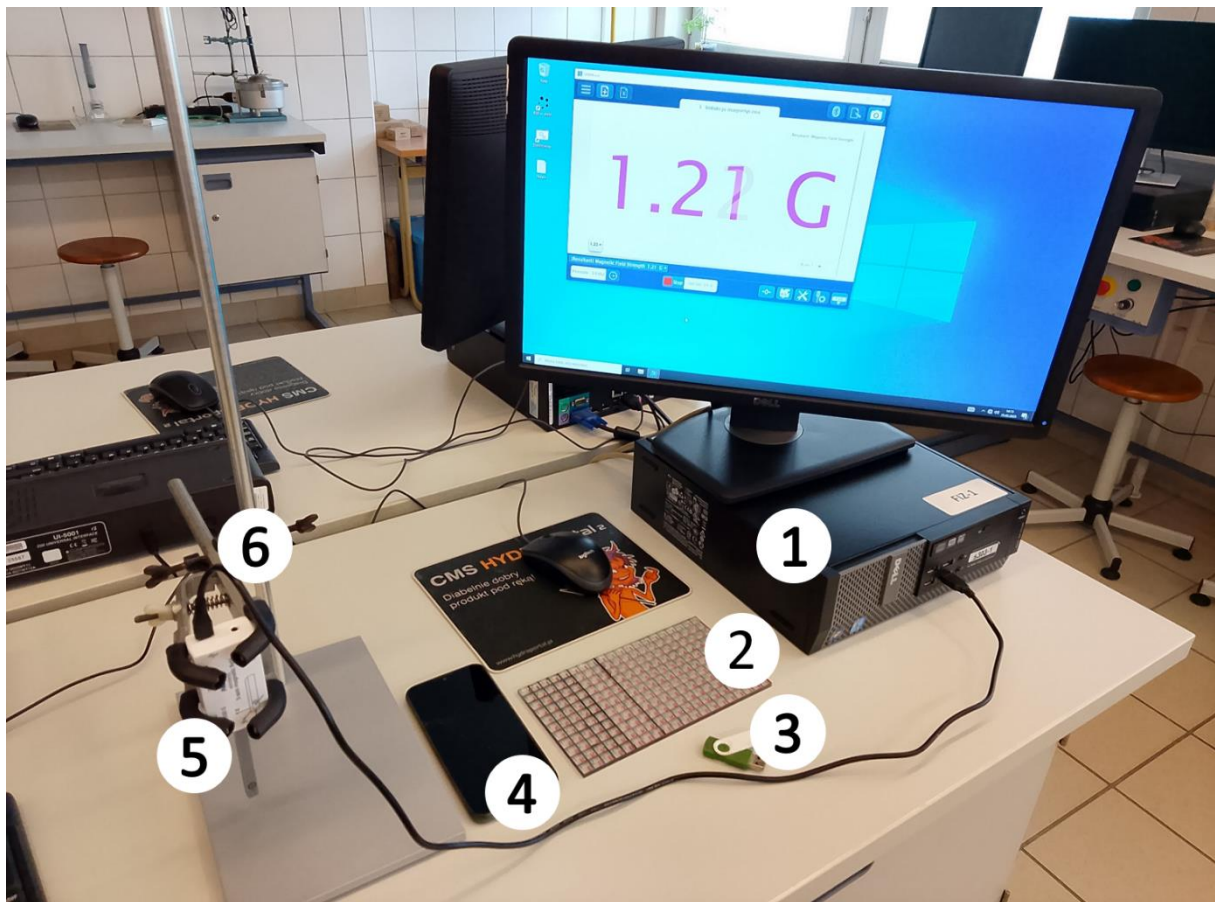


Stanowisko pomiarowe (opis do zdjęcia poniżej):

1. Komputer z oprogramowaniem
2. Nakładka na smartfon
3. **Pamięć USB (przynosi Student)**
4. **Smartfon (przynosi Student)**
5. Czujnik pola magnetycznego
6. Statyw do zamocowania czujnika pola magnetycznego



Rys. 1) Stanowisko pomiarowe

Wstęp teoretyczny

Pole magnetyczne jest jednym z fundamentalnych składników pola elektromagnetycznego, definiowanego jako **przestrzeń, w której na poruszające się ładunki elektryczne oraz materiały magnetyczne działają siły**. Pole to może mieć charakter statyczny lub zmienny w czasie. Jego źródłem mogą być zarówno trwałe magnesy, jak i przewodniki elektryczne, przez które przepływa prąd elektryczny.

W technologii mobilnej szczególne znaczenie mają pola elektromagnetyczne generowane przez smartfony. Emitowane pola obejmują szeroki zakres częstotliwości, od **radiowych (Radio Frequencies - RF)**, wykorzystywanych do komunikacji bezprzewodowej, przez **ekstremalnie niskie częstotliwości (Extremely Low Frequency - ELF)**, związane z działaniem układów elektronicznych, aż po mniej poznane **statyczne pola magnetyczne (Static Magnetic Fields - SMF)**.

Stałe pola magnetyczne powstają przede wszystkim na skutek przepływu prądu stałego przez przewodniki, co jest efektem ruchu ładunków elektrycznych. Oprócz tego istotnym źródłem SMF są magnesy trwałe, takie jak powszechnie używane magnesy neodymowe, charakteryzujące się dużym natężeniem pola przy niewielkich rozmiarach.

Kiedy ładunki elektryczne ulegają przyspieszeniu lub hamowaniu, generują zmienne pola magnetyczne, które propagują się w formie fal elektromagnetycznych. Tego typu pola są kluczowe dla działania wszystkich technologii bezprzewodowych, zwłaszcza telefonii komórkowej.

Pole magnetyczne jest wielkością wektorową, co oznacza, że jest opisywane zarówno przez swoją wartość (wielkość), jak i kierunek. Do opisu pola magnetycznego stosuje się dwie podstawowe wielkości fizyczne: indukcję magnetyczną (mierzoną w jednostkach systemu SI: Teslach) oznaczaną jako \vec{B} oraz natężenie pola magnetycznego oznaczane jako \vec{H} (mierzoną w A/m – amper na metr). Między tymi wielkościami istnieje związek matematyczny:

$$\vec{B} = \mu \vec{H},$$

gdzie μ - przenikalność magnetyczna ośrodka, mierzona w henrach na metr (H/m). Często indukcję magnetyczną wyraża się w mniejszych jednostkach – Gaussach (ozn.: G lub Gs). Gaus jest jednostką układu CGS. Między Teslą a Gausem zachodzi zależność: $1T = 10^4 G$

Ze względu na szerokie rozpowszechnienie smartfonów, intensywnie bada się potencjalne zagrożenia zdrowotne wynikające z ekspozycji na pola elektromagnetyczne. Badania nad RF EMF wskazują na możliwy wpływ na układ nerwowy, procesy reprodukcyjne oraz zwiększone ryzyko niektórych nowotworów, takich jak glejak. Wykazano korelację między częstym użytkowaniem telefonu a ryzykiem wystąpienia glejaka, szczególnie po stronie głowy, przy której telefon jest regularnie przykładany. W przypadku innych nowotworów, np. ślinianek, wyniki badań są niejednoznaczne, choć istnieją badania wskazujące na lekki wzrost ryzyka zachorowania.

Badania wskazują również, że RF EMF o częstotliwości 1788 MHz oraz określonym poziomie SAR (0,405 W/kg) może wpływać na funkcjonowanie autonomicznego układu nerwowego człowieka, m.in. na zmienność rytmu serca.

Statyczne pola magnetyczne generowane przez smartfony także wzbudzają zainteresowanie naukowców, ponieważ mogą wpływać na komórki biologiczne, wywołując np. **genotoksyczność, zmiany proliferacji komórek nowotworowych i zdrowych, wpływać na mechanizmy antyoksydacyjne (modulacja reaktywnych form tlenu - ROS) oraz na enzymy odpowiedzialne za naprawę DNA**.

Istotnym zagadnieniem pozostaje także **interakcja pól magnetycznych z urządzeniami medycznymi**, szczególnie implantami, takimi jak rozruszniki serca czy defibrylatory. Te urządzenia mają wbudowany tzw. „tryb magnetyczny”, który pozwala na bezpieczne ich dezaktywowanie za pomocą pola magnetycznego. Obecność silnych pól magnetycznych w otoczeniu pacjenta może prowadzić do nieoczekiwanych interakcji, dlatego niezbędne są dalsze badania mające na celu zrozumienie i zminimalizowanie tego ryzyka.

W przeszłości, duże źródła magnesów, jak głośniki, stanowiły problem, ale współczesne małe magnesy w smartfonach, wytwarzające duże pola w niewielkich odległościach od nich, wprowadzają nowe wyzwania.

Specyficzny współczynnik absorpcji (ang. Specific Absorption Rate, SAR) to miara ilości energii promieniowania elektromagnetycznego, która jest absorbowana przez tkanki ciała na jednostkę masy. Wyraża się go w watach na kilogram (W/kg). SAR jest stosowany głównie w kontekście oceny bezpieczeństwa urządzeń emitujących promieniowanie elektromagnetyczne, takich jak telefony komórkowe, w celu określenia, ile energii RF (o radiowej częstotliwości) ciało może bezpiecznie pochłonąć. Normy SAR są ustalane, aby ograniczyć potencjalne skutki zdrowotne wynikające z narażenia na promieniowanie. **Dla większości urządzeń mobilnych maksymalne dopuszczalne wartości SAR wynoszą zazwyczaj około 1,6 W/kg (w USA) i 2 W/kg (w Unii Europejskiej)**, mierzone dla głowy lub ciała podczas maksymalnej emisji energii z urządzenia.

Międzynarodowe wytyczne (ICNIRP/WHO): Najszerzej stosowane są rekomendacje ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), wspierane przez WHO (World Health Organization) w ramach Międzynarodowego Projektu EMF. ICNIRP ustanawia podstawowe ograniczenia i odpowiadające im poziomy odniesienia dla pól magnetycznych i elektromagnetycznych, osobno dla ekspozycji zawodowej (kontrolowanej) oraz dla ogółu społeczeństwa. Dla pól statycznych (0 Hz) ICNIRP zaleca, by pracownicy nie byli ekspozycyjni na pole magnetyczne powyżej 2 T (Tesli) dla głowy i tułowia (ekspozycja kończyn dopuszczalna do 8 T). Dla ogółu społeczeństwa granica to 0,4 T (400 mT). **Uwaga: Ze względu na przyciąganie ferromagnetyków i działanie na urządzenia medyczne, ICNIRP zaznacza konieczność wprowadzenia dużo niższych limitów praktycznych – rzędu 0,5 mT (5 Gaussów) – w otoczeniu implantów elektronicznych i ferromagnetycznych przedmiotów.** W zakresie ekstremalnie niskich częstotliwości (ELF, np. 50/60 Hz) limity ICNIRP chronią przed stymulacją nerwów. Dla częstotliwości sieci energetycznej 50 Hz ogół społeczeństwa nie powinien być narażony na pole magnetyczne powyżej ok. 100 μ T (0,1 mT), natomiast pracownicy – powyżej 500 μ T (5-krotnie wyższy limit wynika z dopuszczenia ekspozycji zawodowej). Odpowiada to zaleceniom UE – zalecenie Union Directive 2013 / 35 / EU – 100 μ T przy 50 Hz to referencyjny poziom ekspozycji publicznej. Dla pól ELF ICNIRP nieco zrewidował te wartości (m.in. rozróżniając efekty w ośrodkowym i obwodowym układzie nerwowym), np. zwiększając dopuszczalny poziom pola 50 Hz dla ludności do \sim 200 μ T, lecz wiele krajów (w tym UE) nadal stosuje konserwatywnie wcześniejsze 100 μ T jako poziom ostrożnościowy dla społeczeństwa. W wyższych częstotliwościach (pola RF, powyżej \sim 100 kHz) głównym ograniczeniem jest nagrzewanie tkanek. ICNIRP definiuje limity podając SAR. Podstawowe ograniczenie SAR wynosi 0,08 W/kg (całe ciało) dla ludności i 0,4 W/kg dla pracowników, przy czym lokalnie (np. głowa, tułów) dopuszcza się do 2 W/kg (ludność) i 10 W/kg (zawodowo). Te wartości odpowiadają przykładowo ograniczeniu gęstości mocy fali elektromagnetycznej do 2 W/m² dla społeczeństwa i 10 W/m² zawodowo w pasmie 10–400 MHz. Dla wyższych częstotliwości (GHz) poziomy graniczne rosną – np. powyżej 2 GHz limit dla ludności wynosi 10 W/m² (1 mW/cm²), a dla ekspozycji kontrolowanej 50 W/m². Limity ICNIRP – zaakceptowane przez WHO – uznaje się za zapewniające ochronę przed ustalonymi efektami zdrowotnymi (pobudzenie nerwów przy niskich częstotliwościach, a przegrzanie przy wysokich częstotliwościach).

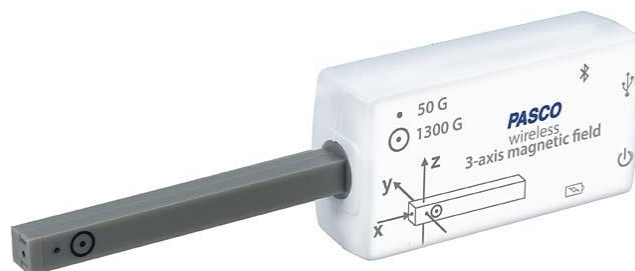
W ramach tego ćwiczenia, przeprowadzimy badanie statycznych pól magnetycznych emitowanych przez smartfony. Zmapujemy SMF w odległości 0.5 cm od powierzchni smartfona, aby lepiej zrozumieć charakterystykę tych pól i ich potencjalny wpływ na otoczenie.

Poznanie rozkładu pola magnetycznego smartfonów jest kluczowe nie tylko dla zrozumienia ich działania, ale także dla oceny potencjalnych zagrożeń biologicznych. Wiedza ta ma znaczenie szczególne w kontekście rosnących obaw o możliwe efekty zdrowotne związane z długotrwałym narażeniem na pola magnetyczne i elektromagnetyczne, emitowane przez nowoczesne urządzenia mobilne, a także na pracę implantowanych urządzeń medycznych.

Czujnik pola magnetycznego

Czujnik podaje wartość gęstości strumienia pola magnetycznego (czyli indukcji pola magnetycznego) w Gaussach. Rozmieszczenie składowych X, Y i Z pokazane jest na górnej części obudowy czujnika. Można nim również mierzyć całkowite pole magnetyczne co do wartości (tą wielkością będziemy się posługiwać podczas wykonywania ćwiczenia), traci się wówczas informacje o kierunku. Czujnik dostępny w ćwiczeniu został zaprojektowany do badania pól statycznych.

W układzie CGS jednostką indukcji magnetycznej jest 1 Gauss [G lub Gs], natomiast w układzie SI jest to 1 Tesla [T]. Jedna Tesla równa jest 10 000 Gaussów = 10 kG.



Rys. 2) Czujnik pola magnetycznego użyty w doświadczeniu

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zmapowanie pola magnetycznego generowanego przez smartfon.

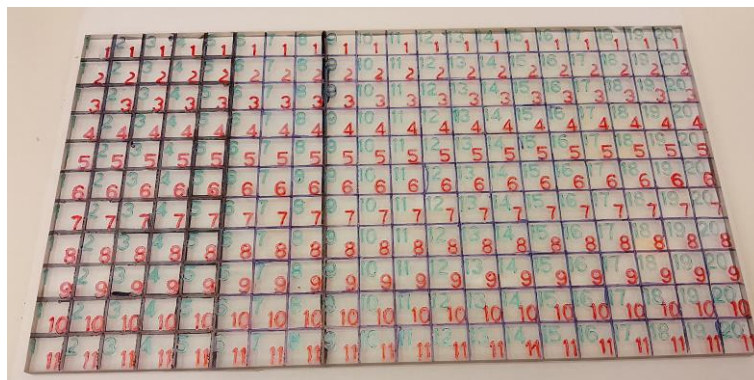
Przebieg doświadczenia:

Przygotowanie stanowiska i odczytników:

1. Włącz zasilanie stanowiska przekręcając czerwone pokrętkę pod blatem w prawą stronę, a następnie przekręcając kluczyk. Na listwie powinna zaświecić się zielona dioda.
2. Podepnij czujnik pola magnetycznego kablem USB do komputera.
3. Włącz komputer i zaloguj/przełoguj się na konto B58.
4. Uruchoom program zbierający dane „B58 – Pomiar pola magnetycznego smartfona” znajdujący się na pulpicie komputera.

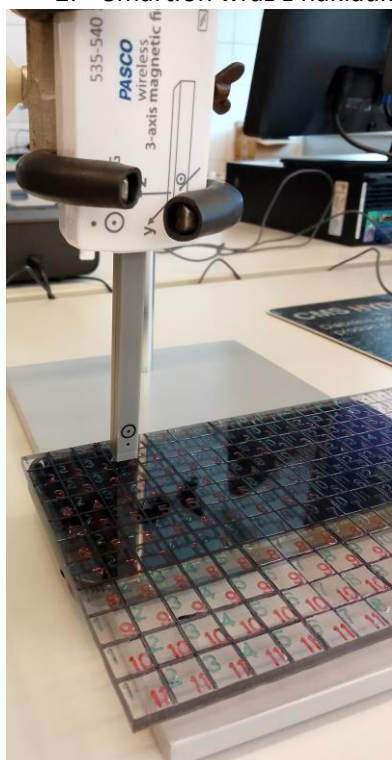
Wykonanie pomiarów:

1. Umieść nad swoim smartfonem nakładkę (rys 3). Nakładka ma oznaczone kolejno centymetry na długości i szerokości. Długość numerowana jest kolorem zielonym i umieszczona jest u góry kratki po lewej stronie. Szerokość numerowana jest kolorem czerwonym i umieszczona jest na dole kratki po prawej stronie. Rozmiar pola to dokładnie 1cm na 1cm. Nakładkę umieszczamy zawsze tak by jej długość i szerokość zgadzała się z długością i szerokością smartfona.



Rys. 3) Nakładka na smartfon

2. Smartfon wraz z nakładką umieszczamy pod czujnikiem pola magnetycznego – Rys. 4.



Rys. 4) Schemat pokazujący położenie smartfona, nakładki i czujnika pola.

3. Przemieszczamy smartfon wraz z nakładką pomiędzy poszczególnymi polami nakładki, tak by czujnik był zawsze w środku danego pola nakładki. Czujnik ustawiamy na wysokości 1-2 mm nad nakładką.
4. Odczytaną wartość pola magnetycznego w Gausach wstawiamy do tabeli pomiarowej.

Przeprowadzenie analizy:

1. . Na 'pulpicie' znajduje się plik '**Tabela.txt**'. Klikamy w niego, aby go otworzyć. (Jeżeli pliku nie ma należy się wylogować i zalogować ponownie na konto B58 w systemie Windows)
2. Do pliku wpisujemy dane z naszej tabeli pomiarowej w odpowiednim formacie, tzn.:
 - w pierwszej kolumnie podajemy współrzędną długości smartfona w centymetrach,
 - w drugiej kolumnie podajemy współrzędną szerokości smartfona w centymetrach,
 - w trzeciej kolumnie podajemy wartość zmierzonego pola magnetycznego w Gausach.

Przykładowy plik powinien wyglądać następująco:

1 1 2.14
1 2 3.18
1 3 4.17
1 4 5.16

2 1 2.17
2 2 3.15
2 3 4.17
2 4 5.11

3 1 1.19
3 2 2.18
3 3 4.11
3 4 5.11

ltd.

Pamiętajmy, że dane pomiarowe zapisujemy w postaci trzech liczb oddzielonych spacją: długość, szerokość i wartość pola. Każdy nowy pomiar umieszczamy w nowym wierszu. Grupy pomiarowe (dla różnych długości) należy oddzielić pustą linią (tak jak w przykładzie). Format wprowadzania danych jest istotny dla późniejszej obróbki graficznej wykonywanej przez 'Gnuplot'. Plik kończymy również pustą linią.

3. Po wprowadzeniu danych do pliku zapisujemy go, np. skrótem klawiszowym Ctrl + S.
4. Następnie klikamy w ikonę na pulpicie: „**Zrób wykres**”. Program przeformatuje wprowadzone dane i uruchomi Gnuplot, który wygeneruje wykres i zapisze go na pulpicie.
5. Otrzymany wykres przedstawia rozkład statycznego pola magnetycznego wytwarzanego przez nasz Smartfon. **Plik należy zgrać na pamięć zewnętrzną, wydrukować i dołączyć do sprawozdania.**

Pytania dodatkowe do dyskusji we wnioskach:

1. Jakie powinny być działania w przypadku wykrycia niebezpiecznych poziomów pola magnetycznego?
2. Jakie zagrożenia medyczne mogą wynikać z przebywania w stałym polu magnetycznym? (Literatura poz. 3)
3. Jakie wartości pola magnetycznego są uważane za wystarczające do aktywacji trybu magnesu w urządzeniach medycznych? (Literatura poz. 3)

Literatura

- 1) Zastko, L., Makinistian, L., Tvarožná, A. *et al.* Mapping of static magnetic fields near the surface of mobile phones. *Sci Rep* **11**, 19002 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98083-9>
- 2) Seth J. Seidman, Joshua Guag, Brian Beard, Zane Arp, Static magnetic field measurements of smart phones and watches and applicability to triggering magnet modes in implantable pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators, *Heart Rhythm* **18** (10), 1741 - 1744 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2021.06.1203>.
- 3) FDA, Magnets in Cell Phones and Smart Watches May Affect Pacemakers and Other Implanted Medical Devices. <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/cell-phones/magnets-cell-phones-and-smart-watches-may-affect-pacemakers-and-other-implanted-medical-devices>
- 4) Bin Zhang, Xichen Yuan, Huanhuan Lv, Jingmin Che, et al. Biophysical mechanisms underlying the effects of static magnetic fields on biological systems, *Progress in Biophysics and Molecular Biology* **177**, 14-23 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2022.09.002>.

- 5) ICNIRP GUIDELINES ON LIMITS OF EXPOSURE TO STATIC MAGNETIC FIELDS published in *Health Physics* **96**(4), 504-514 (2009)
- 6) GUIDE FOR IMPLEMENTING DIRECTIVE 2013/35/EU ON ELECTROMAGNETIC FIELDS.