

# Zrozumieć magnetyzm

## Zadania kwalifikacyjne na WWW 2026

Emil Pająk

Zadania zostały opracowane w taki sposób, aby pomóc uczestnikom przygotować się do warsztatów. Żeby zakwalifikować się na warsztaty, rozwiązanie wszystkich zadań nie jest konieczne, jednak zwiększa szansę przyjęcia w przypadku dużej liczby chętnych. W razie ewentualnych wątpliwości, czy pytań proszę o kontakt poprzez [emilpajak.edu@gmail.com](mailto:emilpajak.edu@gmail.com)

### Zadanie 0. (Bonusowe 5 pkt.)

Czym się interesujesz i dlaczego zdecydowałeś/aś się aplikować na moje warsztaty? Czego chciałbyś/chciałabyś się dowiedzieć podczas warsztatów? (Pytanie nieobowiązkowe, ale będzie miało wpływ na poziom trudności i omawiany zakres materiału)

### Zadanie 1. (10 pkt.)

Z polami magnetycznymi spotykamy się na porządku dziennym, jednak często nie zdajemy sobie sprawy, jak silne lub słabe jest pole, z którym mamy do czynienia. Poszukaj w dostępnych źródłach informacji i podaj wartości indukcji magnetycznej charakteryzujące:

- a) typowy magnes neodymowy oraz magnes ferrytowy,
- b) ziemskie pole magnetyczne (w naszej szerokości geograficznej),
- c) skanery do medycznego rezonansu magnetycznego (MRI),
- d) pole niezbędne do przeprowadzenia słynnej lewitacji magnetycznej żaby,
- e) pole wykorzystywane do odchylenia wiązki elektronów w dawnych telewizorach kineskopowych (CRT),
- f) pole zakrzywiające tory cząstek w Wielkim Zderzaczach Hadronów (LHC),
- g) pole generowane przez domową płytę indukcyjną,
- h) pole magnetyczne paska magnetycznego na karcie płatniczej (lub pole potrzebne do jego rozmagnesowania).

Następnie odpowiedz na pytania dotyczące wartości rekordowych:

- Jakie jest maksymalne stałe oraz maksymalne impulsowe pole magnetyczne wytworzone dotychczas przez człowieka?
- W jaki sposób udało się osiągnąć te rekordowe wartości (jakich technologii użyto)?

## Zadanie 2. (15 pkt.)

Aby w pełni opisać właściwości materiału magnetycznego, nie wystarczy podać tylko jednej liczby. Kluczowym narzędziem dla fizyków i inżynierów jest tzw. pętla histerezy magnetycznej. Poszukaj odpowiednich informacji i odpowiedz na poniższe pytania:

- Wyjaśnij krótko, czym jest pętla histerezy magnetycznej. Jakie wielkości fizyczne odkładamy na osiach tego wykresu?
- Na podstawie pętli histerezy wyznacza się dwa kluczowe parametry magnesu: **remanencję** (oznaczaną jako  $B_r$ ) oraz **koercję** (oznaczaną jako  $H_c$ ). Wyjaśnij, co oznaczają te pojęcia i co mówią nam o właściwościach danego magnesu w życiu codziennym.
- W katalogach producentów magnesów (np. neodymowych) najważniejszym parametrem określającym ich użyteczną "moc" jest tzw. **maksymalny produkt energii** (oznaczany jako  $(BH)_{max}$ ). Wyjaśnij, czym jest ta wielkość, w której części pętli histerezy się jej szuka i dlaczego to ona definiuje optymalny punkt pracy magnesu.
- Magnesy mają również swoje ograniczenia termiczne, które wpływają na ich parametry pracy. Wyjaśnij różnicę między **maksymalną temperaturą pracy** magnesu a jego **temperaturą Curie**.

## Zadanie 3. (10 pkt.)

Wyobraź sobie, że w laboratorium inżynierii materiałowej tworzysz nowy materiał. W tym celu mieszasz zwykły, niemagnetyczny polimer (np. rodzaj gumy lub plastiku) z drobnym proszkiem (mikrocząstkami) twardego ferromagnetyka. Zastanów się, jak modyfikacja składu tej mieszaniny wpłynie na jej końcowe właściwości magnetyczne i odpowiedz na poniższe pytania:

- Jak zmieni się **remanencja** ( $B_r$ ) oraz **koercja** ( $H_c$ ) całego kompozytu, jeśli zwiększymy procentowy udział mikrocząstek magnetycznych w polimerze? Uzasadnij krótko swoją odpowiedź.
- Co stanie się z remanencją i koercją tego materiału, jeśli całkowicie zmienimy rodzaj proszku i zamiast cząstek ferromagnetycznych **twardych**, użyjemy cząstek ferromagnetycznych **miękkich**? Dlaczego tak się stanie?

## Zadanie 4. (10 pkt.)

Podczas warsztatów zajmiemy się stworzeniem toru, ponad którym zablokujemy kwantowo nadprzewodnik. Dzięki poprzednim zadaniom wiemy już, z jakimi polami magnetycznymi będziemy mieli do czynienia i jak ocenić parametry magnesów neodymowych, z których ułożymy naszą trasę na wydrukowanych w 3D elementach. Aby jednak dobrze zrozumieć fizykę stojącą za tym eksperymentem, musimy jeszcze zgłębić temat samych nadprzewodników.

Poszukaj informacji i odpowiedz na poniższe pytania:

- Czym są nadprzewodniki? Wyjaśnij, co dzieje się z oporem elektrycznym materiału po jego ochłodzeniu poniżej tzw. temperatury krytycznej ( $T_c$ ).
- Wyjaśnij różnicę między nadprzewodnikami **typu I** a **typu II**. Który z tych typów jest wykorzystywany do budowy układów lewitacyjnych (takich jak nasz) i dlaczego?

- c) Czym jest **efekt Meissnera**? Wyjaśnij, dlaczego samo to zjawisko nie zapewniłoby stabilnej lewitacji.
- d) Wyjaśnij zjawisko **zablokowania kwantowego**. Dlaczego pozwala ono na stabilne "zamrożenie" nadprzewodnika w konkretnej odległości nad torem, a nawet na jego lewitację do góry nogami (podwieszenie pod torem)?

## Zadanie 5. Wyzwanie Inżynierskie! (Bonusowe 30 pkt.)

Teorię mamy już opanowaną, czas na praktykę! Twoim zadaniem jest zaprojektowanie w dowolnym programie CAD (np. Autodesk Inventor Pro, Fusion 360, SolidWorks) modelu 3D toru do lewitacji nadprzewodnika. Liczy się pomysłowość i kreatywność! Zadanie nie jest obowiązkowe, ale podczas warsztatów wspólnie ocenimy nadesłane prace i zdecydujemy, który z pomysłów (lub które z nich) faktycznie wydrukujemy i przetestujemy w akcji.

Tor projektujesz pod konkretny obiekt – wymiary naszego nadprzewodnika YBCO to **dysk o średnicy 30 mm i grubości 10 mm**.

Aby Twój projekt miał szansę na realizację, musi być wykonalny. Do pliku z modelem 3D dołącz krótki opis, w którym odniesiesz się do poniższych kluczowych kwestii inżynierskich:

- **Budżet i dobór magnesów:** Koszt magnesów potrzebnych do wyłożenia Twojego toru nie może przekroczyć 300 zł. Zastanów się i uzasadnij, jakie magnesy (wymiary, kształt, klasa) sprawdzą się najlepiej przy wymyślonej przez Ciebie krzywiznie toru.
- **Montaż i tolerancje:** W jaki sposób przymocujesz magnesy do plastikowego (PLA / PETG) wydruku? Pamiętaj o uwzględnieniu odpowiednich tolerancji w projekcie 3D - wcięcia i rynienki na magnesy nie mogą mieć idealnie tych samych wymiarów co sam magnes.
- **Czas produkcji:** Szacowany czas druku 3D całego modelu nie powinien przekraczać 24 godzin. Jeśli masz genialny pomysł na coś większego, skontaktuj się z prowadzącym - w wyjątkowych przypadkach wybrane elementy możemy zacząć drukować jeszcze przed warsztatami.
- **Analiza ryzyka:** Jakich problemów (konstrukcyjnych, fizycznych lub montażowych) spodziewasz się przy realizacji swojego projektu i jak planujesz im zapobiec?

Zainteresowanym polecam artykuł "Möbius strip-shaped track for superconductor levitation design and prototyping" dostępny [Tutaj].

## Informacje techniczne i zasady oddawania prac

- Rozwiązania zadań należy przygotować i przesłać w formie elektronicznej.
- Pliki projektowe CAD (dotyczące Zadania 5) należy umieścić na swoim Dysku Google i w treści dokumentu z rozwiązaniami - oprócz zdjęć i opisu modelu - zamieścić bezpośredni link do folderu lub pliku (zaleca się wyeksportować model do uniwersalnego pliku .STL aby dało się go otworzyć w dowolnym programie CAD).
- *Wskazówka: Przed wysłaniem linku sprawdź, czy uprawnienia na Dysku Google pozwalają na wyświetlenie pliku każdej osobie posiadającej link.*

- Podczas rozwiązywania zadań korzystanie z narzędzi sztucznej inteligencji **nie jest zabronione**. Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, co zostało opracowane samodzielnie, a co wygenerowane przez AI. Treści wygenerowane przez AI należy każdorazowo weryfikować! Warto jednak pamiętać, że celem tych zadań nie jest sprawdzenie w ile sekund najnowsze modele rozwiążą kilka problemów z magnetyzmu, lecz wstępne zaznajomienie się uczestników z tematem, którego dotyczyć będą warsztaty, dlatego gorąco zachęcam do pracy samodzielnej.

Powodzenia!