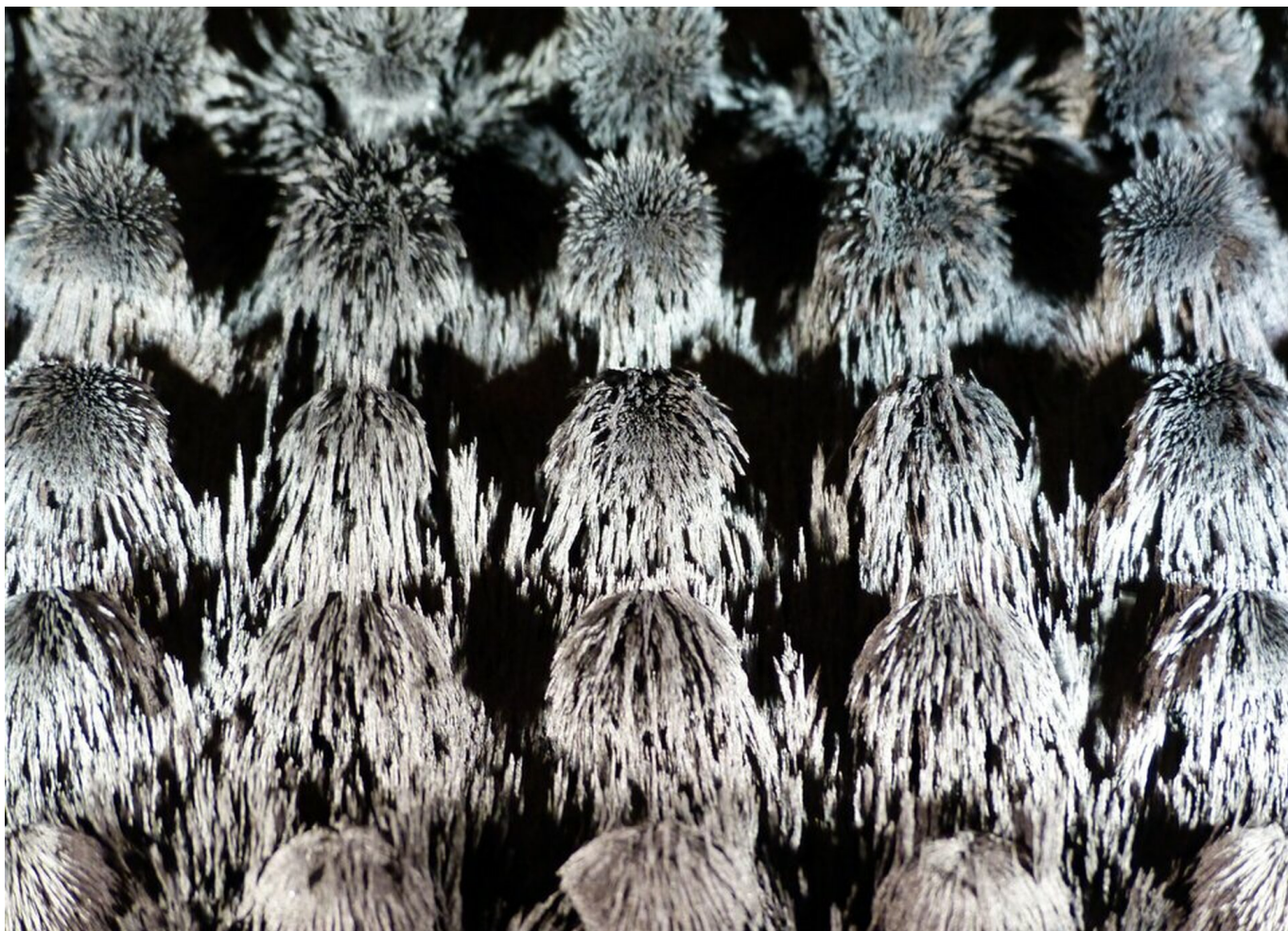
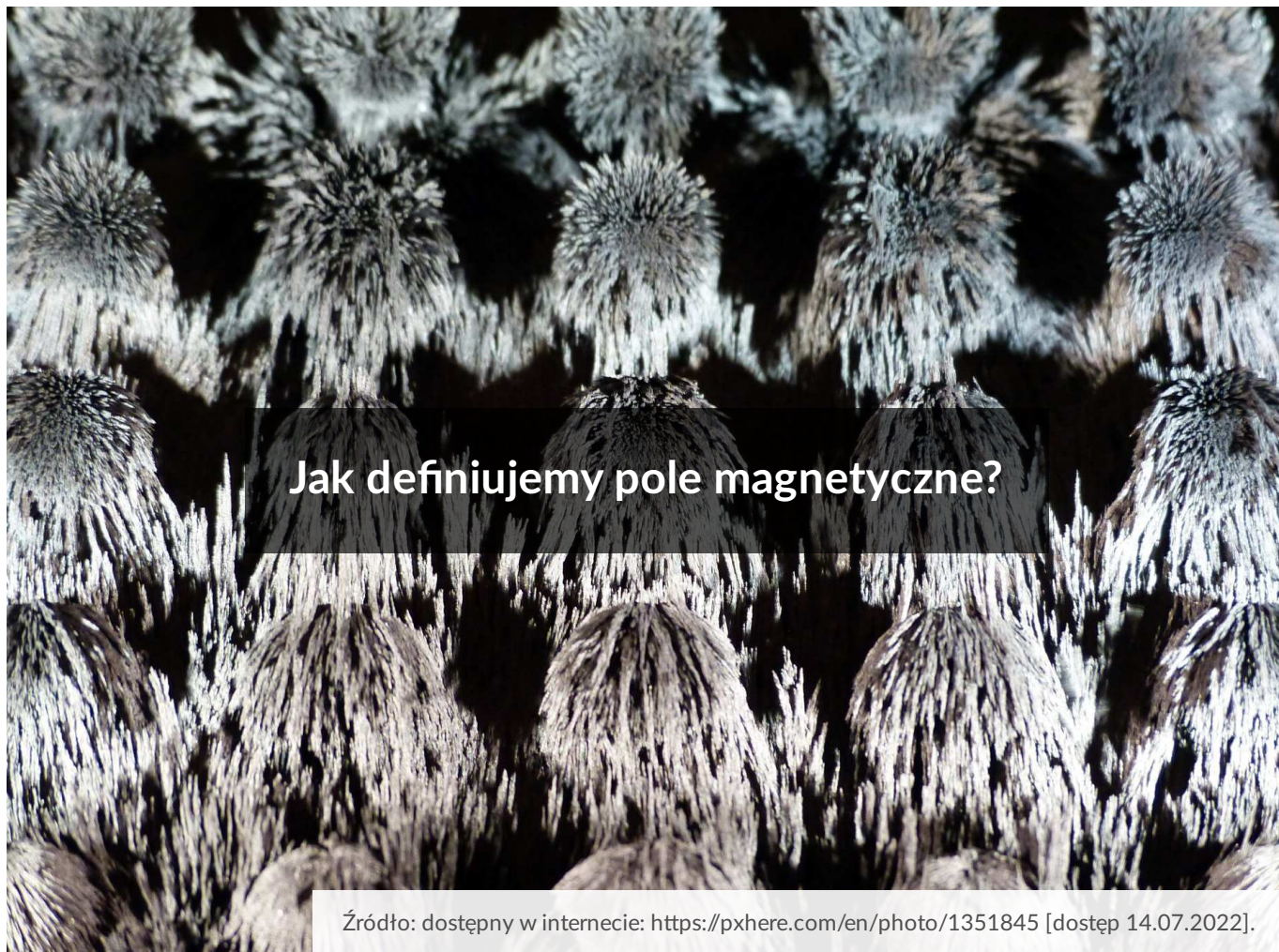




Jak definiujemy pole magnetyczne?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



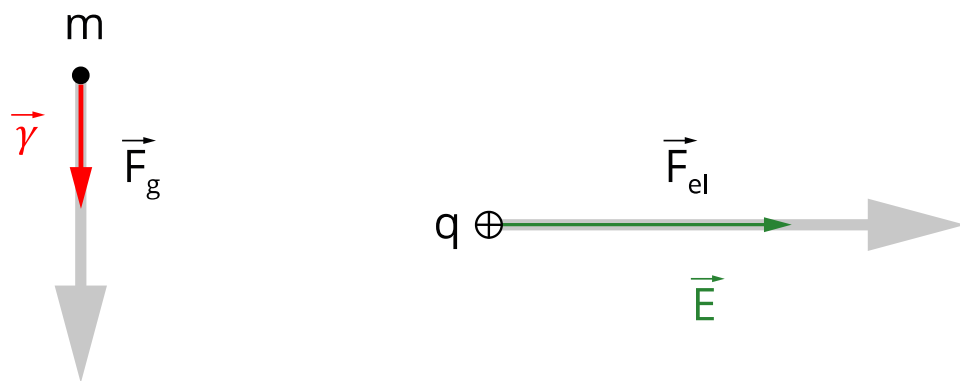
Jak definiujemy pole magnetyczne?

Źródło: dostępny w internecie: <https://pxhere.com/en/photo/1351845> [dostęp 14.07.2022].

Czy to nie ciekawe?

Przypomnijmy sobie dwa ważne pojęcia: pole grawitacyjne i pole elektryczne. Wprowadzono je, aby opisać działanie na odległość mas albo ładunków. Mówimy, że w przestrzeni określone jest pewne pole, jeżeli każdemu punktowi przestrzeni przypisano pewną wielkość skalarną lub wektorową. W przypadku pól grawitacyjnych i elektrycznych wielkością tą jest siła, która działa na pewne ciała, będące „**ciałami próbnymi**” pola.

I tak: jeśli na ciało obdarzone masą m („ciało próbne” pola grawitacyjnego) działa w pewnym obszarze przestrzeni siła, to znaczy, że jest to siła grawitacji i mamy do czynienia w tym obszarze z polem grawitacyjnym. Przy czym wielkość fizyczna opisująca to pole – natężenie pola grawitacyjnego $\vec{\gamma}$ jest zdefiniowana w prosty sposób: $\vec{\gamma} = \frac{\vec{F}_g}{m}$. Oba wektory symbolicznie pokazano na Rys. a.



Rys. a. Wektory wykorzystywane przy opisie pola grawitacyjnego (po lewej) oraz elektrycznego (po prawej).
 Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Z kolei, jeśli na ciało obdarzone ładunkiem q („próbnik” pola elektrycznego) działa w pewnym obszarze siła, to jest to siła elektryczna. Mamy wtedy do czynienia z polem elektrycznym. Wielkość opisująca to pole – natężenie pola elektrycznego $\vec{E}$ jest zdefiniowana analogicznie do natężenia pola grawitacyjnego: $\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q}$. Dla ładunku dodatniego, który zwykle przyjmuje się jako ładunek próbny, wektor natężenia pola $\vec{E}$ ma kierunek i zwrot identyczny jak siła elektryczna (zobacz Rys. a). To samo dotyczy pola grawitacyjnego, z tym, że nie trzeba tu niczego zakładać o masie – jest zawsze dodatnia.

Pole magnetyczne zdefiniowane jest analogicznie jak wspomniane wyżej pola: **istnienie tego pola przejawia się działaniem siły na ciało próbne, którym jest w tym przypadku poruszający się ładunek.**

Ale tutaj sytuacja jest dużo bardziej skomplikowana. Okazuje się, że gdy ładunek porusza się w pewnym kierunku, to mimo, że znajduje się w polu magnetycznym, żadna siła na niego nie działa. Tak więc, o działaniu siły decyduje ustawienie wektora prędkości naładowanej cząstki. Dość szokujące!

W tym e-materiale spróbujemy rozwikłać tę zagadkę, powiemy o związku pola magnetycznego z siłą działającą na poruszającą się naładowaną cząstkę i zdefiniujemy wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}$, za pomocą którego opisujemy pole magnetyczne.

Twoje cele

W tym e-materiale:

- poznasz wyrażenie opisujące wektor siły magnetycznej działającej na naładowaną cząstkę poruszającą się w polu magnetycznym,
- obliczysz wartość siły magnetycznej, znajdziesz jej kierunek i zwrot,
- zdefiniujesz wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}$, wielkości charakteryzującej pole magnetyczne,
- wyjaśnisz, w jaki sposób mierzona jest wartość indukcji magnetycznej,
- obliczysz wartość tej indukcji oraz ustalisz jej kierunek i zwrot na podstawie sił działających na poruszający się ładunek.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Wprowadzimy wektor charakteryzujący **pole magnetyczne** $\vec{B}$ zwany indukcją magnetyczną. Podobnie jak dla innych pól jego wartość będzie wprost proporcjonalna do siły działającej na ciało próbne, czyli poruszający się ładunek; ma przecież informować nas o właściwości pola, jaką jest jego „siła”.

Z przeprowadzonych eksperymentów wynika, że na cząstkę obdarzoną ładunkiem q , poruszającą się z prędkością $\vec{v}$ w polu magnetycznym o indukcji $\vec{B}$ działa siła magnetyczna zwana siłą Lorentza opisana matematycznie w następujący sposób:

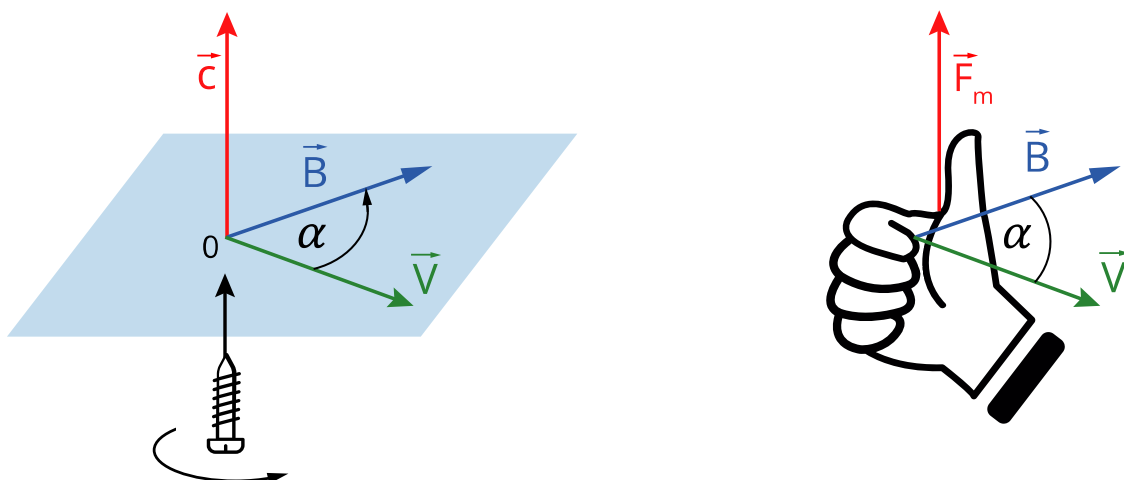
$$\vec{F}_m = q \cdot \vec{v} \times \vec{B},$$

gdzie q jest ładunkiem z uwzględnieniem znaku (np. dla elektronu $q = -e$.)

Skądinąd wiemy, że kierunek i zwrot indukcji magnetycznej $\vec{B}$ pokazuje igła magnetyczna umieszczona w tym polu. Zwrot wektora indukcji pokazuje biegun północny igły.

Siła magnetyczna wyrażona jako iloczyn wektorowy ma następujące właściwości:

1. Jej wartość opisana jest wzorem: $F_m = |q|vB \sin \angle(\vec{v}, \vec{B})$. Widzimy tutaj, że wartość siły magnetycznej jest wprost proporcjonalna do wartości indukcji magnetycznej B . Zatem im większa indukcja, tym większa siła. Mówimy wtedy, że pole magnetyczne jest „silniejsze”. Indukcja magnetyczna jest więc wielkością dobrze charakteryzującą pole magnetyczne. Ale kierunek i zwrot tego wektora **nie jest taki, jak siły magnetycznej**.
2. Wektor siły $\vec{F}_m$ jest prostopadły zarówno do wektora prędkości $\vec{v}$ jak i wektora indukcji magnetycznej $\vec{B}$; inaczej mówiąc – wektor siły $\vec{F}_m$ jest prostopadły do płaszczyzny, w której leżą wektory $\vec{v}$ i $\vec{B}$.
3. Zwrot wektora siły magnetycznej $\vec{F}_m$ jest określony regułą śruby prawoskrętnej, która obrazowo dla ładunku dodatniego pokazana jest na Rys. 1.



Rys. 1. Metody określania zwrotu siły magnetycznej: po lewej - metoda śruby prawoskrętnej, po prawej - metoda prawej dłoni.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Na Rys. 1. pokazano, w jaki sposób użyć prawej dłoni do znalezienia kierunku i zwrotu wektora będącego iloczynem wektorowym. Kierujemy palec dłoni wzdłuż wektora $\vec{v}$ (mają pokazywać kierunek tego wektora), ale dłoń należy ustawić tak, by wektor indukcji $\vec{B}$ zaczepiony wewnątrz dłoni „wychodził” przez jej grzbiet. Wtedy można „nakręcić” wektor $\vec{v}$ na $\vec{B}$. Przy takim ustawieniu dłoni kciuk pokaże kierunek i zwrot wektora $\vec{F}_m$. Warto wiedzieć, że w ten sposób znajdziemy dowolny wektor będący iloczynem wektorowym dwóch wektorów. Reguła ta jest uniwersalna.

Dla ładunku ujemnego, np. dla elektronu, trzeba, po zastosowaniu omówionej procedury, zmienić zwrot siły na przeciwny. Ewentualnie zastosować regułę śruby lewoskrętnej, czyli użyć lewej ręki.

Zwróćmy uwagę na dwa interesujące fakty związane z działaniem siły magnetycznej na poruszającą się naładowaną cząstkę.

Po pierwsze:

Naładowana cząstka może poruszać się w polu magnetycznym, a siła magnetyczna $\vec{F}_m$ w ogóle nie będzie na nią działała. Taka sytuacja zdarzy się, gdy kąt między wektorem prędkości $\vec{v}$, a wektorem indukcji $\vec{B}$ będzie wynosił zero albo 180° (sinus tego kąta będzie równy zero). Tak więc wtedy, gdy cząstka porusza się równoległe do linii pola magnetycznego, nie działa na nią siła $\vec{F}_m$.

Po drugie:

Maksymalna wartość siły magnetycznej ze względu na kąt między $\vec{v}$, a $\vec{B}$ występuje przy kącie 90° i jest równa $F_{max} = |q|vB$.

Wykorzystując powyżej sformułowane właściwości możemy skonstruować następującą **definicję indukcji magnetycznej $\vec{B}$** :

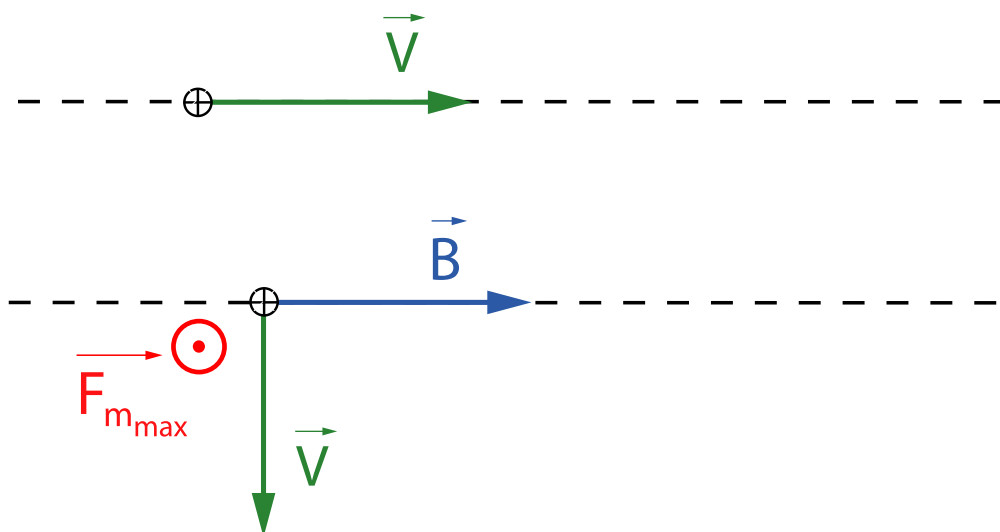
1. Znajdujemy kierunek wektora indukcji magnetycznej $\vec{B}$ jako prostą, wzdłuż której poruszający się ładunek nie doznaje siły magnetycznej;
2. Mierzmy siłę magnetyczną działającą na naładowaną cząstkę poruszającą się w kierunku prostopadłym do poprzedniego, wtedy wartość indukcji obliczymy jako:

$$B = \frac{F_{max}}{|q|v}$$

3. Zwrot indukcji magnetycznej $\vec{B}$ wyznaczmy z reguły śruby prawoskrętnej, przyjmując, że znamy zwroty wektorów prędkości $\vec{v}$ i maksymalnej siły magnetycznej $\vec{F}_{max}$.

Przykład:

Na dodatnio naładowaną cząstkę poruszającą się w polu magnetycznym po prostej (zobacz Rys. 2. u góry) nie działa siła magnetyczna. To znaczy, że wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}$ skierowany jest również wzdłuż prostej.



Rys. 2. Ruch cząstki naładowanej dodatnio w polu magnetycznym.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Jeśli cząstka poruszać się będzie w kierunku prostopadłym do poprzedniego (patrz Rys. 2 u dołu), to będzie na nią działać siła magnetyczna $\vec{F}_m$ i to maksymalna $\vec{F}_m = \vec{F}_{max}$. Jeśli widzimy, że cząstka zakręca w naszą stronę (przed ekran), to znaczy, że siła magnetyczna jest skierowana do nas. Stąd, z reguły śruby prawoskrętnej, znajdujemy zwrot wektora indukcji magnetycznej $\vec{B}$. Wartość obliczymy po zastosowaniu wzoru, zapisanego w punkcie 2.

Jednostką indukcji magnetycznej jest **tesla** (T).

Jak wynika z definicji indukcji

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

Słowniczek

Pole magnetyczne

(ang. *magnetic field*) - stan przestrzeni charakteryzujący się działaniem siły, zwanej siłą magnetyczną (Lorentza) na poruszający się ładunek umieszczony w tej przestrzeni bądź na obiekt obdarzony momentem magnetycznym; wielkością charakteryzującą pole magnetyczne jest wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}$.

Film samouczek

Jak definiujemy pole magnetyczne

W samouczku zobaczymy, w jaki sposób naprawdę mierzy się wartość indukcji magnetycznej. Przecież sposób zaproponowany w części „Przeczytaj” jest mocno teoretyczny. Praktycznie do pomiaru indukcji używa się przyrządu zwanego teslomierzem, którego sercem jest najczęściej hallotron. Właśnie efekt Halla, wykorzystywany w działaniu hallotronu opiszemy w samouczku.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D17XBroz8>

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

Polecenie 1

W jaki sposób hallotron powinien być umieszczony w przestrzeni, w której chcemy mierzyć indukcję magnetyczną?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Czy z faktu, że na poruszający się ładunek nie działa żadna siła, możemy wnioskować, że nie znajduje się on w polu magnetycznym?

☐ tak

☐ nie

Ćwiczenie 2



Wstaw odpowiedź w okienko.

Odp.: Jednostką indukcji magnetycznej jest .

Ćwiczenie 3



Wstaw w okienko poprawne wyrażenie z podanych poniżej.

Odp.:

Wymiarem tesli w jednostkach podstawowych SI jest

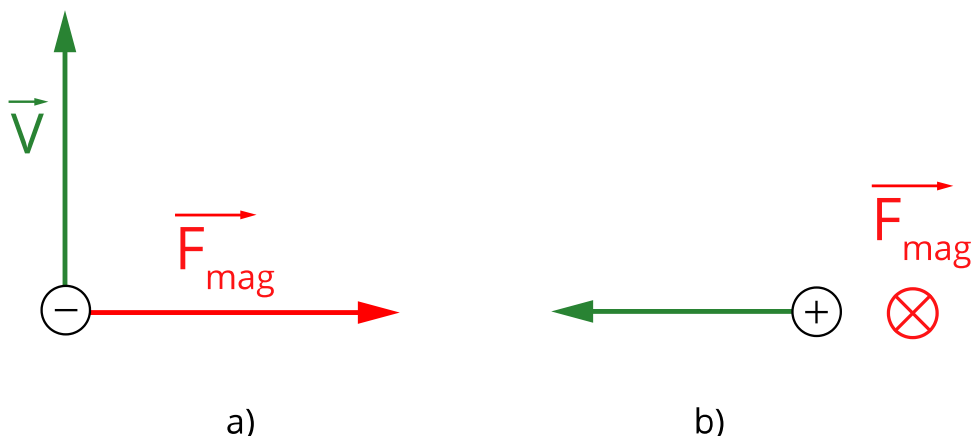
$$\frac{\text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{A}}$$

$$\frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{A}^2}$$

$$\frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \cdot \text{A}}$$

$$\frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{A}}$$

Ćwiczenie 4



Rys. a, b

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Wybierz odpowiednie uzupełnienie zdania.

Odp.: Rysunki a i b przedstawiają wektor prędkości naładowanej cząstki i maksymalnej siły magnetycznej. W przypadku (a) cząstką jest elektron; wektor indukcji $\vec{B}$ jest skierowany
od rysunku ☐ / w głąb rysunku ☐. W przypadku (b) cząstką jest proton; wektor indukcji $\vec{B}$ jest skierowany na rysunku ☐ / w dół ☐.

Ćwiczenie 5



Elektron porusza się z prędkością 10^6 m/s po okręgu o promieniu 1 cm. Oblicz wartość indukcji magnetycznej B pola, w którym znajduje się ten elektron. Masa elektronu wynosi $9,11 \cdot 10^{-31}$ kg. Odpowiedź podaj z dokładnością do setnej części militesli.

Odp.: $B =$ mT

Ćwiczenie 6

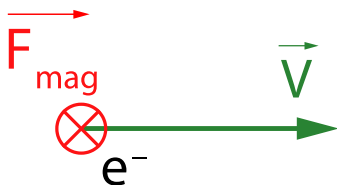


Na elektron poruszający się z prędkością 10^5 m/s działa siła magnetyczna równa 4 fN (femtoniutony) będąca połową wartości magnetycznej siły maksymalnej.

a) Oblicz wartość indukcji magnetycznej B pola, w którym znajduje się ten elektron. Ładunek elektronu wynosi $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Odpowiedź podaj z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.

$B =$ T.

b) Narysuj na kartce wektor indukcji $\vec{B}$, jeśli wektory $\vec{v}$ i $\vec{F}_{mag}$ tworzą układ jak na rysunku. Porównaj Twój rysunek do rysunku w odpowiedzi.



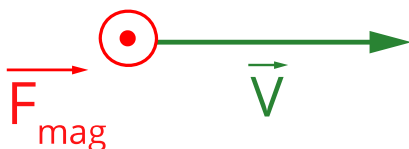
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 7



Na **dodatnio** naładowaną cząstkę poruszającą się z prędkością $\vec{v}$ w jednorodnym polu magnetycznym działa siła magnetyczna w kierunku pokazanym na rysunku i niekoniecznie ma wartość maksymalną. W jaki sposób skierowany jest wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}$?



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Uwaga: Istnieje wiele możliwości. Spróbuj je naszkicować na kartce, a następnie opisać matematycznie.

Ćwiczenie 8



Gdy proton poruszał się w polu magnetycznym z prędkością $\vec{v}_1$, to działała na niego siła magnetyczna o wartości $F_1 = 2 \cdot 10^{-15} \text{ N}$ zwrócona, jak na rysunku.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Na proton poruszający się w kierunku prostopadłym do poprzedniego z prędkością $\vec{v}_2$, ale o tej samej wartości prędkości, co poprzednio, $v_1 = v_2 = v = 10^6 \text{ m/s}$ w tym samym polu magnetycznym, działa siła magnetyczna o wartości $F_2 = 3F_1$ i przeciwnie skierowana do siły $\vec{F}_1$.

Dorysuj na kartce przykładowy wektor indukcji $\vec{B}$ oraz wektor prędkości $\vec{v}_2$.

Ćwiczenie 9



Oblicz wartość indukcji magnetycznej B z poprzedniego zadania. Podaj ją z dokładnością do setnych części tesli.

$B =$ T.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Nina Tomaszewska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jak definiujemy pole magnetyczne
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarne, wykonuje graficznie działania na wektorach (dodawanie, odejmowanie, rozkładanie na składowe); 6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi. IX. Magnetyzm. Uczeń: 2) posługuje się pojęciem wektora indukcji magnetycznej wraz z jego jednostką, analizuje oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem oraz na poruszającą się cząstkę naładowaną (siła Lorentza, siła elektrodynamiczna); opisuje rolę pola magnetycznego Ziemi jako osłony przed wiatrem słonecznym.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	Uczeń: 1. zdefiniuje wyrażenie opisujące wektor siły magnetycznej działającej na naładowaną cząstkę poruszającą się w polu magnetycznym, 2. obliczy wartość siły magnetycznej, znajdzie jej kierunek i zwrot, 3. zdefiniuje wektor indukcji magnetycznej, 4. wyjaśni, w jaki sposób mierzona jest wartość indukcji magnetycznej.
Strategie nauczania:	blended-learning
Metody nauczania:	wykład informacyjny wspomagany pokazem multimedialnym
Formy zajęć:	praca w zespole klasowym
Środki dydaktyczne:	Niniejszy e-materiał + komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia.
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel prosi uczniów o przypomnienie pojęcia pola grawitacyjnego i elektrycznego oraz definicji wielkości charakteryzujących pola – ich wektory natężeń. Następnie nauczyciel mówi o polu magnetycznym – jak jest zdefiniowane; w szczególności, jakie obiekty są jego ciałami próbnymi. Podkreśla, że jest dużo bardziej skomplikowane niż w przypadku poprzednio wspomnianych pól. Omawia z uczniami albo przypomina im, w jaki sposób opisana jest siła działająca na poruszającą się naładowaną cząstkę. Uczniowie zauważają, że siła magnetyczna jest skierowana prostopadle do linii pola magnetycznego.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel podaje wzór Lorentza na siłę magnetyczną w postaci wektorowej i dokładnie omawia cechy wektora siły wynikające z iloczynu wektorowego. Zwraca uwagę na fakt, że w pewnych warunkach, mimo ruchu ładunku w polu magnetycznym siła magnetyczna może nie działać. Wspólnie z uczniami dyskutowana jest kwestia maksymalnej wartości siły magnetycznej. Następnie nauczyciel definiuje wektor indukcji magnetycznej; omawia obliczanie wartości B , ale i znajdowanie kierunku i zwrotu wektora indukcji. Podaje przykład zastosowania tej złożonej definicji. Mówi o jednostce indukcji magnetycznej. W samouczku omówione jest działanie hallotronu – przyrządu służącego do pomiaru wartości indukcji magnetycznej. Myślę, że lepsze niż samodzielne będzie wspólne studiowanie samouczka; tak, żeby nauczyciel mógł coś jeszcze dopowiedzieć, zatrzymać samouczek i wyjaśnić. Możliwe będzie wtedy wspólne zastanowienie się nad postawionym w samouczku pytaniem aktywizującym.

Faza podsumowująca:

W fazie podsumowującej nauczyciel wraz z uczniami rozwiązuje zadania: 6, 8 i 9 z zestawu ćwiczeń.

Praca domowa:

Następujące zadania z zestawu ćwiczeń: 1, 2, 3, 4, 5 i 7.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące
różne
zastosowania
danego
multimedium:**

W zależności od poziomu grupy:

- można nie zajmować się samouczkiem podczas lekcji, zadać zapoznanie się z nim w domu i na następnej lekcji zapytać o pomiar indukcji magnetycznej;
- można zlecić uczniom powtórne (po lekcji) samodzielne przestudiowanie samouczka w domu.