



Wartość wektora indukcji magnetycznej

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

A close-up photograph of a copper solenoid, showing the tightly wound coils of wire. The wire is glowing with a bright orange-red light, suggesting it is heated or carrying a high current. The background is dark, making the glowing coils stand out.

Wartość wektora indukcji magnetycznej

Czy to nie ciekawe?

Wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}$ opisuje pole magnetyczne, przypisując każdemu punktowi przestrzeni informację o sile działającej na poruszający się ładunek. Oczywiście, skoro ma charakteryzować pole magnetyczne, to jego wartość musi być wprost proporcjonalna do wartości siły działającej na poruszający się ładunek, który jest tu „próbnikiem” pola. Mówimy przecież, że pole jest „silne” albo „słabe”.



Rys. a. Diagnostyczny aparat NMR (jądrowego rezonansu magnetycznego). Główną część przyrządu stanowi nadprzewodzący elektromagnes, który wytwarza bardzo silne pole o wartości indukcji $B = 3 \text{ T}$. Do wnętrza tego elektromagnesu wsuwany jest badany pacjent. Jest to dla niego absolutnie bezpieczne. [Źródło: [Jan Ainali](#), CC BY 3.0, via Wikimedia Commons]

Jeśli zmierzmy wartość siły działającej na poruszającą się naładowaną cząstkę, to zmierzmy też wartość indukcji magnetycznej (jeśli znamy prędkość cząstki). Możemy to zrobić, badając tor cząstki. Ta metoda jest jednak mało praktyczna.

O tym, w jaki sposób naprawdę dokonuje się pomiarów wartości indukcji magnetycznej opowiemy w tym e-materiale.

Twoje cele

W tym e-materiale:

- pogłębisz rozumienie zależności opisujących wartość siły Lorentza i siły elektrodynamicznej,
- dowiesz się, jaka jest zasada działania hallotronu,
- poznasz możliwość zastosowania wagi prądowej do pomiaru wartości indukcji magnetycznej,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązywania problemów związanych z pomiarem wartości indukcji magnetycznej.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Pomiaru wartości indukcji magnetycznej dokonujemy za pomocą teslomierza (Rys. 1.), którego sercem jest najczęściej hallotron.

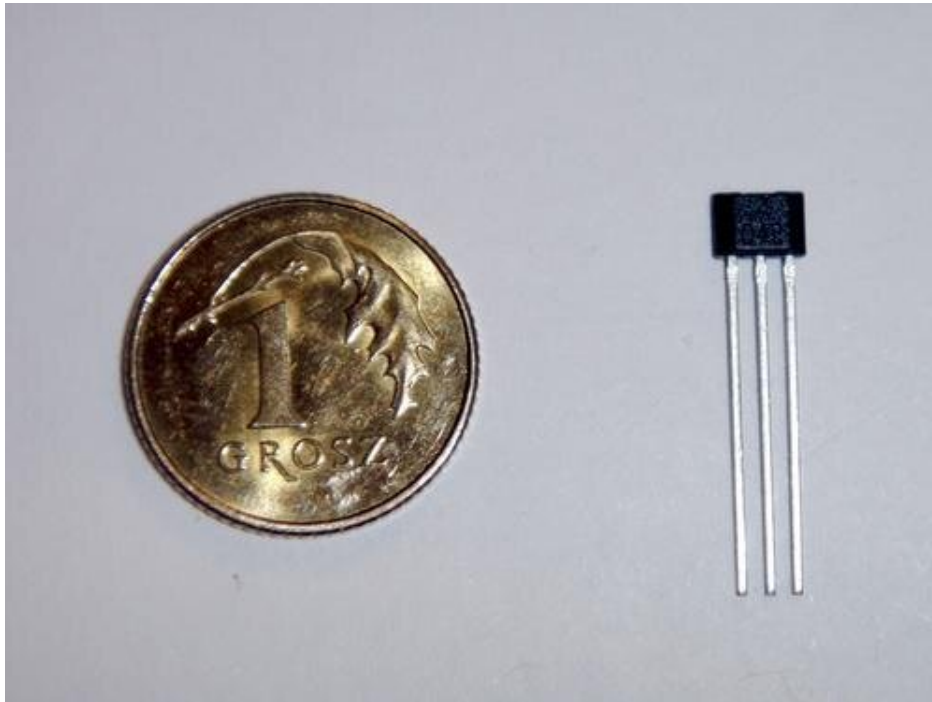


Rys. 1. Teslomierz

Hallotron jest czujnikiem (sensorem) **poła magnetycznego** wykorzystującym zjawisko Halla.

Wyraźniej niż w metalach występuje ono w półprzewodnikach jednego typu (p lub n). Najczęściej wykorzystuje się tu odpowiednio domieszkowany antymonek indu.

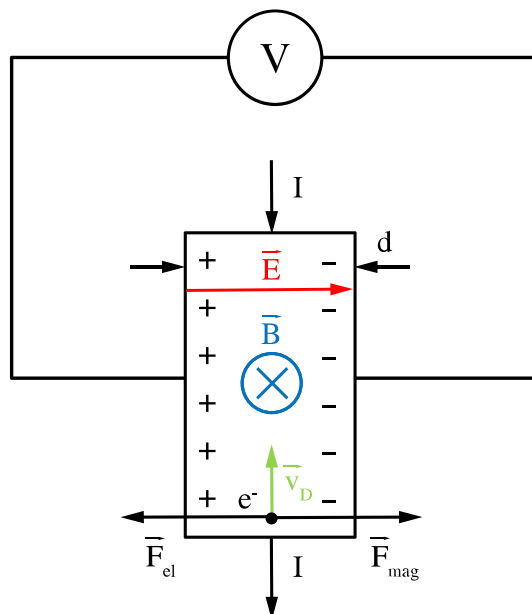
Sam hallotron jest maleńki. Na Rys. 2. porównany został z monetą jednogroszową.



Rys. 2. [Źródło: [Nettigo](#), CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons]

Na czym polega zjawisko Halla.

Wyobraźmy sobie pasek półprzewodnika o szerokości d , w którym płynie prąd o natężeniu I na przykład tak, jak na Rys. 3. Jak wiemy, elektrony poruszają się z prędkością dryfu $\vec{v}_d$ w kierunku przeciwnym do kierunku prądu.



Rys. 3. W półprzewodniku, w którym płynie prąd elektryczny, umieszczonym w zewnętrznym polu magnetycznym, powstaje poprzeczne napięcie elektryczne, zwane napięciem Halla.

Powiedzmy, że umieszczamy ten pasek w polu magnetycznym o indukcji $\vec{B}$, której wektory będą skierowane w głąb rysunku. Na poruszające się elektrony będzie działała **siła magnetyczna** $\vec{F}_{\text{mag}}$ odchylająca je w prawą stronę i powodująca gromadzenie się elektronów przy prawej krawędzi paska.

Przy lewej jego krawędzi pozostaną nieskompensowane ładunki dodatnie. Będzie to powodowało powstanie wewnątrz paska poprzecznego pola elektrycznego o natężeniu $\vec{E}$. Tak więc na każdy poruszający się elektron, oprócz siły magnetycznej spychającej go w prawą stronę, będzie działała siła elektryczna $\vec{F}_{\text{el}}$ przeciwnie zwrócona.

W miarę upływu czasu, ze względu na gromadzenie się ładunków na krawędziach płytki, pole elektryczne będzie coraz silniejsze i w związku z tym – siła elektryczna również. W końcu (naprawdę dzieje się to prawie natychmiast) nastąpi równowaga – siły magnetyczna i elektryczna będą sobie równe. W tej sytuacji elektrony będą poruszały się prostoliniowo, a pole elektryczne uzyska pewną maksymalną i stałą już wartość. Taka sytuacja równowagi przedstawiona jest na Rys. 3. Z polem elektrycznym związane jest napięcie poprzeczne między brzegami płytki zwane napięciem Halla. Można je zmierzyć woltomierzem.

Podobnie jak w kondensatorze, związek tego napięcia z natężeniem pola elektrycznego jest następujący: $U_H = E \cdot d$. Znajomość napięcia Halla pośrednio umożliwia obliczenie **siły magnetycznej**, a dalej – wartości indukcji B .

$F_{\text{el}} = F_{\text{mag max}}$, co rozwinieśmy dalej następująco:

$$eE = ev_d B,$$

skąd $B = \frac{E}{v_d}$. Po wprowadzeniu związku między napięciem a natężeniem pola mamy:

$$B = \frac{U_H}{d \cdot v_d}.$$

Prędkość dryfu elektronów jest wprost proporcjonalna do natężenia prądu, które mierzymy za pomocą amperomierza i można ją ściśle wyznaczyć z teorii przewodnictwa elektrycznego. Tutaj nie będziemy tego robić; skorzystamy jedynie z proporcjonalności między szukaną wartością indukcji magnetycznej B i napięciem Halla. Zapiszemy ją jako:

$$B = C \cdot U_H,$$

gdzie C jest pewnym współczynnikiem proporcjonalności – stałym, przy stałym natężeniu prądu płynącego przez hallotron.

Nie musimy znać parametrów związanych z płytką i przepływającym przez nią prądem. Wystarczy po prostu wyskalować przyrząd. Współczynnik proporcjonalności C będzie stały, jeśli będziemy zawsze do pomiarów używać prądu o tym samym natężeniu (tej samej

prędkości dryfu elektronów). Znajdziemy wartość współczynnika C , jeśli umieścimy płytkę w polu o znanej wartości indukcji B i odczytamy U_H . Teraz możemy już dokonywać pomiarów. Mierzone napięcie Halla mnożymy przez współczynnik proporcjonalności C i otrzymujemy wartość indukcji B .

Zgodnie z Rys. 3. płytka hallotronu powinna być ustawiona tak, żeby wektor indukcji magnetycznej $\vec{B}$ był skierowany do niej prostopadle. Jeśli tak nie będzie, to będziemy mierzyć składową indukcji magnetycznej prostopadłą do płytki. Będzie ona miała maksymalną wartość równą wartości indukcji B wtedy, gdy wektor $\vec{B}$ będzie skierowany do niej prostopadle. Wobec tego, chcąc zmierzyć wartość indukcji B , musimy obracać płytkę w przestrzeni, znajdując ustawienie, dające maksymalne napięcie Halla (wtedy maksymalne jest natężenie pola elektrycznego i maksymalna siła magnetyczna).

Słowniczek

Pole magnetyczne

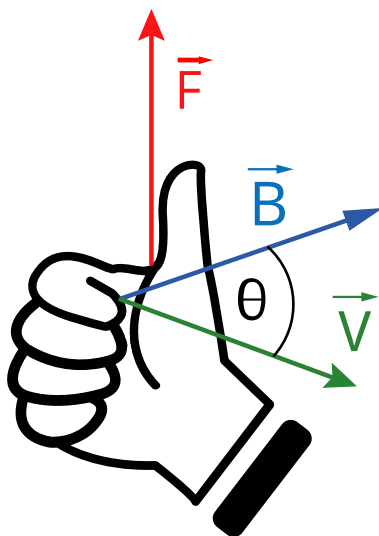
(ang. *magnetic field*) – stan przestrzeni charakteryzujący się działaniem siły, zwanej siłą magnetyczną (Lorentza), na poruszający się ładunek umieszczony w tej przestrzeni bądź na obiekt obdarzony momentem magnetycznym; wielkością charakteryzującą pole magnetyczne jest wektor indukcji magnetycznej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

Linie pola magnetycznego

(ang. *magnetic line of induction*) – poglądowy obraz tego pola. Przebieg linii odzwierciedla układ wektorów indukcji magnetycznej $\vec{B}$ w przestrzeni. W każdym, dowolnym punkcie linii pola zaczepiony jest wektor $\vec{B}$, styczny do tej linii.

Siła magnetyczna

(ang. *magnetic force*) – inaczej zwana siłą **Lorentza** (ściślej jej częścią magnetyczną), jest siłą działającą na poruszający się ładunek w polu magnetycznym; opisana jest równaniem $\vec{F}_{mag} = q \cdot \left(\vec{v} \times \vec{B} \right)$, gdzie q jest ładunkiem (z uwzględnieniem znaku), $\vec{v}$ jest wektorem prędkości ładunku, a $\vec{B}$ jest wektorem indukcji magnetycznej w punkcie, w którym znajduje się ładunek.



Wartość tej siły wynosi: $F_{mag} = |q|vB \cdot \sin \angle(\vec{v}, \vec{B})$, a kierunek wyznacza się stosując regułę śruby prawoskrętnej, co symbolicznie pokazano na rysunku.

Pole jednorodne

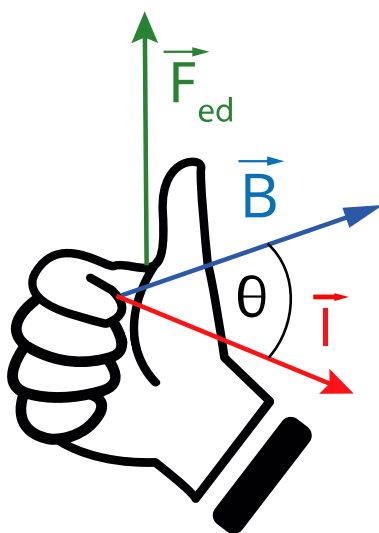
(ang. *uniform field*) – pole elektryczne, magnetyczne bądź grawitacyjne o liniach równoległych; w każdym punkcie przestrzeni wektory opisujące pole są takie same – o tej samej wartości i kierunku.

Siła elektrodynamiczna

(ang. *electromagnetic force*) – siła, która działa na przewodnik z prądem umieszczony w polu magnetycznym. Określa ją następujący wzór: $\vec{F}_{ed} = I \cdot (\vec{l} \times \vec{B})$, gdzie wektor $\vec{l}$ jest wektorem o długości przewodnika l i kierunku i zwrocie zgodnym z kierunkiem prądu w przewodniku. Wartości siły elektrodynamicznej obliczymy posługując się zależnością:

$$F_{ed} = IlB \cdot \sin \angle(\vec{l}, \vec{B})$$

Występujący w tej zależności wektor $\vec{F}_{ed}$ jest prostopadły zarówno do wektora $\vec{l}$, jak i do wektora $\vec{B}$.



Zwrot siły elektrodynamicznej wyznaczamy za pomocą reguły śruby prawoskrętnej, co pokazano na rysunku.

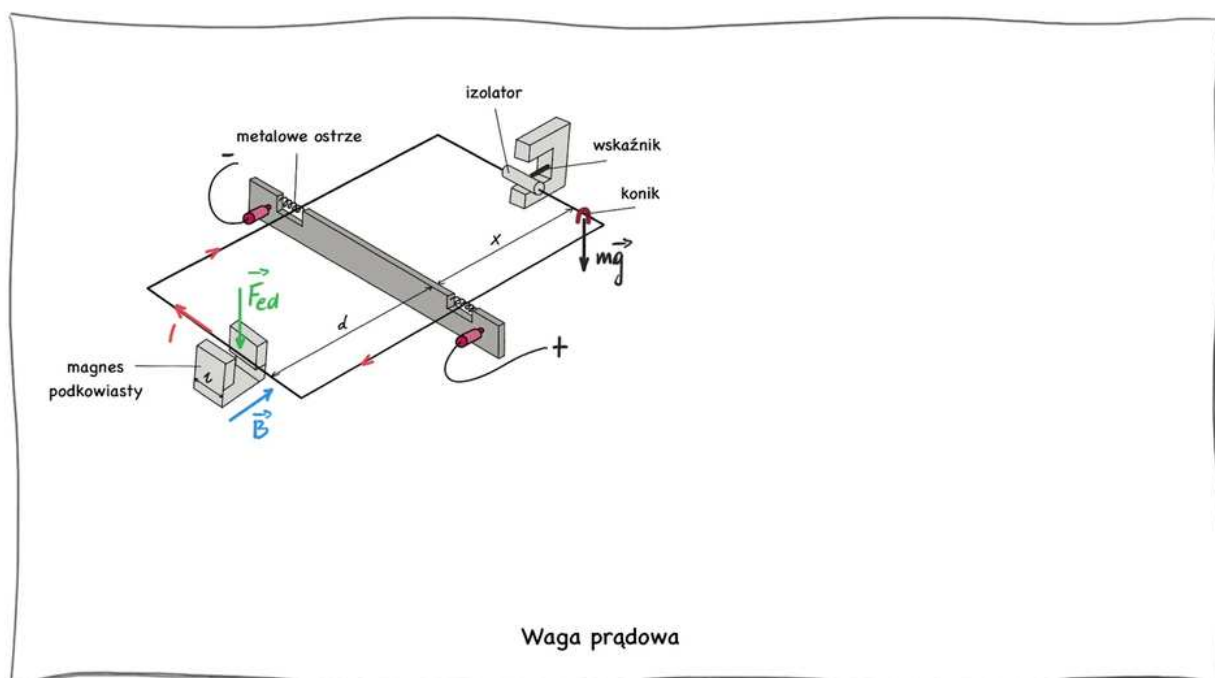
Film samouczek

Wartość wektora indukcji magnetycznej

Polecenie 1

Obejrzyj samouczek, w którym pokazano, jak można zmierzyć wartość indukcji magnetycznej pola jednorodnego za pomocą tzw. wagi prądowej.

Podaj warunek równowagi wagi prądowej, na podstawie którego mierzona jest wartość indukcji magnetycznej $\vec{B}$.



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/R1JQcYCnlwRIH](#)

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

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

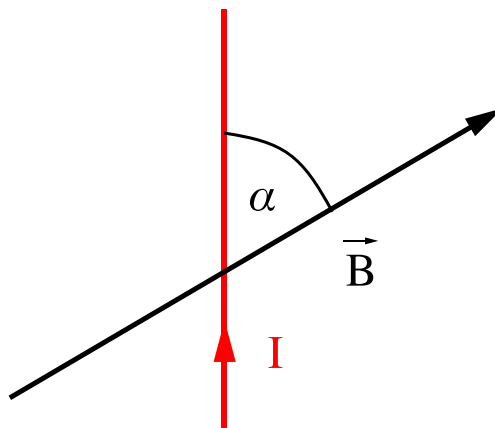
Polecenie 2

A jak wyglądałby nasz pomiar, gdyby zmienić kierunek prądu?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Rysunek przedstawia przewodnik z prądem umieszczony w jednorodnym polu magnetycznym pod kątem $\alpha = 60^\circ$ do wektora indukcji $\vec{B}$. Siła elektrodynamiczna działająca na 1 m bieżący przewodnika ma wartość $F_{ed} = 10^{-3}$ N. Oblicz wartość indukcji magnetycznej, jeśli prąd płynący w przewodniku ma natężenie $I = 2$ A. Odpowiedź podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Odp.: $B =$ mT.

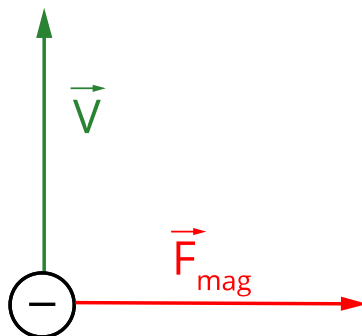
Ćwiczenie 2



Uzupełnij poprawnie zdanie.

Jednostką indukcji magnetycznej jest .

Ćwiczenie 3



Wybierz odpowiednie uzupełnienie zdania.

Rysunek przedstawia wektor prędkości naładowanej cząstki i maksymalnej siły magnetycznej.

Jeśli cząstką jest elektron, to wektor indukcji $\vec{B}$ jest skierowany od rysunku / w głąb rysunku.

Ćwiczenie 4



Uzupełnij tekst, wpisując poprawną wartość indukcji magnetycznej.

Podczas kalibracji hallotronu okazało się, że pole magnetyczne prostopadłe do płytki o indukcji $B = 0,01 \text{ T}$ dało napięcie Halla $U_H = 0,1 \text{ V}$. Przy tym samym prądzie płynącym przez hallotron wskazaniu $U_H = 0,5 \text{ V}$ odpowiada indukcja magnetyczna $B =$ T.

Ćwiczenie 5



Proton porusza się w polu magnetycznym po okręgu o promieniu $r = 0,1 \text{ m}$ z prędkością $v = 5 \cdot 10^6 \text{ m/s}$. Stosunek ładunku protonu do jego masy wynosi $9,58 \cdot 10^7 \text{ C/kg}$. Jaką wartość ma indukcja tego pola magnetycznego? Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Odp.: $B =$ T.



Przewodnik, który podłączono do źródła napięcia w sposób pokazany na rysunku, położony jest na wspornikach A i B. W jaki sposób powinno być skierowane jednorodne pole magnetyczne, w którym umieszczony jest przewodnik, aby przy minimalnej wartości indukcji $\vec{B}$ wsporniki zostały maksymalnie ociążone (przewodnik naciskał je w najmniejszym stopniu)? Wybierz poprawne rozwiązanie z listy propozycji:

- ☐ wektor $\vec{B}$ leży w płaszczyźnie prostopadłej do rysunku i zwrócony jest w głąb rysunku, ale pod kątem 45° do przewodnika
- ☐ wektor $\vec{B}$ leży w płaszczyźnie rysunku, jest prostopadły do przewodnika, a zwrócony jest w górę
- ☐ wektor $\vec{B}$ leży w płaszczyźnie prostopadłej do rysunku i zwrócony jest do nas, ale pod kątem 45° do przewodnika
- ☐ wektor $\vec{B}$ leży w płaszczyźnie rysunku, jest prostopadły do przewodnika, a zwrócony jest w dół
- ☐ wektor $\vec{B}$ leży w płaszczyźnie prostopadłej do rysunku i zwrócony jest od rysunku prostopadle do nas
- ☐ wektor $\vec{B}$ leży w płaszczyźnie prostopadłej do rysunku i zwrócony jest prostopadle w głąb rysunku

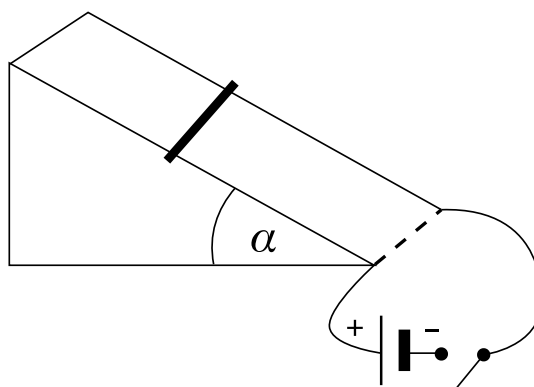
Ćwiczenie 7



Wybierz prawidłowe uzupełnienie zdania.

Siła magnetyczna działająca na cząstkę naładowaną wstrzeloną prostopadle do linii pola magnetycznego {powoduje zmianę} / {nie powoduje zmiany} jej energii kinetycznej.

Ćwiczenie 8



Wzdłuż równi nachylonej pod kątem $\alpha = 30^\circ$, po metalowych szynach spiętych ogniwem, zsuwa się, kiedy obwód jest otwarty, metalowy pręt (zobacz rysunek).

Oblicz minimalną wartość indukcji magnetycznej pola, które należy zastosować, aby po zamknięciu klucza pręt pozostawał nieruchomy. Jak wektor indukcji powinien być skierowany? Załóż brak tarcia. Pręt ma masę $m = 0,01$ kg, długość $l = 0,2$ m; natężenie prądu przezeń płynącego $I = 2$ A. Przyjmij wartość przyspieszenia ziemskiego $g = 10$ m/s². Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Odp.: $B =$ T.

Wektor indukcji powinien być skierowany do płaszczyzny równi.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Nina Tomaszewska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Wartość wektora indukcji magnetycznej
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne 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; 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu; IX. 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:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. opisuje wartość siły Lorentza i siły elektrodynamicznej odpowiednimi zależnościami; 2. wyjaśnia zasadę działania hallotronu; 3. rysuje schemat wagi prądowej oraz przedstawia zasadę działania wagi prądowej służącej do pomiaru wartości indukcji magnetycznej; 4. stosuje zdobytą wiedzę do rozwiązywania problemów związanych z pomiarem wartości 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 wraz z uczniami przypominają pojęcie pola magnetycznego i wielkość, która charakteryzuje to pole – indukcję magnetyczną. Nauczyciel prosi uczniów o przypomnienie pojęcia siły Lorentza i siły elektrodynamicznej.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel omawia służący do pomiarów pola magnetycznego hallotron, najpierw zajmując się samym zjawiskiem Halla. Tak jak zostało to rozwiązane w części „Warto przeczytać” mówi o kalibracji przyrządu, nie zajmując się wyliczaniem prędkości dryfu nośników. Uczniowie oglądają film samouczek - zapoznają się z metodą pomiaru indukcji magnetycznej z użyciem wagi prądowej i wykonują powiązane z nim polecenia..	
Faza podsumowująca:	
W fazie podsumowującej uczniowie z pomocą nauczyciela rozwiązują zadania: 4, 6, 7, i 8 z zestawu ćwiczeń.	
Praca domowa:	

W ramach powtórzenia i utrwalenia wiadomości uczniowie rozwiązują zadania: 1, 2, 3, i 5 z zestawu ćwiczeń.

Zainteresowani uczniowie wyszukują w Internecie samochodowe zastosowania hallotronu (nadobowiązkowa praca domowa).

**Wskazówki
metodyczne
opisujące
różne
zastosowania
danego
multimedium**

Samouczek można potraktować jako pracę domową i na następnej lekcji omówić wnioski płynące z tego sposobu pomiaru.