



Jak oddziałuje pole magnetyczne na poruszającą się cząstkę naładowaną?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

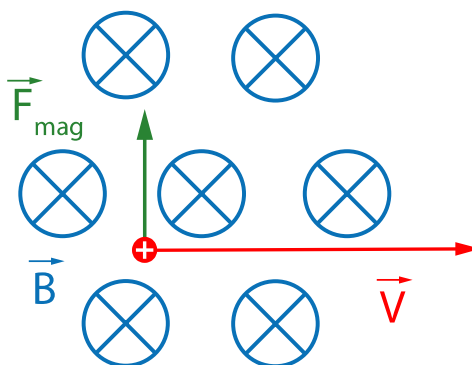
Jak oddziałuje pole magnetyczne na poruszającą się cząstkę naładowaną?

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.shutterstock.com/image-photo/detail-electronic-conductor-dark-back-171568955> [dostęp 15.05.2022].

Czy to nie ciekawe?

Najprostszą i najbardziej obrazową odpowiedzią na pytanie postawione w tytule e-materiału jest:

Pole magnetyczne popycha cząstkę w bok.



Rys. a. Linie pola magnetycznego skierowane są prostopadle w głąb płaszczyzny rysunku.

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

Jeśli narysujemy linie pola magnetycznego jednorodnego i wektor prędkości naładowanej cząstki, to siła magnetyczna zadziała jak na Rys. a. – prostopadle do wektora prędkości.

Ma to daleko idące konsekwencje. Tak działająca siła nie może zmienić wartości prędkości, to znaczy nie może rozpędzić ani wyhamować cząstki. Może jedynie zmienić **kierunek** jej ruchu (kierunek prędkości).

Już wiemy, że aby na naładowaną cząstkę w polu magnetycznym działała siła, cząstka musi się poruszać. Ale sprawa jest bardziej skomplikowana. Szczegółów dowiesz się w tym e-materiale.

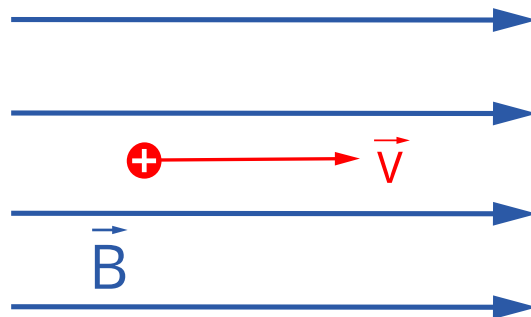
Twoje cele

W tym e-materiale:

- dowiesz się, jakie są właściwości siły działającej na poruszający się ładunek,
- nauczysz się obliczać wartość siły Lorentza,
- dowiesz się, w jaki sposób wyznaczamy kierunek i zwrot tej siły,
- zrozumiesz, dlaczego siła Lorentza nie wykonuje pracy,
- dowiesz się, jak poruszają się naładowane cząstki w polu magnetycznym,
- wykorzystasz zdobytą wiedzę do rozwiązania problemów i zadań.

Przeczytaj

Warto przeczytać



Rys. 1. Naładowana cząstka poruszająca się równoległe do linii pola magnetycznego.

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

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

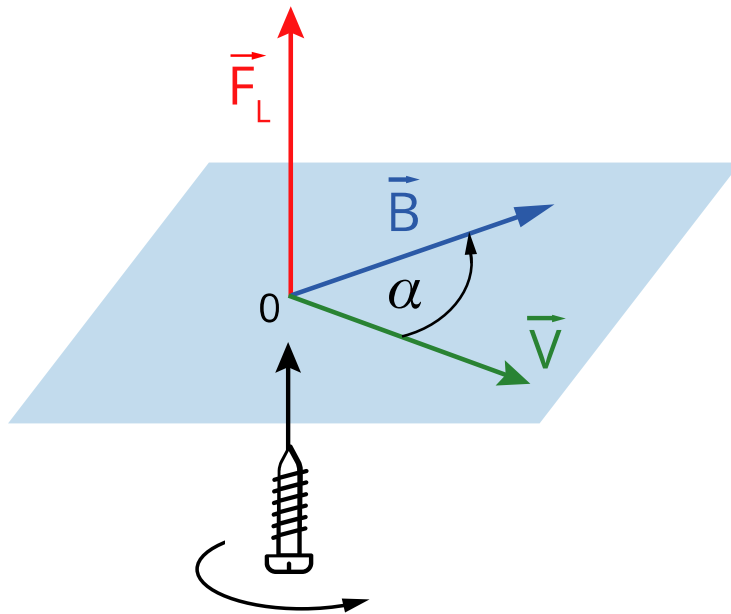
Spójrz na sytuację przedstawioną na Rys. 1. Mamy tu poruszającą się cząstkę w **jednorodnym polu magnetycznym**. W którą stronę cząstka zostanie popchnięta w bok?

Nie możemy odpowiedzieć na to pytanie, gdyż kompletnie nic nie pokazuje (nie wyróżnia) żadnej strony. Panuje idealna symetria – każdy kierunek prostopadły do prędkości \vec{v} jest możliwy. Co wtedy? Pewnie domyślasz się. Siła wtedy po prostu **nie działa!**

W ten sposób odkryliśmy jedną z ważnych właściwości siły magnetycznej – jej zależność od kąta między **liniami pola** i wektorem prędkości. Gdy kąt ten wynosi 0 albo 180°, to wartość siły wynosi zero. Jak jest dla innych kątów?

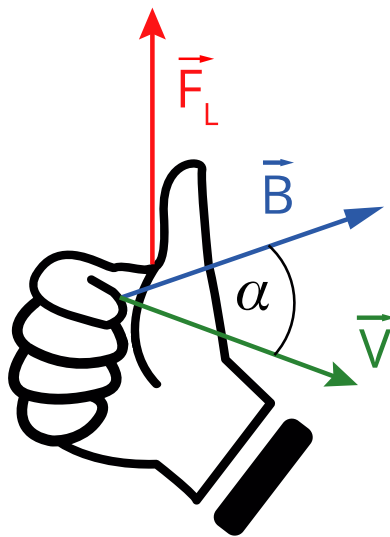
Siła magnetyczna (inaczej zwana siłą Lorentza) jest oczywiście wektorem. Ma następujące właściwości:

1. Jej wartość opisana jest wzorem: $F_L = |q|vB \cdot \sin \angle(\vec{v}, \vec{B})$. Maksymalna wartość siły Lorentza ze względu na kąt między \vec{v} a \vec{B} występuje przy kącie 90° i jest równa $F_{max} = |q|vB$.
2. Wektor siły \vec{F}_L jest prostopadły zarówno do wektora prędkości \vec{v} , jak i wektora indukcji magnetycznej \vec{B} . Inaczej mówiąc – wektor siły \vec{F}_L jest prostopadły do płaszczyzny, w której leżą wektory \vec{v} i \vec{B} .
3. Zwrot wektora siły \vec{F}_L jest określony regułą śruby prawoskrętnej, która obrazowo dla ładunku dodatniego pokazana jest na Rys. 2a. i 2b.



Rys. 2a. Reguła śruby prawoskrętnej.

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



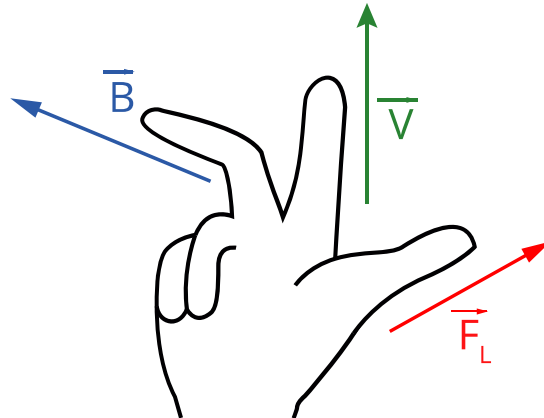
Rys. 2b. Wyznaczanie kierunku siły Lorentza.

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

Na Rys. 2b. pokazano, w jaki sposób użyć prawej dłoni do znalezienia wektora siły Lorentza. Kierujemy palec dłoni wzdłuż wektora \vec{v} (mają pokazywać kierunek tego wektora), ale dłoń należy ustawić tak, by wektor indukcji \vec{B} „wychodził” z wnętrza dłoni. Wtedy można „nakręcić” wektor \vec{v} na \vec{B} . Przy takim ustawieniu dłoni kciuk pokaże wektor \vec{F}_L .

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

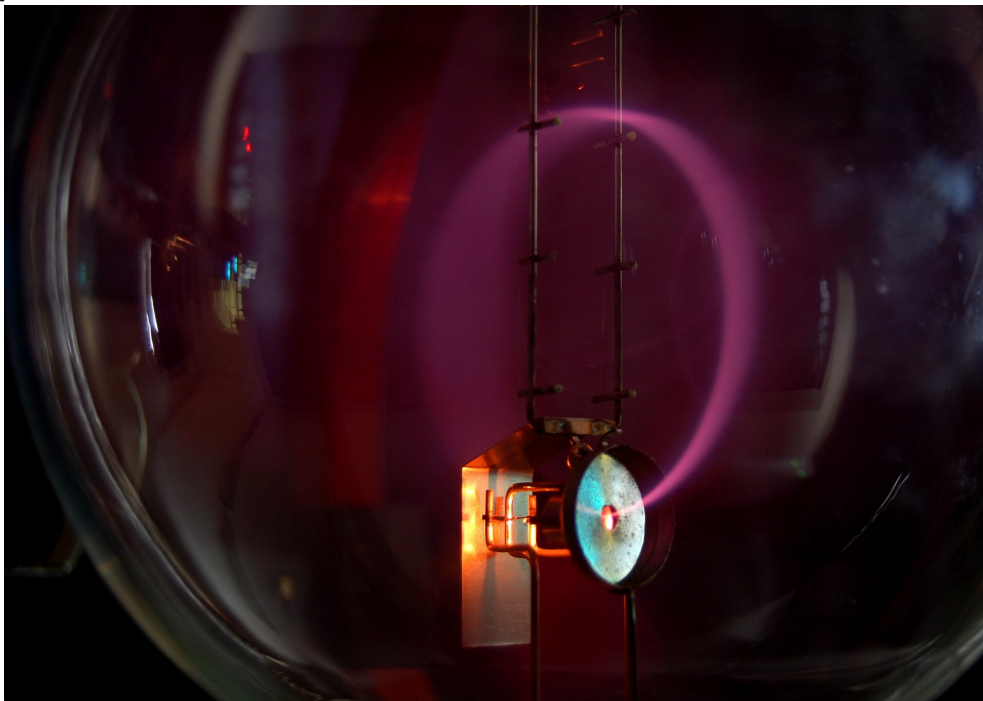
Jeśli wolimy reguły mnemotechniczne, to możemy do wyznaczania kierunku siły Lorentza użyć reguły trzech palców prawej dłoni (Fleminga). Obrazuje ją Rys. 3.



Rys. 3. Reguła trzech palców prawej dłoni.

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

Siła Lorentza, działając prostopadle do wektora prędkości cząstki, jest siłą **dośrodkową**. Powoduje zakrzywienie **toru** ruchu cząstki. Widzimy to na pięknym zdjęciu (Rys. 4.) przedstawiającym wiązkę elektronów poruszających się po orbicie kołowej w stałym polu magnetycznym.



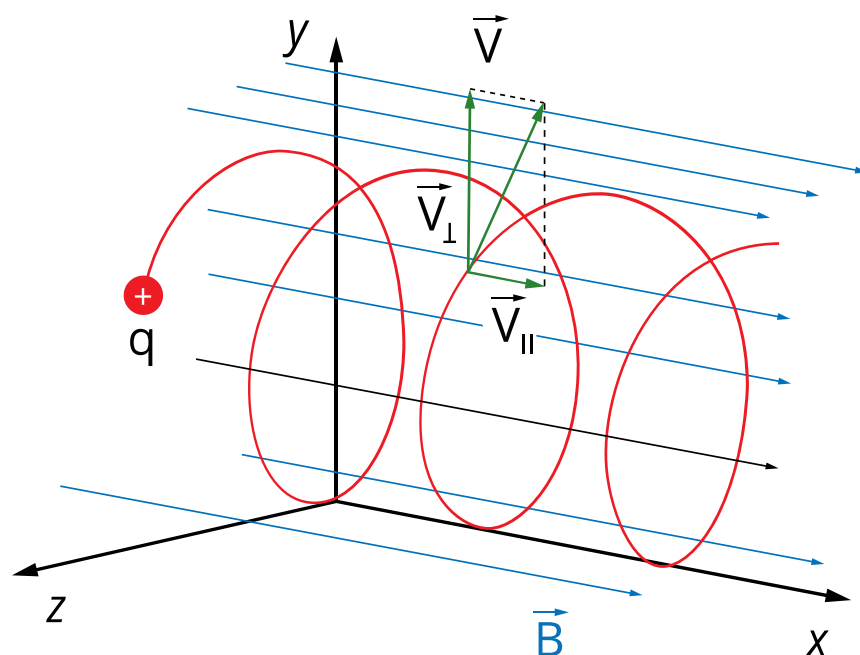
Rys. 4. Elektrony zderzają się z atomami argonu, wypełniającymi pod niewielkim ciśnieniem szklaną bańkę. W ten sposób pobudzają je do świecenia, a ono obrazuje przy okazji tor ruchu elektronów.

Źródło: Marcin Białek, dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cyclotron_motion.jpg [dostęp 15.05.2022], licencja: CC BY-SA 4.0.

Gdy wektor prędkości cząstki jest prostopadły do wektora indukcji \vec{B} , to cząstka porusza się po okręgu.

A jak poruszają się cząstki, gdy kąt między wektorami \vec{v} i \vec{B} wynosi 0 albo 180° ? Wartość siły wynosi wtedy zero. Korzystając z wiedzy dotyczącej mechaniki wiemy, że jeśli na ciało nie działa żadna siła, to porusza się ono ruchem jednostajnym prostoliniowym. I tak jest w tym przypadku.

Ale z zupełnie niebanalną sytuacją mamy do czynienia, gdy wektor prędkości ustawiony jest skośnie do linii pola magnetycznego. Wtedy cząstka porusza się po linii śrubowej (Rys. 5.). Jej ruch jest ruchem złożonym z ruchu po okręgu w płaszczyźnie prostopadłej do linii pola magnetycznego i ruchu postępowego w kierunku równoległym do linii pola.



Rys. 5. Cząstka poruszająca się po linii śrubowej.

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

Słowniczek

Pole magnetyczne

(ang.: *magnetic field*) – stan przestrzeni charakteryzujący się działaniem siły, zwanej siłą magnetyczną (Lorentza), na poruszający się ładunek elektryczny 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 lines 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 dośrodkowa

(ang.: *centripetal force*) – siła powodująca zakrzywianie toru ruchu ciała, skierowana wzdłuż normalnej (prostopadle) do toru, w stronę środka jego krzywizny. Wartość siły określa wzór: $F_d = \frac{mv^2}{r}$, gdzie m – masa ciała, v – wartość prędkości ciała, r – promień krzywizny toru. Siła dośrodkowa nie zmienia wartości prędkości ciała, ale zmienia kierunek prędkości.

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.

Tor ruchu ciała

(ang.: *trajectory*) – krzywa zakreślana w przestrzeni przez wybrany punkt poruszającego się ciała. W każdym punkcie toru wektor prędkości ciała jest styczny do toru.

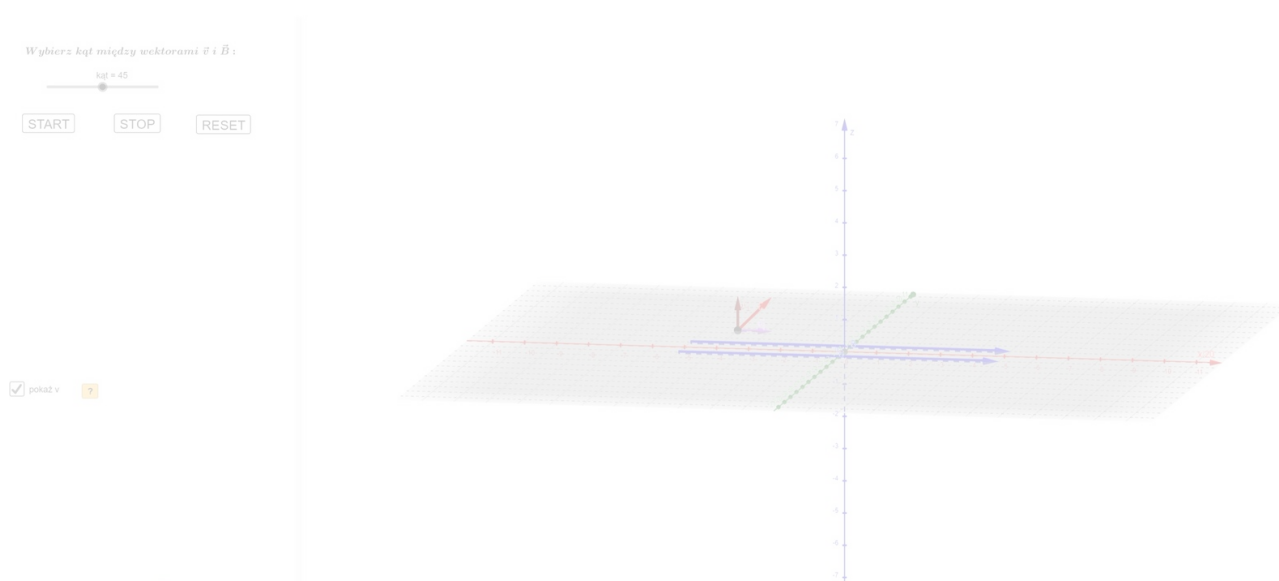
Symulacja interaktywna

Jak oddziałuje pole magnetyczne na poruszającą się cząstkę naładowaną?

Polecenie 1

Symulacja pokazuje tor ruchu naładowanej dodatnio cząstki w jednorodnym polu magnetycznym. Daje pogląd na fakt zależności kształtu toru od kąta nachylenia wektora prędkości cząstki do linii pola magnetycznego, bowiem można tu zmieniać wspomniany kąt i obserwować spowodowane tym zmiany toru.

Uruchom symulację przyciskiem „Start”. Zobaczysz tor, po którym porusza się dodatnio naładowana cząstka.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D7tyzrlwJ>

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

Polecenie 2

Zastanów się nad tym, czym będzie skutkowało zmniejszanie kąta α .

1. Jak zmieniają się prędkości: prostopadła i równoległa?
2. Jak wpłynie to na tor ruchu?
3. Jak będzie wyglądał tor dla $\alpha = 0^\circ$?

Polecenie 3

Zastanów się nad tym, czym będzie skutkowało zwiększanie kąta α .

1. Jak zmieniają się prędkości: prostopadła i równoległa?
2. Jak wpłynie to na tor ruchu?
3. Jak będzie wyglądał tor dla $\alpha = 90^\circ$?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



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

Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4

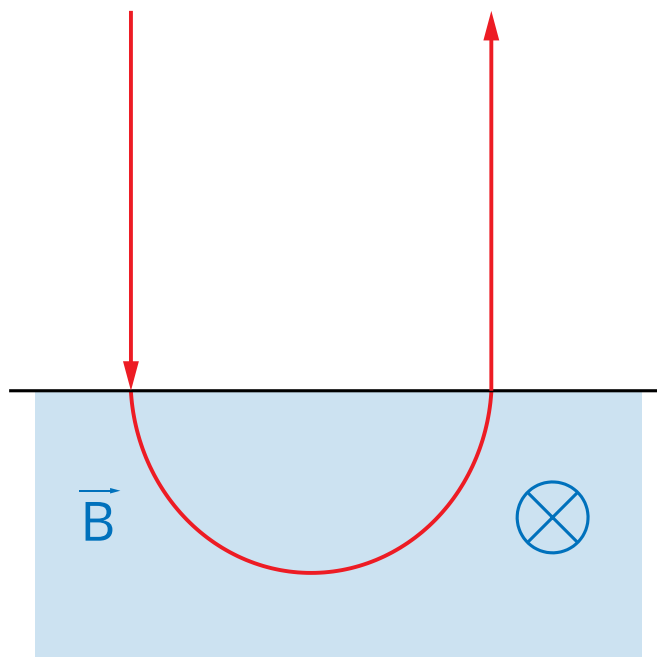


Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6

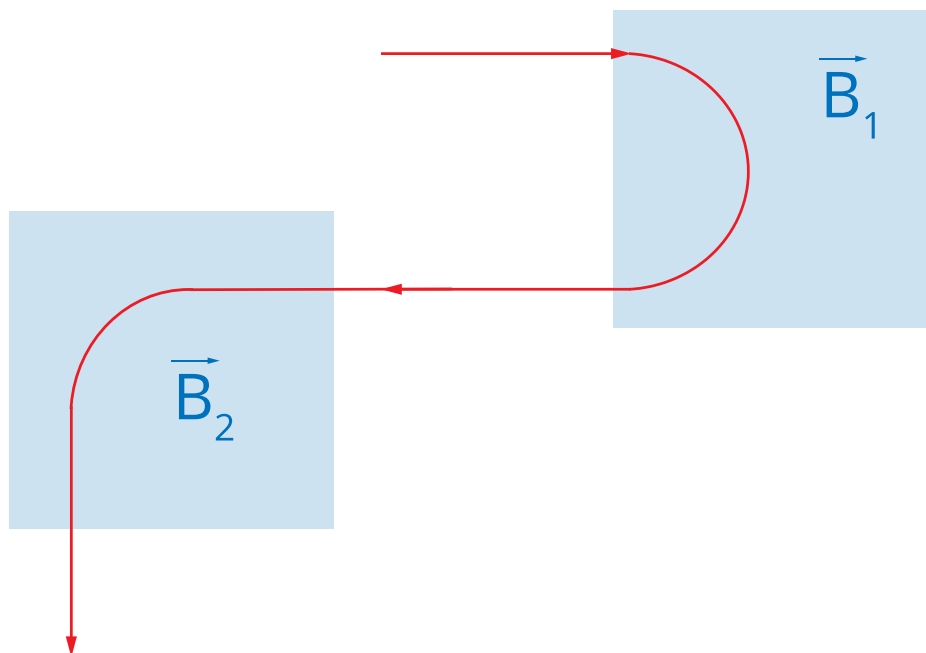


Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



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

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji:

Imię i nazwisko autora:	Nina Tomaszewska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jak oddziałuje pole magnetyczne na poruszającą się cząstkę naładowaną?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

<p>Podstawa programowa:</p>	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>Zakres podstawowy</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>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;</p> <p>15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>VIII. Magnetyzm. Uczeń:</p> <p>2) opisuje jakościowo oddziaływanie pola magnetycznego na przewodniki z prądem i poruszające się cząstki naładowane; omawia rolę pola magnetycznego Ziemi jako osłony przed wiatrem słonecznym.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>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;</p> <p>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>IX. Magnetyzm. Uczeń:</p> <p>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.</p>
<p>Kształtowane kompetencje kluczowe:</p>	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> wymienia właściwości siły działającej na poruszający się ładunek, oblicza wartość siły Lorentza, wyznacza kierunek i zwrot tej siły, tłumaczy, dlaczego siła Lorentza nie wykonuje pracy, analizuje ruch naładowanych cząstek w polu magnetycznym.
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:	
<p>Nauczyciel pyta uczniów o to, jakie siły działają na cząstkę naładowaną. W razie potrzeby tak steruje dyskusją, aby uczniowie przypomnieli sobie, że na znajdującą się w polu elektrycznym cząstkę działa siła Coulomba i że cząstki mogą między sobą oddziaływać również grawitacyjnie (warto przypomnieć uczniom o tym, które z tych oddziaływań dominuje).</p> <p>Następnie nauczyciel prosi uczniów, aby powiedzieli, czym jest pole magnetyczne i czy wydaje im się, że ono również wpływa na ruch cząstek. Tłumaczy, że w polu magnetycznym na poruszające się cząstki działa siła w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu. Rysuje na tablicy kilka przykładów cząstek o różnym ładunku, poruszających się w płaszczyźnie prostopadłej do pola magnetycznego, i prosi uczniów, aby spróbowali jakościowo określić tor tych cząstek.</p> <p>Nauczyciel podkreśla, że jeśli cząstka się nie porusza, to siła magnetyczna wynosi zero i że ważną konsekwencją takiego właśnie kierunku działania siły jest niemożność zmiany przez nią wartości prędkości. Siła Lorentza może zmienić jedynie kierunek wektora prędkości – zakrzywić tor ruchu - i nie wykonuje pracy.</p>	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel mówi o właściwościach siły Lorentza – o wartości, kierunku i zwrocie – oraz o metodach wyznaczania jej kierunku i zwrotu. Uczniowie, dyskutując na forum klasy, sami formułują wniosek dotyczący toru ruchu w przypadku równoległości wektora prędkości cząstki do linii pola magnetycznego. Zapoznają się w parach z symulacją i odpowiadają na zawarte w niej pytania.

Faza podsumowująca:

Uczniowie, wykorzystując zdobytą wiedzę, rozwiązują zadania: 2, 3, 7 i 8 z zestawu ćwiczeń. Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje i kontroluje pracę uczniów.

Praca domowa:

Uczniowie powtarzają i utrwalają wiedzę i zdobyte umiejętności przez rozwiązanie w domu zadań, których nie rozwiązyali na lekcji: 1, 4, 5 i 6.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące
różne
zastosowania
danego
multimedium**

Symulacja będzie bardzo przydatna przy okazji realizacji tematu „Analizujemy tor cząstki naładowanej w jednorodnym polu magnetycznym”.