



## Co to jest moment magnetyczny?

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



Co to jest moment magnetyczny?

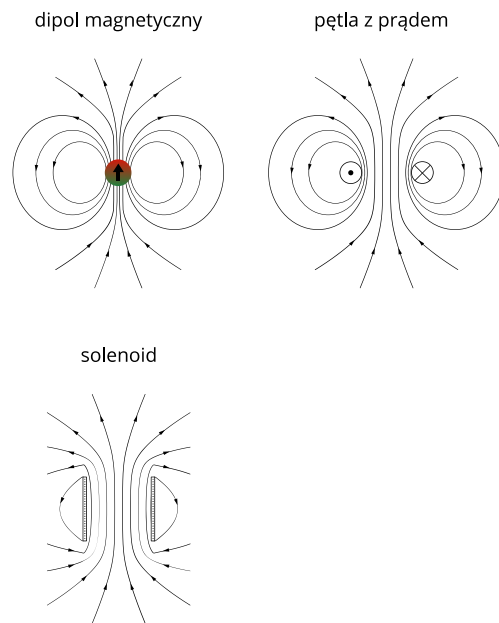
## Czy to nie ciekawe?

W definicji pola magnetycznego w internetowej Wikipedii zobaczysz taki zapis: „Pole magnetyczne – stan przestrzeni, w której siły działają na poruszające się ładunki elektryczne, a także **na ciała mające moment magnetyczny** niezależnie od ich ruchu”.

Cóż to są te tajemnicze ciała obdarzone momentem magnetycznym? I co oznacza ów moment magnetyczny?

Okazuje się, że bez tego pojęcia nie sposób wyjaśnić wielu kwestii związanych z magnetyzmem, w szczególności zjawisk para-, dia- i ferromagnetyzmu.

Obiekty obdarzone momentem magnetycznym istnieją naturalnie w przyrodzie (atom, elektron, bryłka magnetytu, ziemski glob), ale można wytworzyć sztucznie takie obiekty (ramka z prądem, solenoid, igła magnetyczna). Obiekty te nazywamy **dipolami magnetycznymi** (zobacz Rys. a.).



Rys. a. Linie pola magnetycznego abstrakcyjnego dipola oraz dwie praktyczne realizacje - pętla z prądem oraz zwojnica. Strzałka oznacza wektor momentu magnetycznego  $\vec{\mu}$ . Zwróć uwagę, że kierunek i zwrot momentu magnetycznego jest taki, jak linii pola magnetycznego, wytwarzanego przez dipol.

### Twoje cele

W tym e-materiale:

- dowiesz się, w jaki sposób definiujemy moment magnetyczny,
- przekonasz się, jak można obliczyć moment magnetyczny pętli z prądem,
- zrozumiesz, jak zachowuje się dipol magnetyczny w jednorodnym polu magnetycznym,
- zrozumiesz, dlaczego dipol wykonuje drgania wokół położenia równowagi trwałej.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

W przytoczonej we wstępie definicji **polu magnetycznego** mowa jest o siłach działających na „ciała mające moment magnetyczny”. Naprawdę chodzi o obracanie tych ciał, czyli chodzi o działanie momentu siły.

Rzeczywiście, moment magnetyczny zdefiniowany jest poprzez moment siły działający na dipol.

**Magnetyczny moment dipolowy**  $\vec{\mu}$  definiuje się przez moment siły  $\vec{M}$  działający na dipol w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji  $\vec{B}$  w następujący sposób:

$$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

Czyli jeśli jakiś obiekt fizyczny ulega obrotowi w polu magnetycznym, to ma moment magnetyczny. Tu trzeba być, jak zwykle z iloczynami wektorowymi, ostrożnym. Jeśli wektor momentu magnetycznego będzie równoległy do **linii pola magnetycznego** (

$$\vec{\mu} \parallel \vec{B}$$

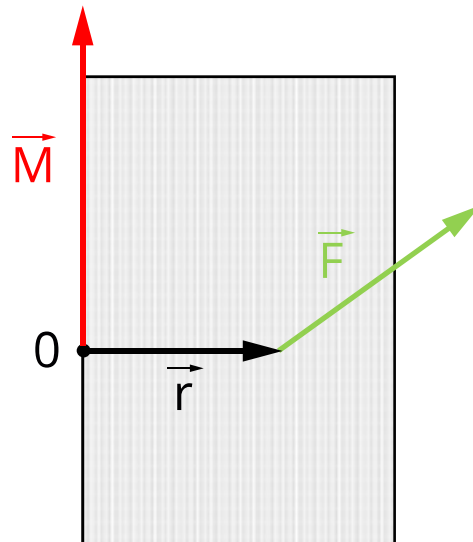
), to akurat wtedy moment siły będzie równy zeru. Na przykład igła magnetyczna ustawiona wzdłuż linii pola nie będzie się obracała. Będzie w położeniu równowagi, chyba że ją z tego położenia równowagi wytrącimy.

Przypomnijmy wobec tego w tym miejscu ważną wielkość fizyczną, jaką jest **moment siły**. Jeśli na ciało działa niezerowy moment siły, to ciało zostaje wprowadzone w ruch obrotowy. Jest to wobec tego dla ruchu obrotowego zasadnicza wielkość, analogiczna do siły dla ruchu postępowego ciała. Moment siły zdefiniowany jest jako iloczyn wektorowy:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F},$$

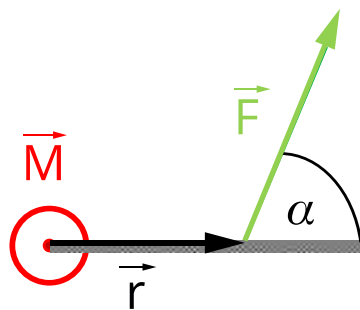
gdzie wektor  $\vec{r}$  jest ramieniem siły  $\vec{F}$  (zobacz Rys. 1. i 2.).

Rozpatrzmy prosty przykład - otwieranie drzwi. Oś obrotu to prosta, na której leżą zawiasy, siła jest przyłożona w odległości  $r$  od osi obrotu.



Rys. 1. Wektory  $\vec{r}$  i  $\vec{F}$  leżą w płaszczyźnie prostopadłej do drzwi. Wektor momentu siły  $\vec{M}$  jest położony wzdłuż osi obrotu drzwi

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



Rys. 2. Siła  $\vec{F}$  działa jak poprzednio na te same drzwi, ale teraz widzimy je „od góry”. Kąt  $\alpha$  jest kątem między wektorami  $\vec{r}$  i  $\vec{F}$ . Jak widzimy wektor momentu siły  $\vec{M}$  jest prostopadły do obu wektorów:  $\vec{r}$  i  $\vec{F}$

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

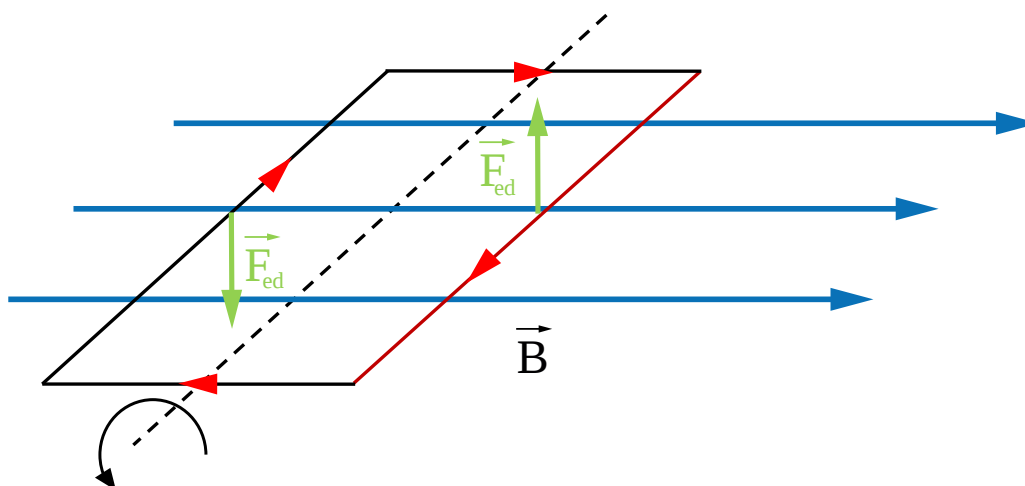
Zwrot momentu siły wyznaczamy, jak zwykle dla iloczynu wektorowego, za pomocą reguły śruby prawoskrętnej. Wartość momentu siły obliczymy posługując się wzorem:

$$M = rF \cdot \sin \alpha,$$

gdzie  $\alpha = \angle(\vec{r}, \vec{F})$ .

Przeprowadzimy teraz pewien rachunek ilościowy, posługując się przykładem dipola w kształcie prostokątnej ramki z prądem. Spróbujemy znaleźć dla takiego dipola wyrażenie, pozwalające obliczyć wartość momentu magnetycznego. Wyjdziemy oczywiście od definicji momentu magnetycznego, czyli od momentu siły działającego na dipol (ramkę z prądem).

Jeśli umieścimy ramkę z prądem w jednorodnym polu magnetycznym, tak, jak zostało to przedstawione na Rys. 3., to na boki ramki prostopadłe do linii pola magnetycznego będą działały **siły elektrodynamiczne** (zobacz rysunek). Ramka będzie się obracała.



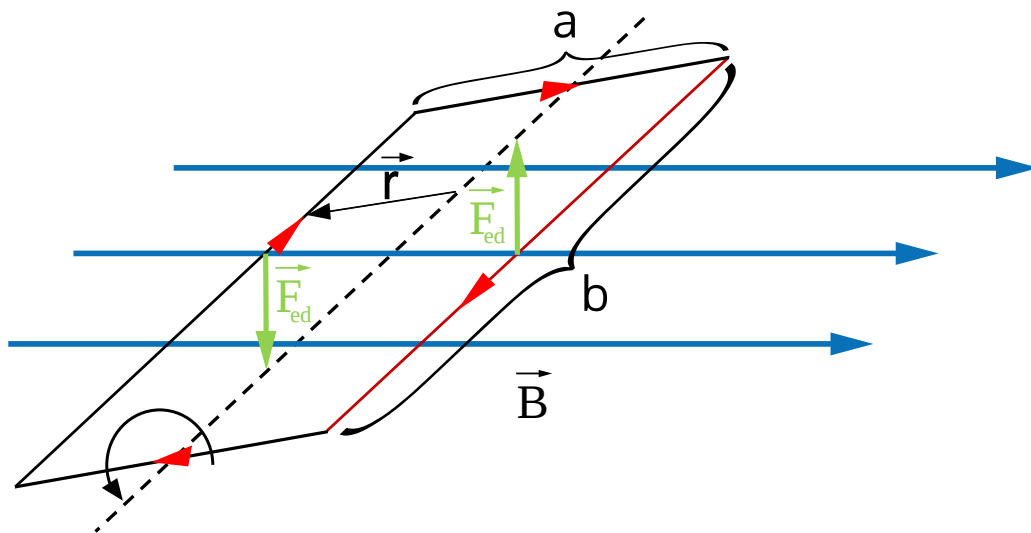
Rys. 3. Ramka z prądem w jednorodnym polu magnetycznym

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

Zauważ, że na części ramki położone bliżej nas i dalej od nas siły nie działają (w tym położeniu ramki). Tak jest dlatego, że w tych częściach ramki prądy płyną równoległe do linii pola magnetycznego. Natomiast jeśli ramka się obróci, to siły będą już działać, ale jak wiemy, wektory sił ustawione w płaszczyźnie ramki, nie wpływają na jej obrót – ich moment siły wynosi zero. (Nie będziemy tych sił nawet uwzględniać na następnych rysunkach.) Obliczmy zatem wypadkowy moment siły działający na ramkę. Będzie to moment pary sił elektrodynamicznych.

$$\vec{M} = 2 \cdot \vec{r} \times \vec{F}_{ed},$$

gdzie  $\vec{r}$  jest ramieniem siły elektrodynamicznej, wektorem zaznaczonym na Rys. 4., a jego wartość równa jest połowie długości boku  $a$ .



Rys. 4. Ramka z prądem w jednorodnym polu magnetycznym

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

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

Zauważ, że siły elektrodynamiczne będą miały cały czas taką samą wartość i położenie w przestrzeni, bowiem nie zmienia się przestrzenne położenie dłuższych boków ramki, ani ułożenie linii pola magnetycznego. Kąt między przewodnikami, a liniami pola wynosi cały czas  $90^\circ$ , wobec tego wartość siły  $F_{ed} = IbB$ , gdzie  $b$  jest długością istotnych krawędzi ramki.

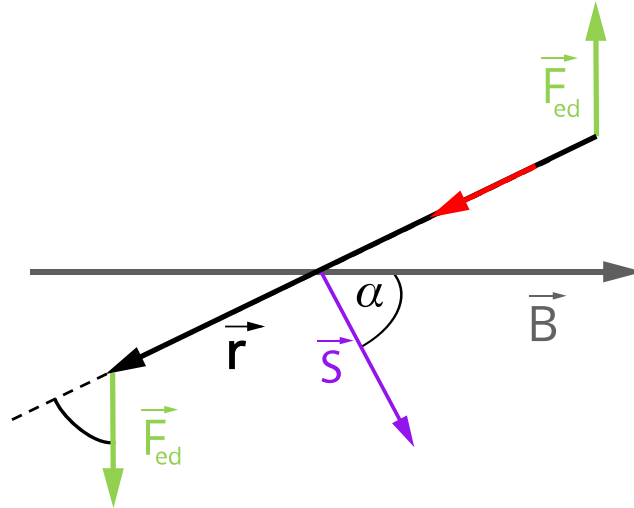
Obliczmy teraz wartość wypadkowego momentu siły działającego na ramkę.

$$M = a \cdot IbB \cdot \sin \angle \left( \vec{r}, \vec{F}_{ed} \right) = ISB \cdot \sin \angle \left( \vec{r}, \vec{F}_{ed} \right),$$

gdzie  $S = ab$  jest polem powierzchni ramki.

Zdefiniujmy teraz wektor powierzchni  $\vec{S}$ . Wektor  $\vec{S}$  jest prostopadły do powierzchni pętli, jego długość jest równa polu powierzchni  $S$ , a zwrot jest wyznaczony regułą prawej dłoni – gdy zagięte palce pokazują jak płynie prąd, kciuk ustawiony jest zgodnie z wektorem powierzchni  $\vec{S}$ .

Na Rys. 5. pokazano ramkę i ważne dla dalszego wywodu wektory w innej perspektywie. Pokazany jest widok w płaszczyźnie ramki od strony boku, który jest bliżej nas.



Rys. 5. Ramka w jednorodnym polu magnetycznym

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

Z praw geometrii wynika, że zaznaczony na rysunku kąt między wektorami  $\vec{r}$  i  $\vec{F}_{ed}$  jest równy zaznaczonemu kątowi między wektorami  $\vec{S}$  i  $\vec{B}$ .

$$\sphericalangle(\vec{r}, \vec{F}_{ed}) = \sphericalangle(\vec{S}, \vec{B})$$

Wpiszmy ten nowy kąt do wyrażenia dla momentu siły. Otrzymamy:

$$M = ISB \cdot \sin \sphericalangle(\vec{S}, \vec{B})$$

I dokonajmy porównania z wzorem definiującym moment magnetyczny:

$$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

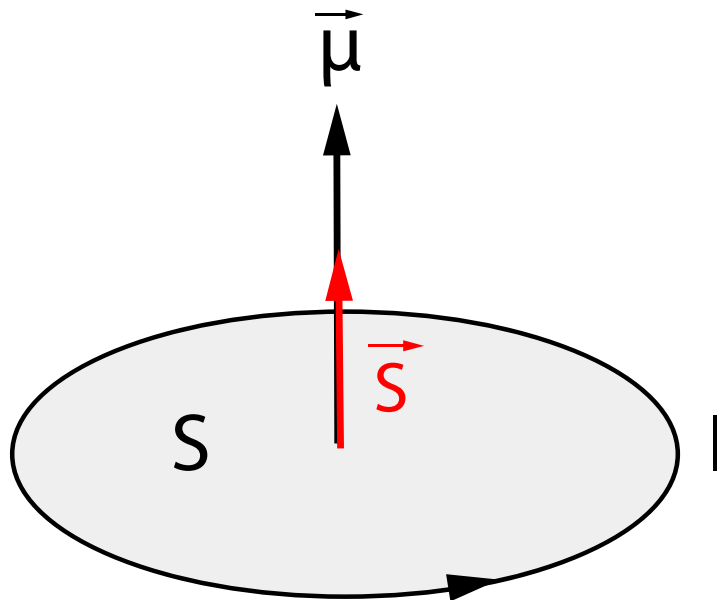
Wartość momentu siły wynosi  $M = \mu B \sin \sphericalangle(\vec{\mu}, \vec{B})$ .

Z porównania obu wyrażeń wynika, że wartość momentu magnetycznego  $\mu = IS$ , a kierunek i zwrot wektora  $\vec{\mu}$  jest taki jak wektora powierzchni  $\vec{S}$ .



Wobec tego wektor momentu magnetycznego  $\vec{\mu}$  pętli z prądem możemy zapisać jako iloczyn natężenia prądu  $I$  i wektora powierzchni  $\vec{S}$ .

$$\vec{\mu} = I \cdot \vec{S}$$



Rys. 6. Pętla z prądem w polu magnetycznym

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

Warto dodać, że wyżej wyprowadzone wyrażenie pozwala obliczyć moment magnetyczny dipola, będącego pętlą z prądem dla dowolnego kształtu pętli (Rys. 6.).

## 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 charakteryzująca 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.

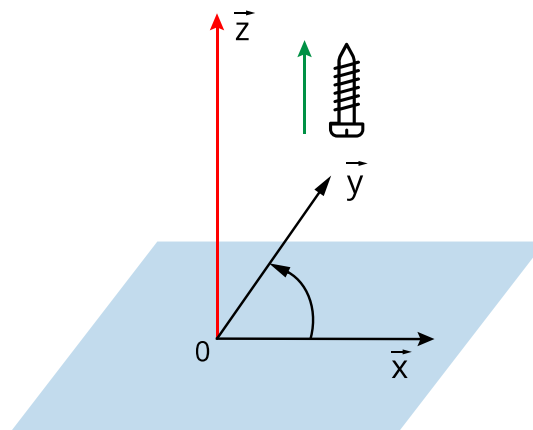
### Siła elektrodynamiczna

(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.



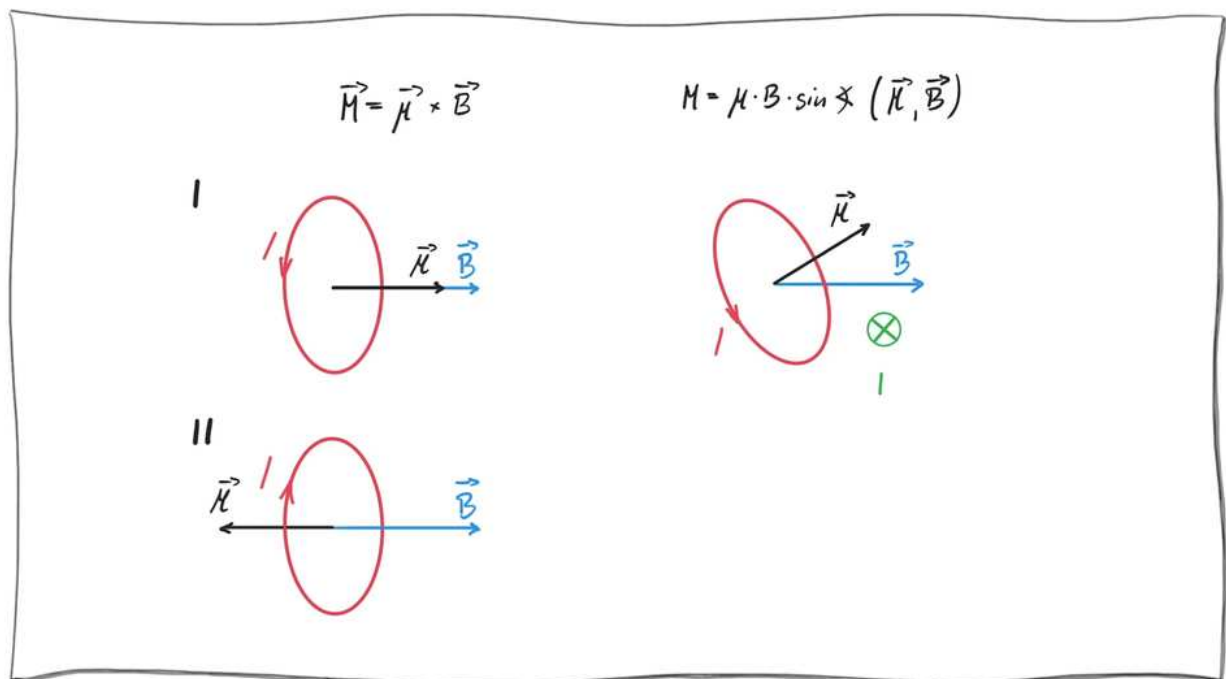
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

$$\vec{z} = \vec{x} \times \vec{y}.$$

# Film samouczek

## Co to jest moment magnetyczny?

Przyjrzyj się zachowaniu dipola magnetycznego w jednorodnym polu magnetycznym. Korzystając z samouczka, zbadasz położenia równowagi i zobaczysz, że jeden z tych stanów jest stanem równowagi trwałej, a drugi nietrwałej.



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/RpM9fkq4fuTao](https://preview/resource/RpM9fkq4fuTao)

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 1

Jak powinien być zorientowany względem pola magnetycznego moment dipolowy, aby wytworzyć maksymalny moment sił w danym polu magnetycznym?

## Polecenie 2

Jak powinien być zorientowany względem pola magnetycznego moment dipolowy, aby nadać dipolowi maksymalną energię?

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Podaj jednostkę (nie ma ona nazwy), w jakiej wyrażany jest moment magnetyczny.

## Ćwiczenie 2



Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

Maksymalny moment siły będzie działał na dany dipol, gdy moment magnetyczny  $\vec{\mu}$  będzie

prostopadły /  równoległy do linii pola magnetycznego (wektora indukcji  $\vec{B}$ ).

## Ćwiczenie 3



Wyznacz moment magnetyczny związany z ruchem orbitalnym elektronu w atomie wodoru w stanie podstawowym. W tym stanie iloczyn prędkości i promienia orbity elektronu wynosi (zgodnie z I. postulatem Bohra)  $\frac{h}{2\pi m}$ , gdzie  $h$  jest stałą Plancka,  $m$  – masą elektronu. Wybierz z listy i wstaw do wzoru w ramki odpowiednie wyrażenia.

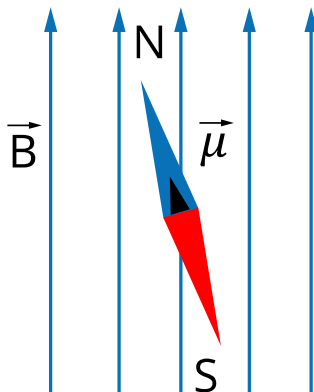
Odp.:  $\mu =$   /

Jest to tzw. magneton Bohra.

#### Ćwiczenie 4



Na rysunku przedstawiono igłę magnetyczną wraz z jej momentem magnetycznym odchylną o pewien kąt od położenia równowagi. Gdy taką igłę pozostawimy swobodną, to będzie wykonywała drgania wokół położenia równowagi. Wyjaśnij, dlaczego będzie to miało miejsce.



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

#### Ćwiczenie 5



Oblicz maksymalny moment siły działający na obwód kołowy o promieniu  $r = 0,1$  m, w którym płynie prąd o natężeniu  $I = 10$  A, znajdujący się w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji  $B = 1$  T. Odpowiedź podaj z dokładnością do dziesiątych Nm.

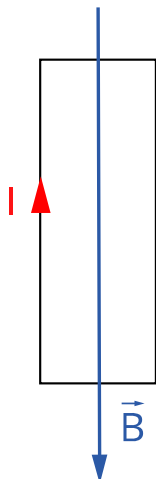
Odp.:  $M =$   Nm.

## Ćwiczenie 6

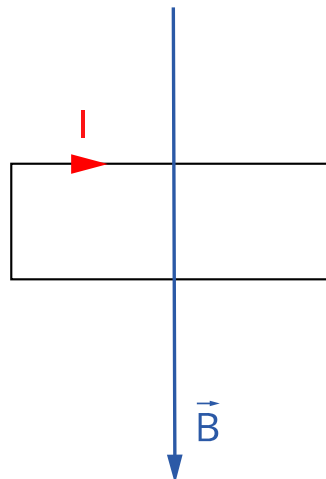


Prostokątna ramka z prądem ustawiona jest na dwa sposoby w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji  $\vec{B}$  (zobacz rysunek). Moment magnetyczny działający na ramkę będzie:

a)



b)



większy w przypadku ustawienia ramki jak na rysunku „a”

większy w przypadku ustawienia ramki jak na rysunku „b”

taki sam w przypadku „a” i „b”

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

## Ćwiczenie 7



W jakim położeniu ramki z prądem, moment siły na nią działający równy jest połowie maksymalnego momentu sił? Wybierz poprawną odpowiedź z poniżej wyszczególnionych możliwości:

płaszczyzna ramki jest ustawiona pod kątem  $30^\circ$  do linii pola magnetycznego

płaszczyzna ramki jest równoległa do linii pola magnetycznego

płaszczyzna ramki jest prostopadła do linii pola magnetycznego

płaszczyzna ramki jest ustawiona pod kątem  $45^\circ$  do linii pola magnetycznego

płaszczyzna ramki jest ustawiona pod kątem  $60^\circ$  do linii pola magnetycznego

## Ćwiczenie 8



Oblicz natężenie prądu płynącego w obwodzie o powierzchni  $S = 2 \text{ dm}^2$ , jeśli maksymalny moment siły działający na ten obwód w polu magnetycznym o indukcji  $B = 1 \text{ T}$  wynosi  $0,05 \text{ Nm}$ .

Odp.:  $I =$   A.



# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Nina Tomaszewska
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Co to jest moment magnetyczny?</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzający zapis podstawy programowej dla kształcenia rozszerzonego
<b>Podstawa programowa:</b>	<b>Cele kształcenia – wymagania ogólne</b> II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.  <b>Zakres rozszerzony</b> <b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b> I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarne, wykonuje graficznie działania na wektorach (dodawanie, odejmowanie, rozkładanie na składowe); 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; 4) rysuje siły działające na pętlę z przewodnika w jednorodnym polu magnetycznym; na podstawie tego rysunku omawia zasadę działania silnika elektrycznego.
<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<b>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li><li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li><li>• kompetencje cyfrowe,</li><li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li></ul>

<b>Cele operacyjne:</b>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. tłumaczy, w jaki sposób definiujemy moment magnetyczny,</li> <li>2. przedstawia, jak można obliczyć moment magnetyczny pętli z prądem,</li> <li>3. opisuje, jak zachowuje się dipol magnetyczny w jednorodnym polu magnetycznym,</li> <li>4. wyjaśnia, dlaczego dipol wykonuje drgania wokół położenia równowagi trwałej.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	blended-learning
<b>Metody nauczania:</b>	wykład informacyjny wspomagany pokazem multimedialnym
<b>Formy zajęć:</b>	praca w zespole klasowym
<b>Środki dydaktyczne:</b>	niniejszy e-materiał + komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
<b>Materiały pomocnicze:</b>	-
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Nauczyciel wykonuje prosty pokaz z igłą magnetyczną i magnesem. Igła ustawia się wzdłuż linii pola magnetycznego, ale wyprowadzona z położenia równowagi wykonuje obrotowe drgania, tzw. drgania zwrotne. Wniosek z tego prostego eksperymentu jest taki, że niektóre obiekty obracają się w polu magnetycznym. Takie obiekty nazywamy dipolami. Nauczyciel pyta uczniów o inne przykłady dipoli magnetycznych. Powinni wymienić: ramkę z prądem, magnes, zwojnicę.</p>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	
<p>Nauczyciel wprowadza definicję momentu magnetycznego. Korzystając z tej definicji pokazuje na przykładzie prostokątnej ramki z prądem, że moment magnetyczny pętli z prądem można obliczyć mnożąc natężenie prądu płynącego w pętli przez wartość rozpiętej na niej powierzchni.</p> <p>Uczniowie samodzielnie pracują z samoucikiem. Udzielają odpowiedzi na końcowe pytanie w nim zawarte i wspólnie z nauczycielem dokonują podsumowania. Samouczek dotyczy stanów równowagi dipola – trwałego i nietrwałego. Nauczyciel zwraca uwagę, że jest to ważny temat chociażby ze względu na zastosowanie w wyjaśnieniu zjawiska paramagnetyzmu, ferromagnetyzmu.</p>	
<b>Faza podsumowująca:</b>	

Uczniowie, wykorzystując zdobytą wiedzę, rozwiązują zadania: 3, 4, i 7 z zestawu ćwiczeń. Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje i kontroluje pracę uczniów. Nauczyciel na podstawie wypowiedzi uczniów nauczyciel określa w jakim stopniu osiągnięte zostały wyznaczone cele.

**Praca domowa:**

Uczniowie powtarzają i utrwalają wiedzę i zdobyte umiejętności przez rozwiązanie w domu zadań, których nie rozwiązali na lekcji: 1, 2, 5, 6 i 8.

**Wskazówki  
metodyczne  
opisujące różne  
zastosowania danego  
multimedium**

Samouczek można z powodzeniem zastosować jako element nauczania wyprzedzającego przy realizacji materiału dotyczącego substancji w polu magnetycznym (para-, dia -, ferromagnetyzm).