

10. Materiały magnetyczne

Rzeszów University of Technology

18 maja 2023

- D. Halliday, R. Resnik, J. Walker. Podstawy fizyki, tom 3.
- Fizyka dla szkół wyższych, tom 2. Openstax Polska.

Elektron ma orbitalny moment magnetyczny i spinowy moment magnetyczny. Wszystkie momenty magnetyczne elektronów w ciałach stałych dodają się wektorowo

Trzy główne rodzaje magnetyzmu:

- Diamagnetyzm - słaby moment magnetyczny jest indukowany polem magnetycznym \vec{B}_{zewn}
- Paramagnetyzm - każdy atom ma trwały moment magnetyczny, ale momenty różnych atomów są zorientowane przypadkowo - materiał jako całość nie wytwarza wypadkowego pola magnetycznego. Zewnętrzne pole \vec{B}_{zewn} częściowo prowadzi do uporządkowania momentów magnetycznych. Paramagnetyzm ma miejsce w materiałach zawierających pierwiastki przejściowe i ziem rzadkich
- Ferromagnetyzm - momenty magnetyczne elektronów są uporządkowane. Namagnesowanie istnieje bez pola \vec{B}_{zewn}

Model pętli z prądem

$$\mu_{orb} = IS = \frac{e}{2\pi r/v} \pi r^2 = \frac{evr}{2}$$

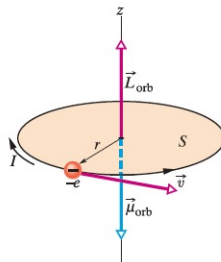
Orbitalny moment pędu

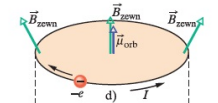
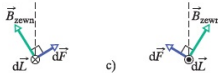
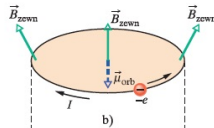
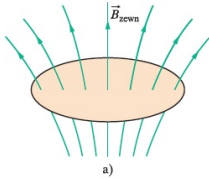
$$L_{orb} = mrv \sin 90^0 = mrv$$

Z tych równań dostajemy związek

$$\vec{\mu}_{orb} = -\frac{e}{2m} \vec{L}_{orb}$$

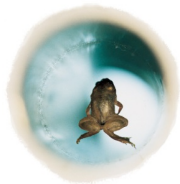
Ten wzór jest poprawny dla opisu elektronu w atomie chociaż to wynik klasyczny





Model pętli z prądem dla elektronu krążącego w atomie, umieszczonym w niejednorodnym polu zewnętrznym

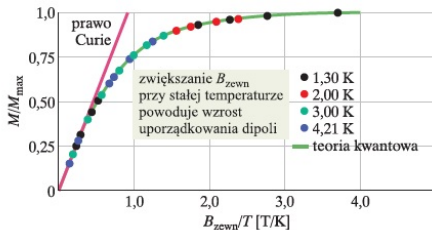
- Zakładamy, że atom nie ma wypadkowego momentu magnetycznego przy $\vec{B}_{zewn} = 0$
- Tyle samo elektronów krąży w każdym kierunku przy $\vec{B}_{zewn} = 0$
- Włączamy niejednorodne pole magnetyczne
- Pole \vec{B}_{zewn} rośnie z czasem
- Powstaje indukowane pole elektryczne \vec{E} i prąd indukowany \vec{I}_{ind}
- Rys.(b): Prąd \vec{I} rośnie, μ_{orb} rośnie i siła \vec{F} skierowana do góry (c) także rośnie
- Rys.(d): Prąd \vec{I} maleje, μ_{orb} maleje i siła \vec{F} skierowana w dół (e) także maleje
- W diamagnetyku umieszczonym w pole \vec{B}_{zewn} powstaje moment magnetyczny $\vec{\mu}_{orb}$ skierowany przeciwnie do \vec{B}_{zewn}
- Jeżeli pole \vec{B}_{zewn} jest niejednorodnym, to materiał diamagnetyczny jest wypychany z obszaru silniejszego pola magnetycznego do obszaru słabszego pola
- Zjawisko diamagnetyzmu wyjaśnia możliwość lewitacji w polu magnetycznym



- W materiale paramagnetycznym w polu \vec{B}_{zewn} powstaje moment magnetyczny skierowany zgodnie z \vec{B}_{zewn}
- Jeżeli pole jest niejednorodne, to materiał paramagnetyczny jest przyciągany do obszaru silniejszego pola magnetycznego
- Namagnesowanie próbki M (moment magnetyczny na jednostkę objętości)

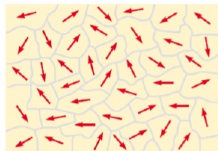
$$M = C \frac{B_{zewn}}{T} \text{ - prawo Curie (C- stała Curie)}$$

- Zwiększanie B_{zewn} powoduje wzrost uporządkowania atomowych momentów magnetycznych
- Zwiększanie T zmniejsza uporządkowanie

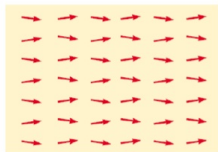


Ferromagnetyzm

- Jeżeli $T < T_c$, to momenty magnetyczne są uporządkowane
- T_c - temperatura Curie
- Powstaje silny moment magnetyczny wewnętrzny
- Jeżeli zewnętrzne pole niejednorodne, ferromagnetyk jest przyciągany do obszaru silniejszego pola



(a)



(b)

