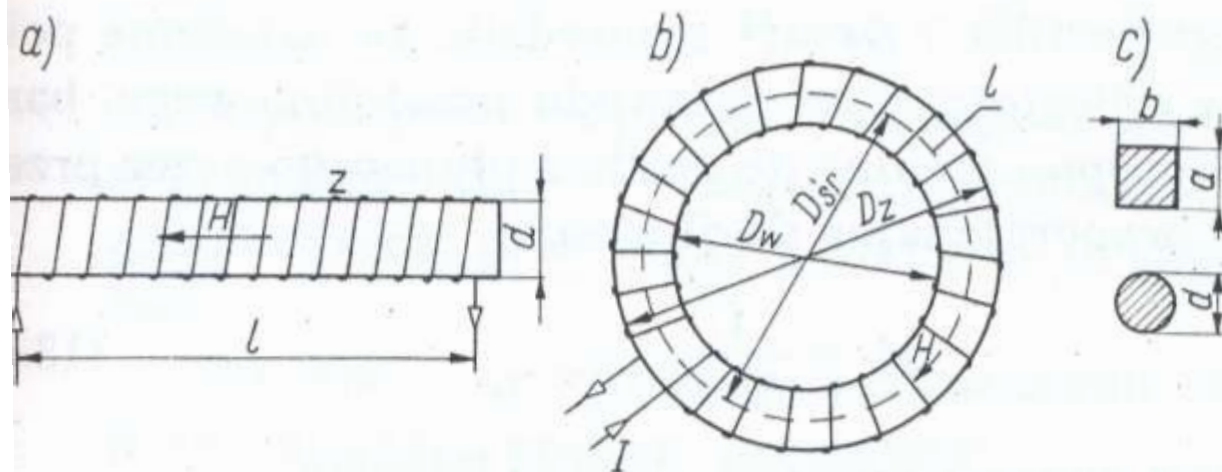


Lekcja 55 Natężenie pola magnetycznego.

W polu magnetycznym wytworzonym przez prąd elektryczny indukcja magnetyczna w dowolnym miejscu zależy nie tylko od kształtu obwodu, liczby zwojów, prądu, lecz także od właściwości magnetycznych środowiska w którym to pole zostało wytworzone. Dlatego wprowadzono jeszcze jedną wielkość pola magnetycznego, niezależną od właściwości środowiska, a zależną od pozostałych czynników, które możemy dowolnie dobierać.

Wielkość tę nazwano natężeniem pola magnetycznego i oznaczono literą H .



Rys. 13.17

Rysunek objaśniający wyznaczanie pola magnetycznego: a) w osi solenoidu; b) w toroidzie c) przekroje toroidu

Badania pola magnetycznego bardzo długiego solenoidu (**rys. 13.17a**) nawiniętego równomiernie wykazały, że indukcja magnetyczna w środku długości na jego osi jest proporcjonalna do prądu I , do liczby zwojów z , odwrotnie proporcjonalna do długości l solenoidu, a ponadto zależy tylko od środowiska. Dlatego za miarę natężenia pola magnetycznego przyjęto wielkość określoną wyrażeniem

$$H = \frac{Iz}{l} \quad (13.6)$$

Średnica d solenoidu nie odgrywa roli, byleby długość solenoidu była co najmniej 20 razy większa od jego średnicy.

Na końcach solenoidu natężenie pola jest o połowę mniejsze.

Jeżeli chcemy uniknąć wpływu końców, należy wykonać cewkę pierścieniową (toroidalną) o przekroju kołowym lub prostokątnym i nawinąć ją równomiernie na całej długości (rys. 13.17). Wtedy linie pola magnetycznego są okręgami współosiowymi. Pole magnetyczne istnieje tylko wewnątrz toroidu. Na rysunku oznaczono średnicę wewnętrzną toroidu przez D_w , średnicę zewnętrzną przez D_z . Średnia średnica toroidu $D_{sr} = \frac{1}{2} (D_w + D_z)$, a odpowiadająca jej długość linii pola $l = \pi D_{sr}$. Natężenie pola wzdłuż tej linii ma

ze względu na symetrię jednakową wartość na całej długości, zmienia tylko kierunek.

$$H = \frac{Iz}{l} = \frac{Iz}{\pi D_{sr}} \quad (13.6a)$$

Badając pole magnetyczne w otoczeniu przewodu prostoliniowego bardzo długiego Biot i Savart stwierdzili, że natężenie pola magnetycznego w odległości a od przewodu prostoliniowego, bardzo długiego, jest proporcjonalne do prądu I płynącego przez przewód, a odwrotnie proporcjonalne do długości

$$H = \frac{I}{2\pi a} \quad (13.7)$$

Zależność ta jest znana jako prawo Biota i Savarta.

Jednostką natężenia pola magnetycznego jest amper na metr

$$1 [H] = 1 \frac{A}{m}$$

W praktyce używa się niekiedy jednostki: $1 \text{ A/cm} = 100 \text{ A/m}$.

Przykład

13.1

Obliczyć natężenie pola magnetycznego w odległości $a = 15 \text{ cm}$ od przewodu prostoliniowego o prądzie $I = 30 \text{ A}$.

Rozwiązanie

$$H = \frac{I}{2\pi a} = \frac{30}{2\pi \cdot 0,15} = 31,8 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Lekcja 56 Prawo przepływu

- Jeżeli pomnożymy obustronnie przez l wzór na natężenie pola magnetycznego

$$H = \frac{Iz}{l} \quad (13.6)$$

• Uzyskaliśmy zależność: $H l = I z$

W obwodzie zamkniętym o jednakowej wartości H wzdłuż linii natężenia pola iloczyn natężenia pola magnetycznego i długości linii pola jest równy iloczynowi prądu i liczby zwojów cewki wytwarzającej to pole.

Podobną zależność otrzymamy z prawa Biota i Savarta dla pola przewodu prostoliniowego, jeżeli uwzględnimy, że $2\pi a$ w równaniu (13.7) jest długością linii pola, a $z = 1$, bo mamy tylko jeden przewód

$$H \cdot 2\pi a = Hl = I \quad (13.8a)$$

W polu przewodu prostoliniowego o prądzie I iloczyn natężenia pola magnetycznego w dowolnym punkcie i długości linii pola przechodzącej przez dany punkt jest równy prądowi objętemu tą linią.

Przykłady powyższe są przypadkami szczególnymi ogólnego prawa zwanego **prawem przepływu**.

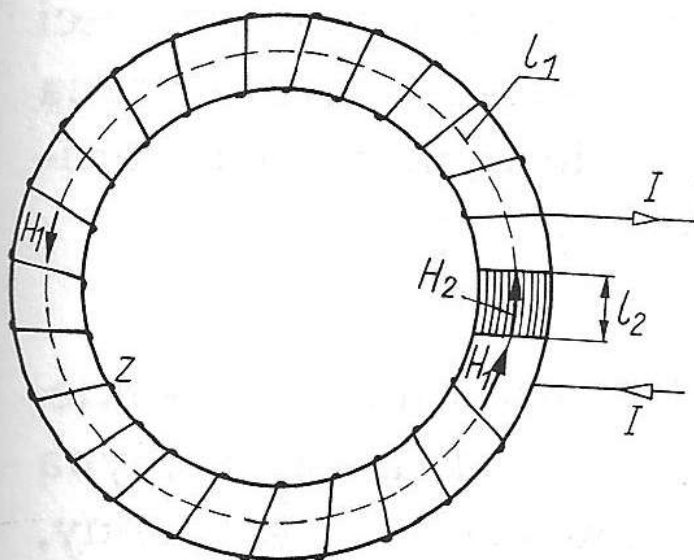
Suma iloczynów natężeń pola magnetycznego i długości linii pola w poszczególnych odcinkach zamkniętego obwodu jest równa sumie iloczynów prądu i liczb zwojów $[\Sigma(Iz)]$ uzwojeń wytwarzających to pole.

$$\Sigma(Hl) = \Sigma(Iz) \quad (13.9)$$

$\Sigma(Iz)$ lub przy jednej cewce tylko Iz nazywamy przepływem.

Objaśnimy to na przykładzie cewki pierścieniowej nawiniętej na pierścieniu z dwóch różnych materiałów, stanowiących rdzeń obwodu magnetycznego (rys. 13.18). Natężenie pola H_1 , H_2 w obu częściach są na ogół różne, jak to wykażemy w punkcie 13.11. Jeżeli długości obu części rdzenia są odpowiednio równe l_1 , l_2 , to zgodnie z prawem przepływu

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 = Iz \quad (13.9a)$$



Rys. 13.18

Cewka pierścieniowa z rdzeniem z dwóch różnych materiałów

zadanie

Korzystając z prawa przepływu obliczyć największą i najmniejszą wartość natężenia pola w cewce pierścieniowej bezrdzeniowej (rys. 13.17b, c) o następujących danych: średnica wewnętrzna $D_w = 27$ cm; średnica zewnętrzna $D_z = 33$ cm; liczba zwojów $z = 800$; prąd $I = 2$ A.

Rozwiązanie

Największa (maksymalna) wartość natężenia pola odpowiada linii pola przy średnicy wewnętrznej. Do wzoru (13.8) podstawiamy $l = \pi D_w$ i obliczamy

$$H_{max} = \frac{Iz}{\pi D_w} = \frac{2 \cdot 800}{\pi \cdot 0,27} = 1885 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Najmniejsza (minimalna) wartość H jest przy średnicy zewnętrznej

$$H_{min} = \frac{Iz}{\pi D_z} = \frac{2 \cdot 800}{\pi \cdot 0,33} = 1543 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Dla porównania obliczymy natężenie pola przy średnicy średniej

$$D_{sr} = 0,5 (27 + 33) = 30 \text{ cm}$$

$$H_{sr} = \frac{Iz}{\pi D_{sr}} = \frac{2 \cdot 800}{\pi \cdot 0,30} = 1698 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Lekcja 57 Właściwości magnetyczne materii.

Właściwości magnetyczne materii zależą od ruchu elektronów w atomach. Elektrony krążą dookoła jądra, a ponadto wykonują ruch obrotowy dookoła własnej osi, tzw. spin elektronu (w języku angielskim spin oznacza wrzeciono). Elektron w ruchu spinowym zachowuje się jak mikroskopijny magnes. Część elektronów w atomie ma spiny dodatnie, a część ujemne ze względu na wirowanie w przeciwną stronę, tak że ich efekty magnetyczne kompensują się całkowicie lub częściowo. Ze względu na bezładne ułożenie „mikromagnesów spinowych” ciało nie wykazuje stanu magnetycznego nawet mimo ich nieskompensowania w obrębie atomu. Wyjątek stanowią opisane dalej ciała ferromagnetyczne.

Jeżeli dowolne ciało umieścimy w tzw. zewnętrznym polu magnetycznym np. w solenoidzie zasilanym prądem elektrycznym, to w wyniku oddziaływania pola magnetycznego solenoidu na poruszające się elektrony wytwarza się wewnątrz danego ciała wypadkowe pole magnetyczne tak, że wypadkowa indukcja $B \neq \mu_0 H$, przy czym może być $B < \mu_0 H$ lub $B > \mu_0 H$. W zależności od tego rozróżniamy ciała diamagnetyczne i ciała paramagnetyczne.

Ciała diamagnetyczne są to takie ciała, wewnątrz których występuje osłabienie zewnętrznego pola magnetycznego

$$B < \mu_0 H$$

Stosunek B do H nazywamy przenikalnością magnetyczną danego ciała. W ciałach diamagnetycznych

$$\frac{B}{H} = \mu < \mu_0$$

Przenikalność magnetyczna ciał diamagnetycznych jest nieco mniejsza niż przenikalność próżni.

Ciała paramagnetyczne są to ciała, w których obserwujemy wzmocnienie zewnętrznego pola magnetycznego w wyniku oddziaływania pola na niezrównoważone spiny elektronowe. Dążą one do ustawienia swych osi obrotu zgodnie z natężeniem pola, co utrudniają ruchy termiczne, tak że spiny doznają tylko skręcenia o pewien kąt w kierunku natężenia pola. W ciałach paramagnetycznych

$$\begin{aligned} B &> \mu_0 H \\ \mu &> \mu_0 \end{aligned}$$

Przenikalność magnetyczna ciał paramagnetycznych jest większa niż przenikalność próżni.

Wyrażona stosunkiem B do H przenikalność jest przenikalnością magnetyczną bezwzględną, mierzoną w H/m.

W praktyce posługujemy się często pojęciem **przenikalności magnetycznej względnej**

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (13.23)$$

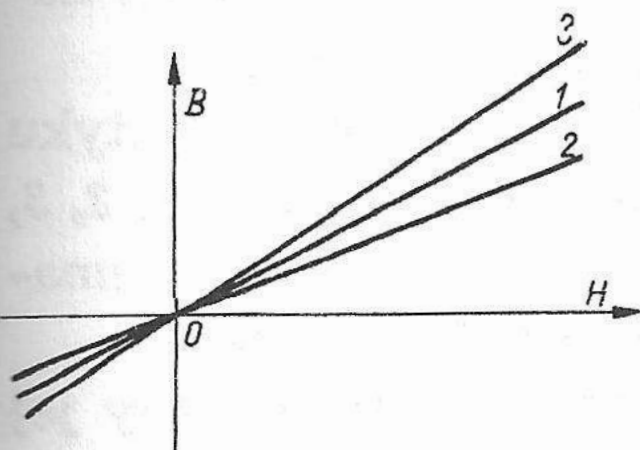
w odróżnieniu od bezwzględnej

$$\mu = \mu_r \mu_0 \quad (13.24)$$

Przenikalność magnetyczna względna dowolnego środowiska jest to stosunek jego przenikalności bezwzględnej do przenikalności próżni.

Przenikalność magnetyczna względna jest wielkością bezwymiarową. Dla ciał diamagnetycznych $\mu_r < 1$, a dla ciał paramagnetycznych $\mu_r > 1$. W obu przypadkach wartości μ_r są bardzo bliskie jedności. Najsilniejsze własności diamagnetyczne wykazuje bizmut o $\mu_r = 0,99984$. Dla miedzi $\mu_r = 0,999990$. Do ciał paramagnetycznych należą m. in. platyna ($\mu_r = 1,00027$) i aluminium ($\mu_r = 1,000020$).

Należy podkreślić, że przenikalność paramagnetyków i diamagnetyków jest dla danych ciał wielkością stałą niezależną od natę-



Rys. 13.20

Wykres $B=f(H)$

1 – dla próżni, 2 – dla ciała diamagnetycznego 3 – dla ciała paramagnetycznego

żenia pola magnetycznego. Wykresy zależności $B = f(H)$ dla tych ciał, jak też dla próżni są liniami prostymi (rys. 13.20).

Ciała para- i diamagnetyczne odznaczają się tak słabymi właściwościami magnetycznymi, że z punktu widzenia zastosowań technicznych nazywamy je ciałami niemagnetycznymi.

Oddzielną grupę ciał stanowią ciała ferromagnetyczne. Należą do nich żelazo (z łac. ferrum), kobalt, nikiel i w słabszym stopniu gadolin. Ciała te posiadają tak jak paramagnetyki nieskompensowane mikromagnesy wewnątrzatomowe, ale dzięki odpowiedniej odległości między sąsiednimi atomami układają się one równolegle do siebie w dużych grupach liczących około 10^{14} atomów. Są to już widoczne gołym okiem ziarenka, nazywane **domenami**, czyli obszarami. W polu magnetycznym zewnętrznym całe domeny dążą do układania się w kierunku natężenia pola. Ferromagnetyki odznaczają się dużą przenikalnością magnetyczną. Ich przenikalność względna jest rzędu od wielu setek do wielu tysięcy i dziesiątków tysięcy, ale nie jest wielkością stałą, gdyż zależy od natężenia pola magnetycznego.

W ciałach ferromagnetycznych indukcja B nie jest proporcjonalna do natężenia pola H . Dlatego w praktyce posługujemy się charakterystykami $B = f(H)$ wyznaczonymi doświadczalnie.