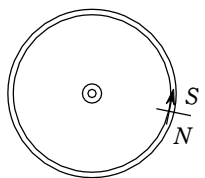


A27磁束密度

67.

磁束線

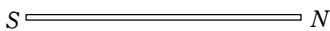
電流の周りの磁場は右ねじの法則によって円形に存在している。この磁力線に沿って細長い棒磁石があると考える。どこでも任意の位置で切断すると、 $N \rightarrow S$ の向きに磁力線を考えることができる。



この棒磁石を磁束線という。

(真実の定義とは異なるが考えやすいので

この方法で進める。考え方の違いのみであるので、真実の定義の場合と結論はすべて同じである。)

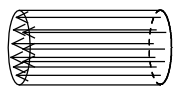


物理研究の歴史を振り返れば、磁場の強さは、磁気量に作用する力から考えられた概念であり、磁束密度は電流に作用する力から考えられた概念であり、当初は別物であった。それが、 $B = \mu H$ の式により統合したものである。このように二通りの概念が入り混じっているために高校生にはひとつの形として理解するのに難がある。そのために、磁束密度の概念を少し変えて考えることにした。これは考え方の違いのみであるので、導出過程や結論において、いささかも真実の定義と異なるものはない。理解が進めば真実の定義によって考え方を進めるのも良いであろう。

このとき、 $1Wb$ の磁石と同じ本数の磁力線があるとき、そこに $1Wb$ の棒磁石があると考える。この場合、磁束線が1本と捉えることにする。

$\mu_0 = \frac{1}{10^6}$ である。これより、 $1Wb$ の磁石から出ている磁力線の本数は約100万本と考えられる。

$1Wb$ の磁石から出ている磁束線の本数は当然ながら1本である。よって、磁束線1本あたりの磁力線は100万本ということになる。言い換えれば磁力線100万本の束が磁束線ということになる。

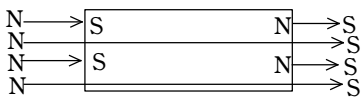


(1) この定義に従えば、棒磁石内の磁力線の向きと磁束線の向きは逆になることを示せ。

(2) 図は磁性体内外の磁力線を

示している。(この場合比透磁率2)

磁性体内外で磁力線の本数は変化するが、磁束線の本数は変化しない



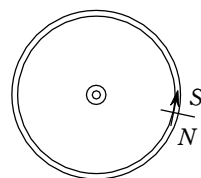
ことを示せ。

(3) 磁束線は必ず閉曲線になっていることを示せ。

(4) 永久磁石・コイル(鉄心なし)・コイル(鉄心あり)のそれぞれの場合の磁石内外の磁力線と磁束線を作図し、それぞれの向きを確認せよ。また、鉄心がない場合に比べて鉄心がある場合は磁束線の数が増えることを示せ。

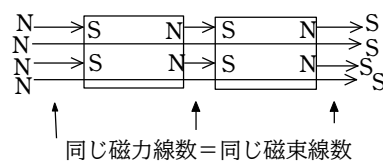
解説

(1) 電流の周りに存在する仮想上の棒磁石の一部を切断すると、右図のように $N \rightarrow S$ の向きに磁力線が存在することがわかる。この向きに磁束線を定義している。つまり、この場合、磁束線の向きは左回りである。しかし、磁力線の向きの定義は $N \rightarrow S$ でこれは、永久磁石内でもこのようになっている。よって、棒磁石内の磁力線の向きは $N \rightarrow S$ で、図の場合右まわりとなる。



磁束線は切断時の磁力線の向きで定義してあるために、棒磁石内の磁力線の向きとは逆になる。

(2) 磁束線は切断時の磁力線によって決められている。この場合磁化している磁性体を切断すれば、磁力線は磁性体外の磁力線の数と等しくなるために、磁性体内でも磁束線の本数は変わらない。

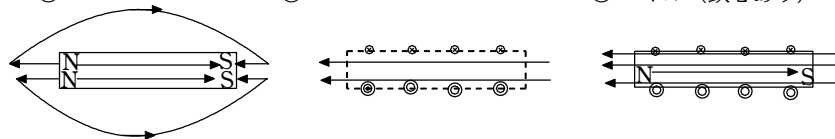


(3) 永久磁石の場合、磁石外では $N \rightarrow S$ 、磁石内では $S \rightarrow N$ であるので、閉曲線となる。また、磁束線の始まりがなければ終わりもない。磁性体が間にあっても本数は変わらない。つまり、磁束線は常に閉曲線となる。

電磁石の場合、電流によって生じた磁束線は電流の周りを1周しているのも閉曲線となる。

(4) 磁力線の場合

① 永久磁石 ② コイル(鉄心なし) ③ コイル(鉄心あり)



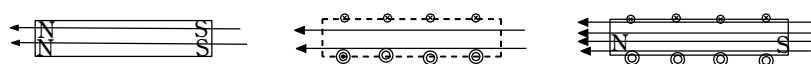
磁石(コイル)の外側ではいずれも左→右に磁力線が出ている。内側では永久磁石では $N \rightarrow S$ で左から右方向への磁力線であるが、コイルでは右から左の磁力線になっている。コイル内の磁場の強さは $H = nI$ であらわされるとおり、中に入っている磁性体に関係なく電流によって磁場の強さが決定される。よって、鉄心がなくてもあっても**コイル内の磁場の強さは同じ**である。鉄心がある場合は鉄心が磁化され $N \rightarrow S$ 方向に新しく磁場が発生するために、コイルによって発生した磁場が打ち消されてしまう。打ち消された分だけコイルは磁場を追加するのである。そのために鉄心のあるコイル外では磁場が強くなる。比透磁率が仮に500だとすると、磁性体内の磁場の強さが500分の1になるために、さらに500倍の磁場が発生する。その結果、磁性体外では磁場の強さが500倍になる。

これを次のように考えることもできる。

円形の電流が磁力線を閉じ込める能力を持っていると考えるのである。同じ方向の磁力線は反発する性質を持っている。そのために狭いコイル内に多くの磁力線を閉じ込めておくには多くの電流が必要である。よって、電流を多くすればするほど多くの磁力線を閉じ込めることができる。コイル内に鉄心を入れた場合、鉄心が磁化されることにより発生する磁場がコイルにより発生する磁力線を打ち消すために磁力線の反発が弱り、電流はより多くの磁力線を発生することができるようになる。

磁束線の場合

永久磁石 コイル(鉄心なし) コイル(鉄心あり)



磁束線は切断時の磁力線で考えるために磁性体によって発生する磁力線の向きと逆になる。よって、上の図のような磁束線になる。鉄心があるコイルの場合は磁性体が発生する磁場が打ち消した分だけ磁力線が増えており、また、鉄心自体が発生する磁力線も加えて磁束線が作られる。上の図の場合は比透磁率2の場合である。鉄心のないコイル内に磁力線が2本走っている場合、比透磁率2の鉄心を入れると、磁場の強さが半分になるために、磁力線1本が打ち消すように鉄心が磁化される。つまり、逆方向に1本の磁力線を鉄心が作る。この磁力線と下からあった磁力線が打ち消しあい、磁力線の本数が半分になる。しかし、コイルは内部の磁場が鉄心がない場合と同じになるように磁場を発生するためあくまでコイル内の磁力線は2本となる。比透磁率2の場合磁性体内の磁場は外部の磁場の半分であるために、外部の磁場は2倍の強さになる。この磁場の強さが中の鉄心を切断したときの磁場の強さである。よって、磁束線の本数も2倍となる。

解説

(1) 磁束密度 $B[Wb/m^2]$ ということは、 $1m^2$ あたり $B[Wb]$ であることを意味している。一方磁場の強さ $H[A/m]$ ということは磁力線が $1m^2$ あたり、 H 本であることを意味し、同時に磁力線1本あたり $\mu_0[Wb]$ であるから、 H 本で $\mu_0 H[Wb]$ となる。すなわち、 $B = \mu_0 H$ である。

(2) $F = \mu_0 I l H$ と、 $B = \mu_0 H$ より、 $F = I B l$

68.

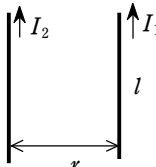
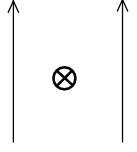
磁束密度


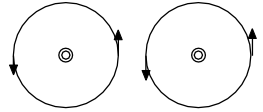
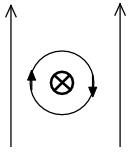
(1) 磁束密度を $B[Wb/m^2]$ とすると、 $B = \mu_0 H$ が成立することを示せ。

(2) 磁束密度 B の磁場に長さ l の導線を垂直に置き電流 I を流したときに導線に作用する力は $F = I B l$ であることを示せ。

(真実の磁束密度は $B = \frac{F}{I l}$ より、 $1A$ 、 $1m$ の導線に作用する力で定義されている。)

A27磁束密度

- (3) 同じ方向の磁力線は反発し逆方向の磁力線は引き合うことを示せ。
- (4) ①右図のように距離 r 離れた並行導線
長さ l あたりに作用する力は
 $F = \mu_0 \frac{I_1 I_2 l}{2\pi r}$ で表されることを示せ。
- 
- ② $1m$ 離れた並行導線に等しい電流を流したとき、導線 $1m$ あたりに作用する力が
 $2 \times 10^{-7} N$ のときを $1A$ と定義している。これを用いて、
 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [N/A^2]$ 、 $k_m = \frac{10^7}{4\pi^2}$ であることを示せ。
- ③ 導線間の磁力線の向きに注目することにより、この導線どおしは引き合うことを示せ。
- (5) 図のように上向きの磁場内で向こう向きに電流が流れているとき、この導線に作用する力は右向きであることを右ねじの法則を用いて説明せよ。
- 
- (6) 磁束線数を磁束という、磁束密度を B 、磁束が貫いている断面積を S とすると、磁束
 $\Phi = BS$ であることを示し、磁束と磁気量との違いを説明せよ。

- (3) 磁力線はNからS方向で
ある。
図のとおり同じ方向の
磁力線はNどおしSどおしが重なり反発し、逆方向の磁力線はNとSが重なり引き合うことになる。
- 
- (4) ① $F = \mu_0 I l H$ より、 $I = I_2$ 、 $H = \frac{I_1}{2\pi r}$ を代入し、 $F = \mu_0 \frac{I_1 I_2 l}{2\pi r}$
② $F = \mu_0 \frac{I_1 I_2 l}{2\pi r}$ において $r=1$ 、 $I_1 = I_2 = 1$ 、 $F = 2 \times 10^{-7} N$ を代入すると、
 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [N/A^2]$ となり、 $k_m = \frac{1}{4\pi \mu_0}$ より、 $k_m = \frac{10^7}{4\pi^2}$ である。
③ 2本の導線を真上から見ると下の図のようになる。右ねじの法則より、2本の導線の間では逆方向に磁力線が作用している。よって、2本の導線は引き合う。
- 
- (5) 右ねじの法則で電流による磁場を記入すると図のようになる。その結果、導線の左側は磁力線が同じ方向を向き右側は逆方向を向いている。磁力線が逆向きするとき、引き合う力が作用するため、右向きに力が作用する。
- 
- (6) 磁束密度は単位面積当たりの磁束線数と定義されているために、断面積 S の場合そのなかの磁束線数は BS となる。よって、 $\Phi = BS$ が成立する。
単位はともに Wb であるが、磁気量は磁気の量を示すスカラーであるのに対し磁束は磁束線に沿った方向を持つベクトルである。