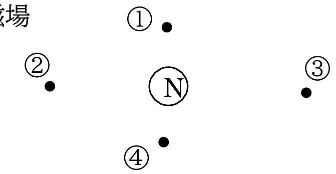
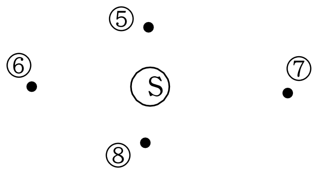
77．磁力線

(1)　「電場は+1Cの電荷に作用する力」、「重力は1kgの物体に作用する力」で考えることができる。磁場もN磁極に作用する力で考えることができる。次の黒点の位置の磁場の向きを矢印で図示せよ。

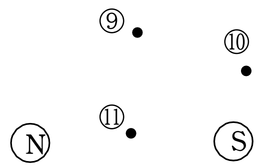
・　N極の周りの磁場



・　S極の周りの磁場



・　NS両極の周りの磁場

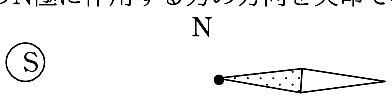


(2)　磁力線は磁場の方向をつないだものである。次の場合、磁力線を図示せよ。

①

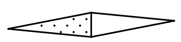
②

(3)　方位磁石のN極に作用する力の方向を矢印で表わし、磁力線の方向を示せ。

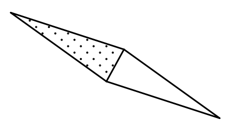


(4)　磁力線は方位磁石のN極の向く向きに存在する。次の場合磁力線の方向を矢印で図示せよ。（色塗りの方がN極である。）

①



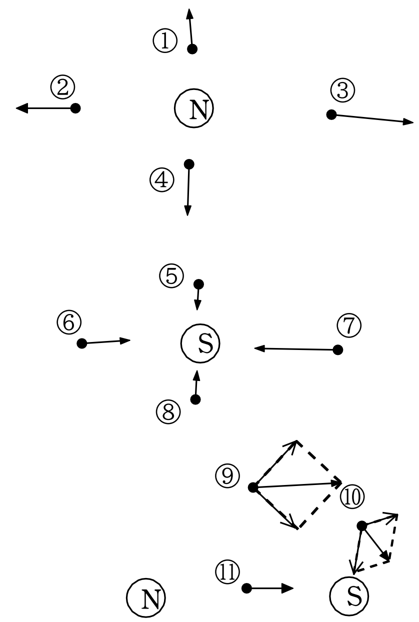
②



(5)　下の図の方位磁石はどちらがN極か。N極のほうを塗りつぶせ。また、磁力線の方向を矢印で示せ。

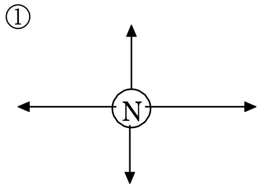
解説

(1)

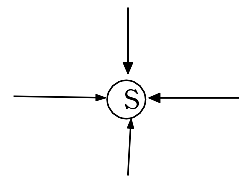


黒点の位置にN極の磁石を置いたとして力の働く方向に矢印を書く。複数の磁極がある場合はそれぞれからの力を書き、それを合成するとよい。

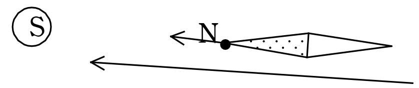
(2)　①



②

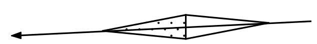


(3)

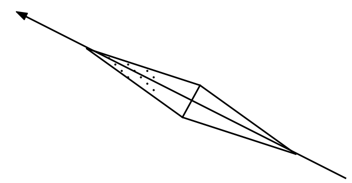


N極に作用する力の方向と、方位磁石のN極の向く向きは同じである。それが磁力線の向きでもある。

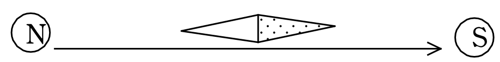
(4)　①

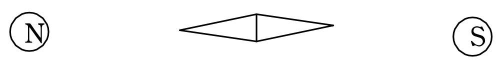


②



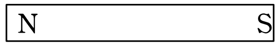
(5)



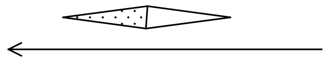


(6)　磁石の中の磁力線の向きを図示せよ。

①

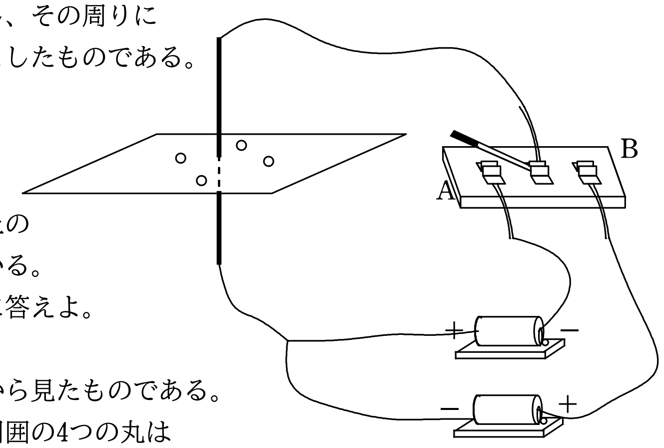


②



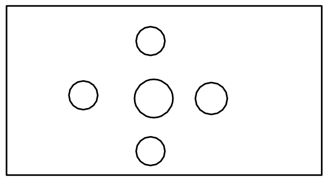
78.　直線電流と磁場

(1)　右図は導線に電流を流し、その周りに発生する磁場を調べようとしたものである。切り替えスイッチABで導線を流れる電流の方向を切り替えることができ、導線を支える平面上の白点は方位磁石を示している。これについて以下の問いに答えよ。



下の図はこの平面を真上から見たものである。中央の〇は導線を示し、周囲の4つの丸は方位磁石を示している。

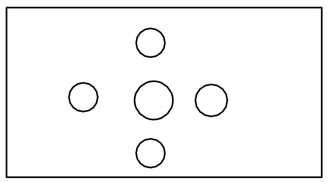
・　切り替えスイッチをAにした。



①　電流の流れている向きを◎あるいは×で答えよ。

②　各方位磁石のN極の向いている方向を矢印で記入せよ。

・　切り替えスイッチをBにした。

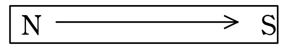


③　電流の流れている向きを◎あるいは×で答えよ。

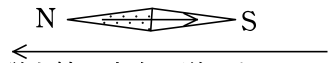
②　各方位磁石のN極の向いている方向を矢印で記入せよ。

(6)

①



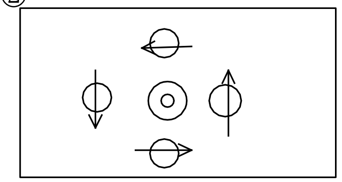
②

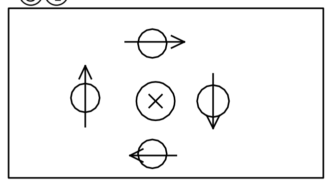


方位磁石の内部と外部の磁力線の方向は逆になっていることに注意

解説

(1)　①②　　　　③④



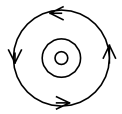


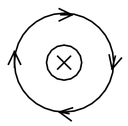
(2)　①　A：電流の向き　　B：磁場の向き

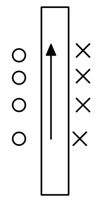
②　右ねじの法則

(3)

(4)　①　　　　②　　　　③



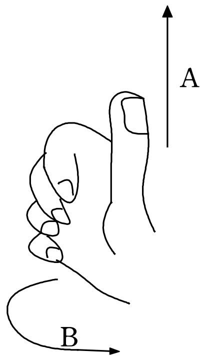




⑵　直線電流の電流の方向とその周りに発生する磁場の方向は右図のように右手の親指と残りの4本の指との位置関係で示すことができる。以下の問いに答えよ。

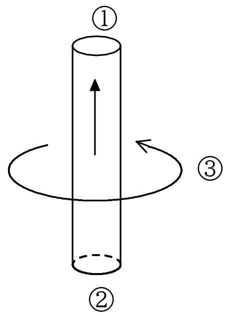
①　図中A、Bは電流の向き、磁場の向きそれぞれどちらの方向を示しているか。

②　この法則をなんというか。

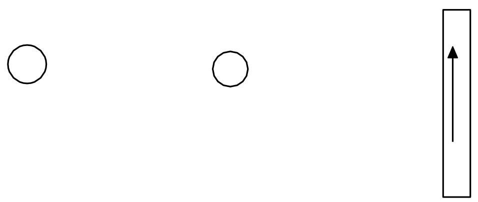


⑶　下図の黒点①～④を通る磁力線をすべて描け。

⑷　右図は導線内を上向きに電流が流れており、その周りに発生している磁力線を描いたものである。①②③の各方向から見た電流及び磁力線を○、×、矢印を用いて図示せよ。

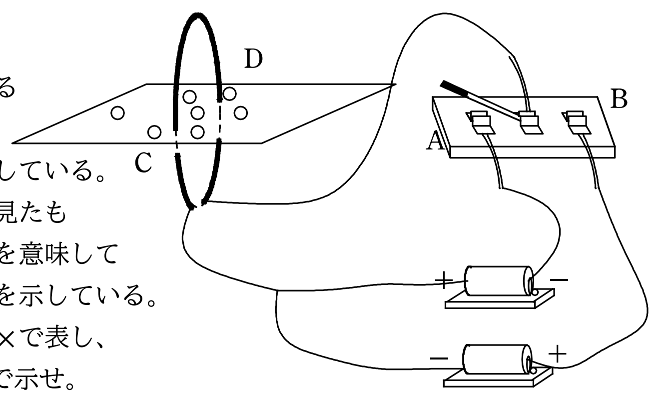


①　　　　　　②　　　　　　③



79.　円形電流と磁場

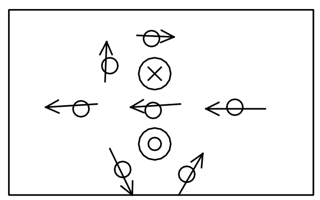
⑴　右図は円形の導線を平面に対して垂直に設置し電池と切り替えスイッチを用いて電流の方向が自由に変えられるような装置である。平面上の白丸は方位磁石を示している。下の図はこの平面を真上から見たものであり、大きな白丸は導線を意味しており、小さな白丸は方位磁石を示している。次の場合、電流の方向を○、×で表し、方位磁石のN極の向きを矢印で示せ。



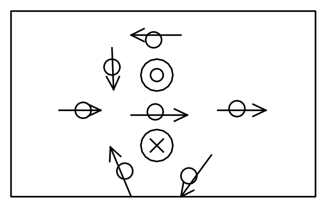
①　切り替えスイッチをAにした場合

解説

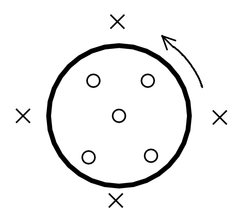
⑴　①



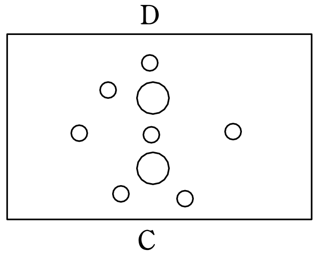
②



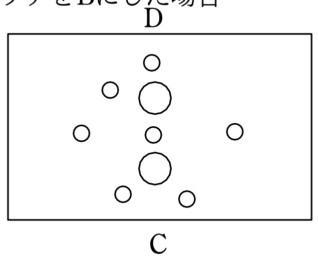
⑵



⑶　A:コイル内の磁場の向き　B:電流の回転方向

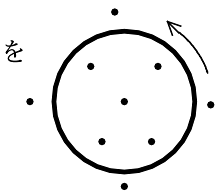


② 切り替えスイッチをBにした場合

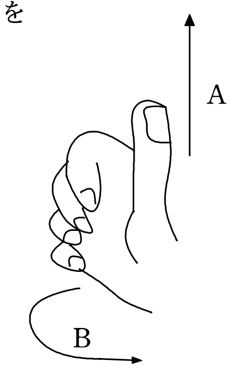


(2)

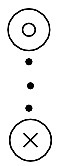
右図の円は導線を意味しており、矢印の方向に
電流が流れている。円周辺の黒点の位置の磁力線の向きを
矢印、○、×で記入せよ。



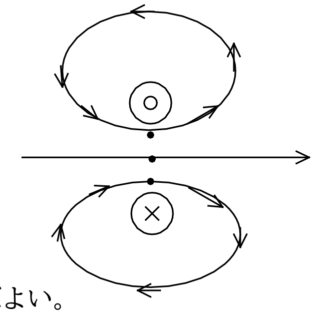
(3) 円形電流周辺の磁場の向きは右ねじの法則で右手の親指を
電流の向きにあわせて知ることもできるが、円形電流の
電流の回転方向と、コイル内の磁場の方向を右図の
親指とそのほかの4本の指で表すこともできる。
図中A,Bは電流の向き、コイル内の磁場の向き
それぞれどちらを表しているか。



(4) 右図は(1)と同様に円形電流を真上から見たものである。
黒点の位置を通る磁力線を描け



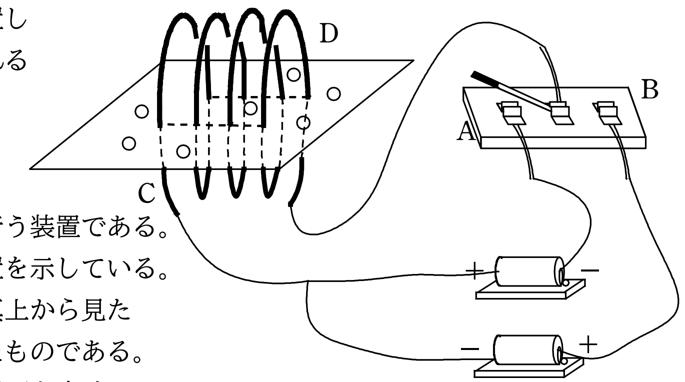
(4)



大体の概形が描けていればよい。

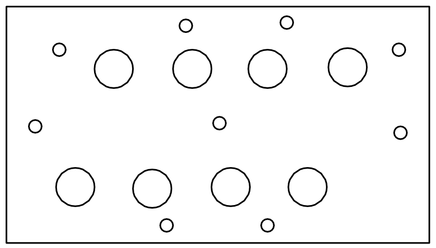
80. コイルと磁場

(1) 右図はコイルを平面に垂直になるように設置し電流の向きを変えられる切り替えスイッチと電池、方位磁石を使って、コイルの周り磁場を調べる実験を行う装置である。白丸は方位磁石の位置を示している。下の図はこの平面を真上から見た平面上の断面を示したものである。図中太い丸は導線の断面を意味し、小さい丸は方位磁石を意味している。

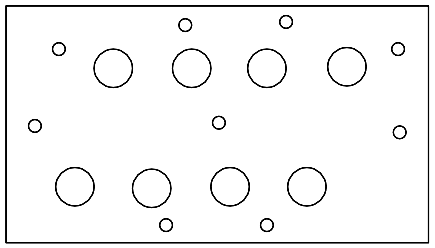


次の場合電流の向きを○、×で、方位磁石のN極の向く方向を矢印で図示せよ。

① スイッチをAにつないだ場合

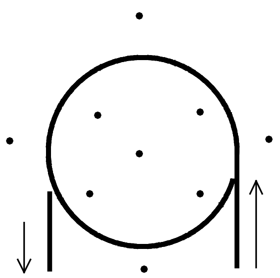


② スイッチをBにつないだ場合

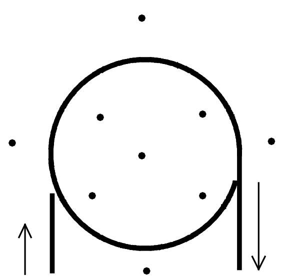


(2) 下の図①②はコイルを横から見たものである。矢印のように電流が流れているとき、黒点の位置の磁力線を○あるいは×で記入せよ。

①

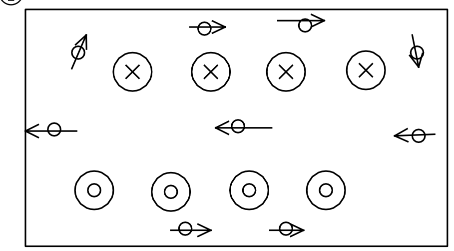


②

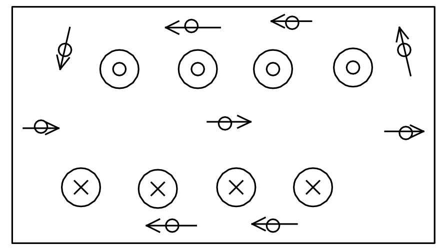


解説

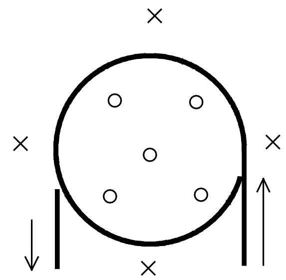
(1) ①

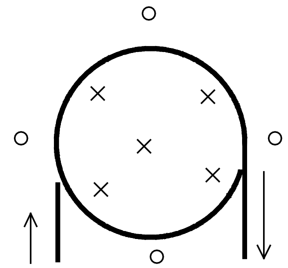


②

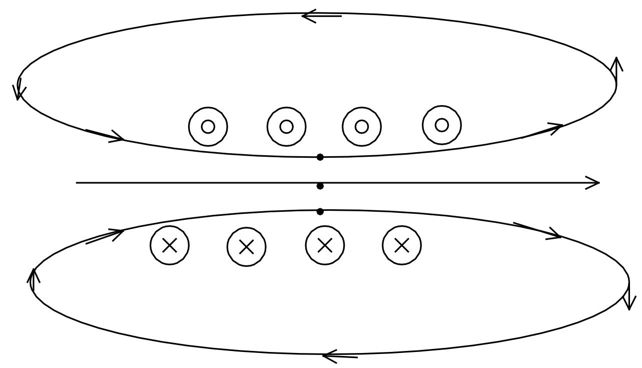


(2)





(3)

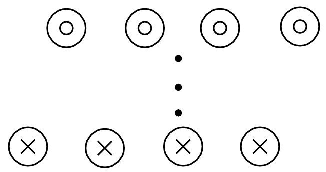


(4) ① 磁力線が出て行く側がN極となるので、BがN極、AはS極となる。

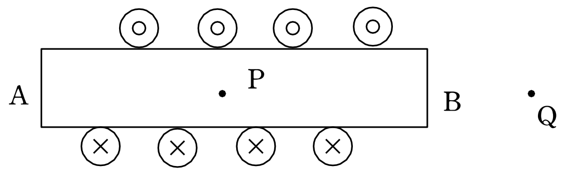
② 鉄心内にNからSの磁力線が左向きに発生する。コイルの磁力線が右向きなので、互いに打ち消しあうので、磁場は弱くなる。鉄心の磁化によって発生する磁場は、コイルの磁場によって引き起こされるものであるから、元の磁場よりは弱い。よって、磁場の向きは右向きである。

③ 鉄心の外の磁場はコイルによって生じる磁場と磁化された鉄心によって生じた磁場が同じ向きになるので強めあう。よって、磁場は強くなる。向きは元の磁場と同じ向きなので、右向き

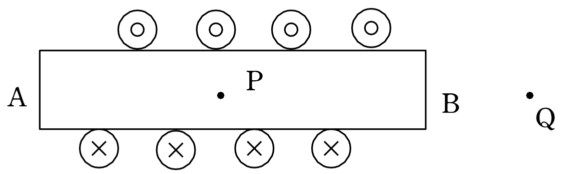
⑶　下図はコイルの断面である。丸の中の○あるいは×は電流の流れる方向を意味している。図の黒丸の位置を通る磁力線を描け



⑷　下図は⑶のコイルの中に鉄心を入れたものである。これについて以下の問いに答えよ。

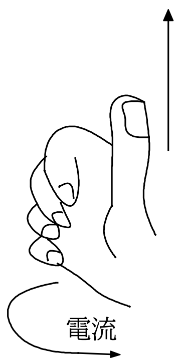


①　鉄心は磁化されて磁石になるが、A,BどちらがN極となるか
②　図中P点は鉄心の中の点である。この点の磁場の強さは鉄心を入れる前と後では強くなったか弱くなったか。また、磁力線の方向はどちら向きか
③　図中Q点は鉄心の外の点である。この点の磁場の強さは鉄心を入れる前と後では強くなったか弱くなったか。また、磁力線の方向はどちら向きか
④　この場合の磁力線の概形を描け。



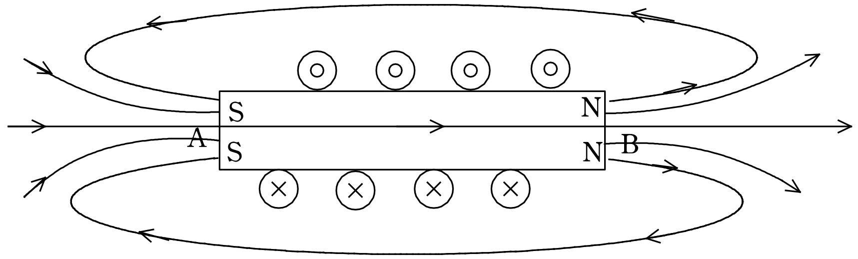
⑸

コイルに電流を流したとき、周りに磁場を発生する。
この磁場はコイルを磁石を考えたときの磁場と同じである。
このときの磁石のN、S極を右手で表すことができる。
親指以外の4本の指を電流の回転方向にあわせたとき、
親指の示す方向はN極か、S極か



⑹次の電磁石はどちらがN極となるか

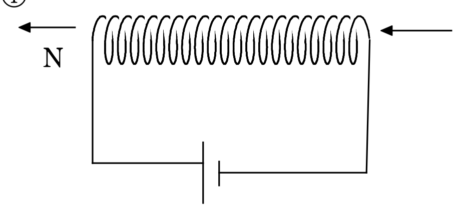
④



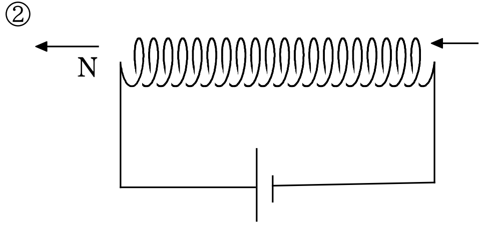
概形が描けていれば良い。鉄心内は磁力線数が少なく、鉄心外は多くなっていなければならない。

⑸　N極

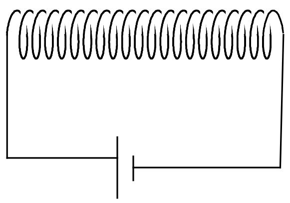
⑹　①



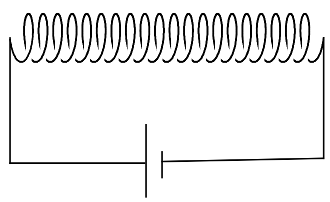
②



(1)

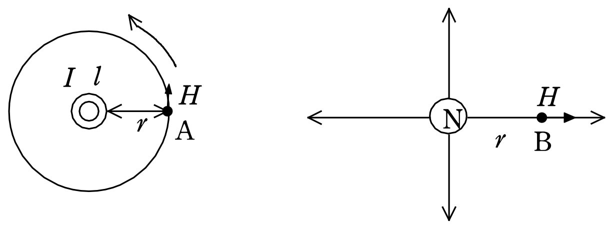


(2)



81.　ビオ･サバールの法則

(1)　磁場は磁気から発生するが、電流からも発生する。電流から発生する磁場を磁気から発生する磁場と比較してみよう。下図右側は磁気量m[Wb]の磁気から発生している磁場の様子を磁力線で表したもので、左側は微小な長さlの導線に電流が手前向きにI流れている場合の磁場を表している。電流の周りの磁場は導線を中心に円形に発生しており、磁気から発生する磁場は磁気から放射状に発生している。



導線から真横にr離れた点Aと磁気からr離れた点Bの磁場は方向が90°異なるが、大きさが同じH[N/Wb]であったとする。このとき、電流Iと磁気量mとの間にどのような関係があるか導いてみよう。真空透磁率をμ_0とし、以下の問いに答えよ。

・

磁気量mに関して

① m[Wb]の磁気から放射状に出ている磁力線は何本か。m、μ_0で表せ。

② 半径rの球の表面積をrで表せ。

③ 点Bにおける磁場の強さ（磁力線密度）Hをm、μ_0、rで表せ。

・ 電流Iに関して

④ 電流が2倍になったとき、A点の磁場の強さは何倍になるか。

⑤ 導線の長さが2倍になったとき、A点の磁場の強さは何倍になるか。

⑥ A点の磁場の強さは電流I、導線の長さlに比例するか反比例するか。

⑦ 距離rが2倍になると磁場の強さは何倍になるか。

電流の周りの磁場の強さは、I,lに比例し、rの２乗に反比例する。このことから比例定数をkと置いて、磁場の強さHを$H=k\dfrac{Il}{4\pi r^2}$と表すことができる。（式中の4πは③との比較のために設置）

⑧ $k=1$となるように1Wbの大きさを決めた場合、A点の磁場の強さをI,l,rで表せ。

⑨ A点とB点の磁場の強さが同じになるとき、磁気量mをμ_0、I、lで表せ。

解説

(1) ① $\dfrac{m}{\mu_0}$　② $4\pi r^2$　③ $H=\dfrac{\frac{m}{\mu_0}}{4\pi r^2}=\dfrac{m}{4\pi r^2\mu_0}$　④ 2倍　⑤ 2倍　⑥ ともに比例

⑦ 磁気の場合と同じく2乗に反比例するので$\dfrac{1}{4}$

⑧ $H=\dfrac{Il}{4\pi r^2}$

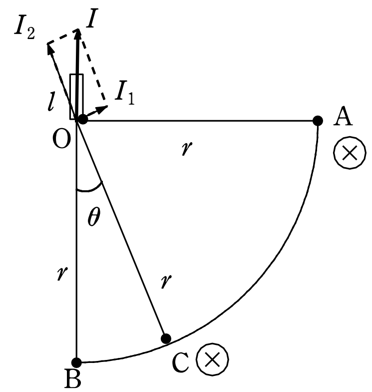
⑨ A点とB点の磁場の大きさが等しいので、$H=\dfrac{m}{4\pi r^2\mu_0}=\dfrac{Il}{4\pi r^2}$

これより、$m=\mu_0 Il$

⑩ $F=mH$

⑪ $F=mH$に$m=\mu_0 Il$を代入すると、$F=\mu_0 IlH$

(2) ① $H=\dfrac{Il}{4\pi r^2}$　右ねじの法則より紙面向う向き



② 磁場は電流の横に発生するので、電流の方向には発生しない。よって、0

③ $I_1=I\sin\theta$　$I_2=I\cos\theta$

④ C点は電流I_1の真横に当たる。よって、

$H=\dfrac{I_1 l}{4\pi r^2}$、右ねじの法則より紙面向う向き

⑤ 電流の方向に当たるので0

⑥ C点の磁場は④と同じである。

$H=\dfrac{I_1 l}{4\pi r^2}=\dfrac{Il\sin\theta}{4\pi r^2}$　方向は紙面向う向き（図の通り）

(3) 電流の側面ではないので磁場の強さは0

（この両者は磁場を発生する能力が同じといえる。）

⑩　磁場H中に磁気量mの磁気を置いたときにこの磁気に作用する力の大きさをm,Hで表せ。

⑪　磁気量mと⑨式で表された式は磁場を発生する能力が同じであることを基にして磁場Hの空間の長さlの導線に電流Iを流したとき、その導線に作用する力の大きさをμ_0、I、l、Hで表せ。

(2)　O点にある微小な長さlの導線に電流Iを流した。導線の真横にr離れた点をA、導線の真下にr離れた点をB、OBからθの角度で距離r離れた点をCとする。

①　A点の磁場の強さをI,l,rで表せ。
　また、磁場の方向を答えよ。

②　B点の磁場の強さはいくらか

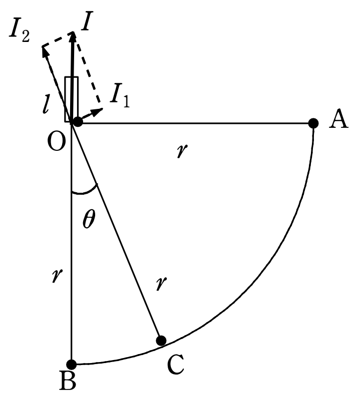
・ 電流IをOCの方向と、その直角方向に分解し、直角方向の電流の大きさをI_1、OC方向をI_2とする。

③　I_1、I_2をそれぞれI、θで表せ。

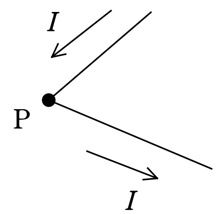
④　電流I_1が点Cに生じさせる磁場の強さ及び方向をI_1、l、rで答えよ。

⑤　電流I_2が点Cに生じさせる磁場の強さはいくらか

⑥　C点の磁場の強さ及び方向をI,l,r,θで表せ。



(3)　右図のように点Pで折れ曲がった導線に電流Iが流れている。
P点の磁場の強さはいくらか



82.　積分（数学）

(1)　$\displaystyle\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dx}{(1+x^2)^{\frac{3}{2}}}$の積分に関して以下の問いに答えよ。

①　$x=\tan\theta$と置くとき、xの定義域$-\infty<x<\infty$はθではどのようになるか。

②　$\dfrac{dx}{d\theta}$をθで表せ。

③　$\dfrac{1}{(1+\tan^2\theta)^{\frac{3}{2}}}$を簡単にせよ。

④　$\displaystyle\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dx}{(1+x^2)^{\frac{3}{2}}}$を$x=\tan\theta$と置くことにより置換積分せよ。

解説

(1)　①　$\tan\dfrac{\pi}{2}=\infty$　（$\displaystyle\lim_{\theta\to\infty}\tan\theta=\infty$）より、$-\dfrac{\pi}{2}<\theta<\dfrac{\pi}{2}$

②　$\dfrac{dx}{d\theta}=(\tan\theta)'=\dfrac{1}{\cos^2\theta}$

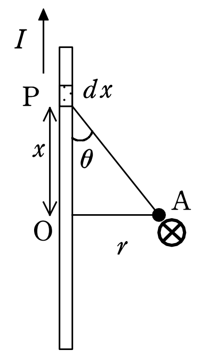
③　$1+\tan^2\theta=\dfrac{1}{\cos^2\theta}$より、

$$\frac{1}{(1+\tan^2\theta)^{\frac{3}{2}}}=\frac{1}{\left(\dfrac{1}{\cos^2\theta}\right)^{\frac{3}{2}}}=\frac{1}{\dfrac{1}{\cos^3\theta}}=\cos^3\theta$$

④　$$\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dx}{(1+x^2)^{\frac{3}{2}}}=\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\frac{1}{(1+x^2)^{\frac{3}{2}}}\frac{dx}{d\theta}d\theta=\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\cos^3\theta\frac{1}{\cos^2\theta}d\theta$$

83. 直線電流の作る磁場

(1) 無限に長い導線に電流Iが流れている。
この導線上のある一点Oから導線に垂直にr離れている点Aにおける磁場を求めることにする。導線上O点よりx離れた点をPとし、Pに微小な長さdxの導線を考えることにする。∠APO＝θとして以下の問いに答えよ。



① APの距離をr,xで表せ。

② $\sin\theta$をr,xで表せ。

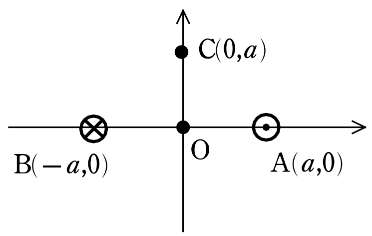
③ Pにある長さdxの導線がA点に作る磁場の強さと方向をI,x,r,dxで答えよ。（ビオサバールの法則$H=\dfrac{Il\sin\theta}{4\pi r^2}$を用いよ）

④ A点の磁場の強さはこの導線のすべての部分からの磁場のベクトル和である。導線は無限に長いためxの定義域は$-\infty<x<\infty$となる。A点の磁場の強さを積分で表せ。

⑤ ④を$x=r\tan\theta$で置換積分をしてA点の磁場の強さを求めよ。

(2)

xy平面上に点A$(a,0)$、点B$(-a,0)$点C$(0,a)$及び原点Oをとる。A,Bに平面に対して垂直に十分に長い導線を設置しそれぞれ、右図のように電流Iを流した。以下の問いに答えよ。



① 原点のA,Bそれぞれの電流からの磁場の方向と大きさを求めよ。

② 原点Oの磁場の大きさと方向を求めよ。

③ 点CにおけるA,B各点からの磁場の大きさと方向を求めよ。

④ 点Cの磁場の大きさと方向を求めよ。

$$\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\cos\theta\,d\theta=\Big[\sin\theta\Big]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}=2$$

解説

(1) ① 三平方の定理より　AP$=\sqrt{r^2+x^2}$

② $\sin\theta=\dfrac{r}{\sqrt{r^2+x^2}}$

③ ビオサバールの法則$H=\dfrac{Il\sin\theta}{4\pi r^2}$より、

$$\frac{Idx}{4\pi(\sqrt{r^2+x^2})^2}\frac{r}{\sqrt{r^2+x^2}}=\frac{rIdx}{4\pi(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

方向は紙面向う向きである。

④ 積分すると、$\displaystyle\int_{-\infty}^{\infty}\frac{rIdx}{4\pi(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}$

⑤ $x=r\tan\theta$と置くと、$\dfrac{dx}{d\theta}=(r\tan\theta)'=\dfrac{r}{\cos^2\theta}$

$$\frac{1}{(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}=\frac{1}{(r^2+r^2\tan^2\theta)^{\frac{3}{2}}}=\frac{\cos^3\theta}{r^3}$$

よって、

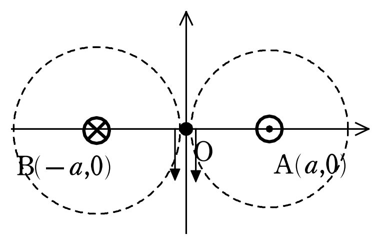
$$\int_{-\infty}^{\infty}\frac{rIdx}{4\pi(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}=\frac{rI}{4\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dx}{(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}=\frac{rI}{4\pi}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\frac{\cos^3\theta}{r^3}\frac{r}{\cos^2\theta}d\theta$$

$$=\frac{I}{4\pi r}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\cos\theta\,d\theta=\frac{I}{2\pi r}$$

(2) ① 右図のように

Aからは下向きに$\dfrac{I}{2\pi a}$

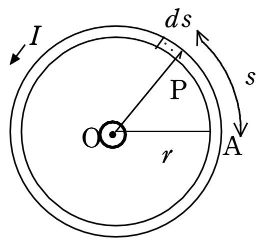
Bからは下向きに$\dfrac{I}{2\pi a}$



② ①の各磁場をベクトル和すると、$\dfrac{I}{\pi a}$[A/m]となる。

84． 円形電流の中心磁場

(1) 右図のように半径rの円周上を左回りに電流Iが流れている。導線上の一点Aより、長さsの位置を点Pとし、点Pに長さdsの導線の微小部分をとる。このds部分からの磁場を考えることにする。



ビオサバールの法則を$H=\dfrac{Il\sin\theta}{4\pi r^2}$として以下の問いに答えよ。

① ds部分から点Oに生じさせる磁場の強さ及び方向をI, ds, rで表せ。

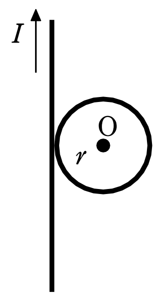
② 中心Oの磁場の強さは一周する電流すべての部分からの磁場のベクトル和となる。積分における変数sの定義域を答えよ。

③ Oの磁場の強さを積分形で表せ。

④ ③を積分してOの磁場の強さをI, rで表せ。

⑤ この円電流がn回巻きだったとき、点Oの磁場の強さはいくらになるか。

(2) 無限に長い導線に電流Iが下から上向きに流れている。そこへ、導線に接するように半径rの円形導線を設置した。このとき、直線導線と円形導線の間は絶縁されているものとする。円の中心をOとして、以下の問いに答えよ。



① 直線導線が点Oに生じさせる磁場の大きさと方向を答えよ。

② O点の磁場が0であったとき、円形電流が点Oに生じさせている磁場の大きさと方向を答えよ。

③ 円形電流の方向と大きさを答えよ。

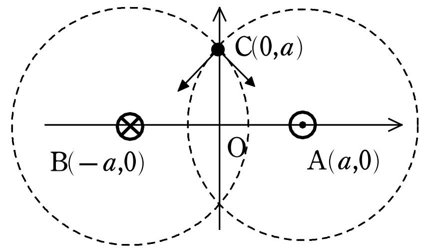
85． ソレノイドが作る磁場

(1) 半径r、電流Iのの円形電流の中心を通り電流面から垂直にx軸を取る。原点Oを円形電流の中心とする。円形電流上の一点Aから円周に沿ってs離れた点をBとし、Bに長さ

③ 右図のように

Aから Bの方向に$\dfrac{I}{2\pi a}$

Bから Aの方向に$\dfrac{I}{2\pi a}$



④ ③の各磁場のベクトルは互いに直角である。

よって、そのベクトル和は正方形の対角線になるので、$\sqrt{2}$倍である。

$\dfrac{\sqrt{2}\,I}{2\pi a}$

解説

(1) ① $H=\dfrac{Il\sin\theta}{4\pi r^2}$において、$l=ds$、$\theta=90°$なので、

dsの作る磁場の強さは $\dfrac{Ids}{4\pi r^2}$

② 1周なので、$0<s<2\pi r$

③ $\displaystyle\int_0^{2\pi r}\frac{Ids}{4\pi r^2}$

④ $\displaystyle H=\int_0^{2\pi r}\frac{Ids}{4\pi r^2}=\frac{I}{4\pi r^2}\int_0^{2\pi r}1ds=\frac{I}{4\pi r^2}\int_0^{2\pi r}s^0ds=\frac{I}{4\pi r^2}\Big[s\Big]_0^{2\pi r}=\frac{2\pi rI}{4\pi r^2}=\frac{I}{2r}$

⑤ n回巻きのときは磁場の強さがn倍となる。よって、$\dfrac{nI}{2r}$

(2) ① $\dfrac{I}{2\pi r}$ 紙面向う向き

② 円形電流が逆向きで同じ大きさの磁場を生じていれば0になる。

よって、$\dfrac{I}{2\pi r}$ 紙面手前向き

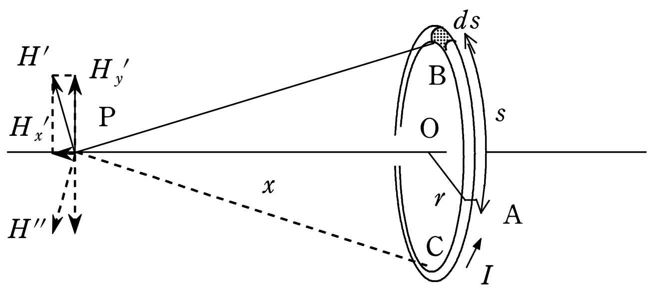
③ 流れる電流をxとすると、$\dfrac{x}{2r}$が円形電流によって生じる磁場である。よって、

$\dfrac{x}{2r}=\dfrac{I}{2\pi r}$ となり、$x=\dfrac{I}{\pi}$ 方向は右ねじの法則より左回りとなる。

解説

(1) ① BO$=r$ PB$=\sqrt{r^2+x^2}$ ② 90°

dsの微小導線をとる。x軸上座標xの位置に点Pをとり、点Pの磁場を求めることにする。点Cを円形電流においてBと反対側の点として以下の問いに答えよ。



① BO、PBの距離をr,xで表せ。

② ds部分の電流の方向と線分PBのなす角は何度か

③ ds部分の電流が点Pに及ぼす磁場H'の強さはいくらか。r,x,ds,Iで表せ。

（ビオサバールの法則$H=\dfrac{Il\sin\theta}{4\pi r^2}$を使え）

④ H'とH'のx成分H_x'ベクトルの作る三角形と△PBOは相似であることを利用し、H'：H_x'をPBとBOの比で表せ。

⑤ B点のds部分がつくるH_x'の大きさをr,x,ds,Iで表せ。

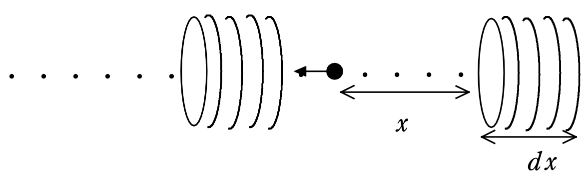
⑥ Cds部分が作る磁場をH''とするとき、H''のy成分と、H'のy成分H_y'とはどのような関係にあるか。

⑦ P点での磁場の方向を答えよ。

⑧ P点の磁場の大きさは⑤を全円周で合計したものである。P点での磁場の大きさを積分形で表せ。

⑨ ⑧の積分を実行することにより、P点での磁場の強さをr,x,Iで表せ。

(2) (1)で求めた磁場の強さはコイル一巻きがコイルの中心軸に生じる磁場の強さである。無限に長いコイル（ソレノイド）の中心軸の磁場の強さを求めるには(1)の磁場をすべての円電流で合計する必要がある。巻密度（ソレノイド1mあたりのまき数）nのソレノイドに関して以下の問いに答えよ。



① 巻き密度nであることを用いてソレノイドの長さがdxであるときの巻き数をn,dxで表せ。

② (1)の結果を用いて円形電流からx離れた位置の円形電流１巻きが作る磁場の強さを答

③ $H'=\dfrac{Ids\cdot\sin 90^\circ}{4\pi(\sqrt{r^2+x^2})^2}=\dfrac{Ids}{4\pi(r^2+x^2)}$

④ H'：H_x'＝PB：BO

⑤ ④ より、$H_x'=\dfrac{BO}{PB}\times H'=\dfrac{Ids}{4\pi(r^2+x^2)}\times\dfrac{r}{\sqrt{r^2+x^2}}=\dfrac{rIds}{4\pi(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}$

⑥ B点とC点から作る磁場はx軸に対して対称になるので、y成分は逆向きで大きさが等しくなる。

⑦ ⑥により、y成分は合成されて0になるので、x成分のみとなる。x軸正の方向

⑧ 円形電流すべての部分が作る磁場を合計すればよいので、区間$0<s<2\pi r$で積分すればよい。

$$\int_0^{2\pi r}\frac{rIds}{4\pi(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

⑨ 被積分関数にsが含まれないので、被積分関数は定数である。

$$\int_0^{2\pi r}\frac{rIds}{4\pi(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}=\frac{rI}{4\pi(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}\int_0^{2\pi r}ds=\frac{rI}{4\pi(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}\times 2\pi r=\frac{r^2I}{2(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}$$

(2) ① ndx ② (1)より、$\dfrac{r^2I}{2(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}$

③ ②は１巻きあたりで①が巻き数なので、$\dfrac{r^2I}{2(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}ndx$

④ $-\infty<x<\infty$

⑤ $\displaystyle\int_{-\infty}^{\infty}\frac{nr^2I}{2(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}dx=\frac{nr^2I}{2}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dx}{(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}$

⑥

この積分は直線電流のときの積分と同じである。

$x=r\tan\theta$と置くと、$\dfrac{dx}{d\theta}=(r\tan\theta)'=\dfrac{r}{\cos^2\theta}$

$$\frac{1}{(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}=\frac{1}{(r^2+r^2\tan^2\theta)^{\frac{3}{2}}}=\frac{\cos^3\theta}{r^3}$$

よって、

$$\frac{nr^2I}{2}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dx}{(r^2+x^2)^{\frac{3}{2}}}=\frac{nr^2I}{2}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\frac{\cos^3\theta}{r^3}\frac{r}{\cos^2\theta}d\theta$$

$$=\frac{nI}{2}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\cos\theta\,d\theta=nI$$

えよ。（使用文字は(1)の文字をそのまま使うものとする。）

③　ソレノイドの中心軸上のある一点Pからx離れた位置のソレノイドの長さdx部分が点Pに作る磁場の強さをI,r,x,dx,nで表せ。

④　P点の磁場の強さはソレノイドすべての部分から生じた磁場の合計となる。xの定義域を答えよ。

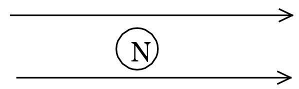
⑤　④の定義域で③を積分すればP点の磁場の強さが求められる。P点の磁場の強さを積分形で表せ。

⑥　⑤を積分することによりソレノイド中心軸上の磁場の強さをn,Iで表せ。

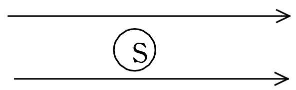
86.　力の方向

(1)　磁力線の向きはN極に作用する磁力の向きとして決められている。下の図における矢印は磁力線である。N、Sの各磁極に作用する力の方向を図示せよ。

①　磁気に作用する力

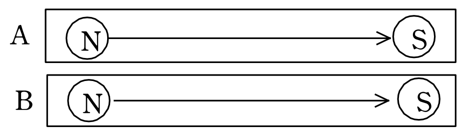


②)　磁気に作用する力



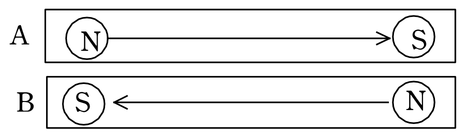
(2)　磁力線はN→Sの向きとなる。磁極は同極どおしは反発し、異なる極どおしには引力が作用することに注目し以下の問いに答えよ。

①　N極からS極に磁力線が走っている
A,Bの棒磁石が同じ向きに並んでいる。
この磁石は反発するか、引き合うか



②　同じ方向の磁力線は引き合うといえるか。
反発するといえるか

③　N極からS極に磁力線が走っている
A,Bの棒磁石が逆向きに並んでいる。
この磁石は反発するか、引き合うか

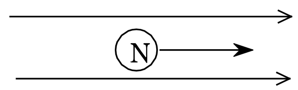


④　逆方向の磁力線は引き合うといえるか。
反発するといえるか

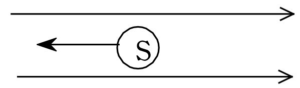
(3)　下の図はN極S極周辺の磁力線を描いたものである。この図について以下の問いに答えよ。

(解説)

(1)　①



②



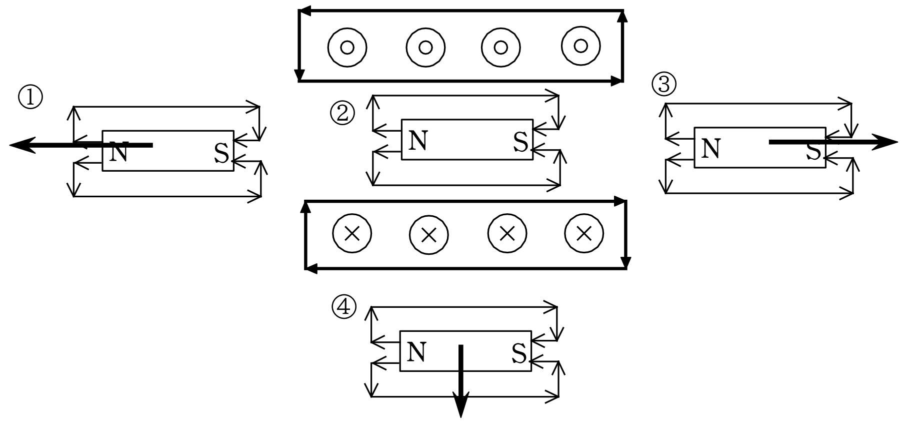
(2)　①　反発　②　反発　③　引き合う　④　引き合う

(3)　①　N極どおしの間にある磁力線が同じ向きなので反発する。

②　S極どおしの間にある磁力線が同じ向きなので反発する。

③　N極とS極の間にある磁力線が逆向きなので、引き合う。

(4)



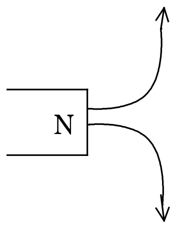
上の図は磁石及びコイル周辺の磁力線を書いたものである。

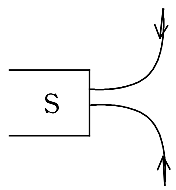
①　N極の磁力線が同じ向きを向いているので反発。磁石は右向きに力を受ける。

②　磁石の上側下側ともにコイルと同じ向きの磁力線なので、磁石の上下から逆向きに力を受け、打ち消しあうので、力が作用しない。

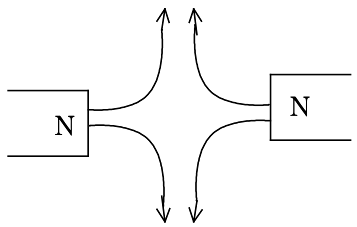
③　S極の右側の磁力線がコイルと同じなので、コイルから反発する。よって、左向きに力を受ける。

④　磁石の上側の磁力線とコイルの下側の磁力線が逆向きなので、引き合う。よって、上向きに力を受ける。

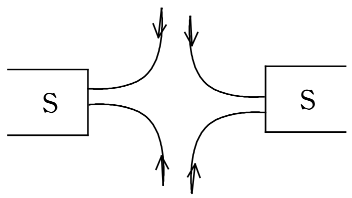




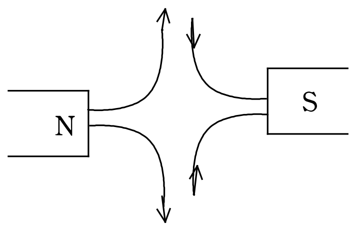
① 右図はN極どおしを近づけた時の
両極の磁力線を図示したものである。
磁力線に注目してこの磁石どおしが
反発することを説明せよ。



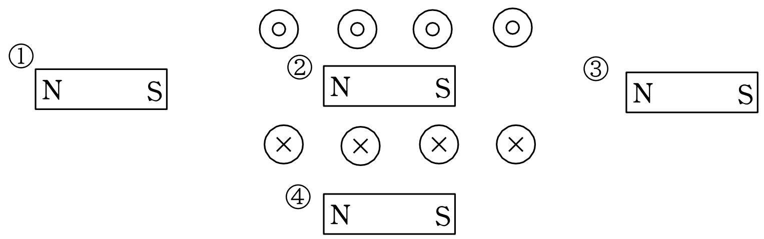
② 右図はN極どおしを近づけた時の
両極の磁力線を図示したものである。
磁力線に注目してこの磁石どおしが
反発することを説明せよ。



③ 右図はN極とS極を近づけたときの
両極の磁力線（合成したものではない）
を図示したものである。この磁力線の
向きに注目して、N極とS極が引き合うこと
を説明せよ。



(4) 下図の丸はコイルの断面を示している。コイルの周辺に棒磁石AからDを置いた。
周りの磁力線の方向に注目しそれぞれの棒磁石がコイルから受ける力の方向を図示せよ。



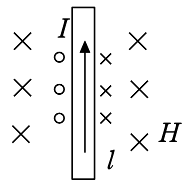
87. 電流どおしに作用する力

(1) 紙面向う向きに磁場の強さHの一様な磁場があり、

解説

(1) ① 磁力線の向きが逆になっている方向に

その中に長さlで電流Iが流れている導線がある。
真空透磁率をμ_0として、以下の問いに答えよ。



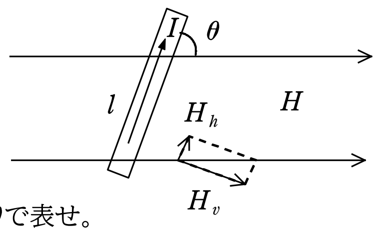
① この導線が外部磁場から受ける力の方向を右図に図示せよ。

② この電流は大きさに関して磁気量いくらの磁気に相当するか。μ_0、I、lで表せ。

③ 磁気量mの磁気が磁場H中にあるときに、この磁気に作用する力の大きさをm,Hで表せ。

④ この導線に作用する力の大きさをμ_0、I、l、Hで表せ。

(2) 右図のように磁場Hと角度θずれた方向に長さlの導線があり、電流Iが流れている。
この導線に作用する力について、真空透磁率をμ_0として、以下の問いに答えよ。



① 磁場Hを電流と平行な成分H_hと垂直な成分H_vに分解したとき、H_h、H_vをそれぞれ、H、θで表せ。

② この導線が磁場H_hから受ける力はいくらか

③ この導線が磁場H_vから受ける力の大きさ及び方向を答えよ。I、l、H_v、μ_0で表せ。

④ この導線が磁場Hから受ける力の大きさ及び方向を答えよ。I、l、H、μ_0で表せ。

(3) 電流の回りには磁場が生じている。磁場どおしに力が作用するので、電流どおしに力が作用することになる。下の図で示すとおり、紙面に垂直で平行なA,B2本の導線が距離r離れており、に紙面向こう向きに電流I_1、I_2が流れている。これについて以下の問いに答えよ。

① 二本の導線の周りに生じている磁力線を上図に作図せよ。

② AB間のAからの磁力線とBからの磁力線は同じ向きか、逆向きか

③ ABの導線どおしは反発力を受けるか、引き合う力を受けるか

④ 導線A、Bがそれぞれ受ける力を作図せよ。

⑤ ④の二本の力の大きさはどのような関係にあるか

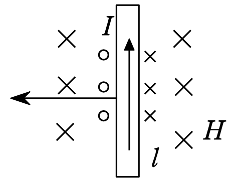
⑥ 導線Aが導線Bの位置に生じさせている磁場の強さをI_1、rで表せ。

⑦ 導線Bの長さlの部分が導線Aから受ける力の大きさをI_1、I_2、r、l、μ_0で表せ。

(2) 次の二本の導線の間に作用する力を作図せよ。

① ②

力が作用する。 右図の通り



② $m=\mu_0 Il$

③ $F=mH$

④ ②③より$F=\mu_0 IlH$

(2) ① $H_h=H\cos\theta$ $H_v=H\sin\theta$

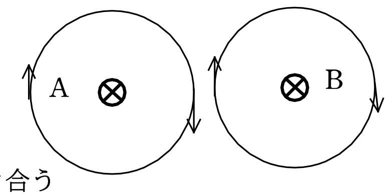
② 電流と同じ方向の磁場は電流が作る磁場と直角になるために電流に対して力を生じさせない。0

③ $F=\mu_0 IlH_v$

④ ②③より、$F=\mu_0 IlH_v=F=\mu_0 IlH\sin\theta$

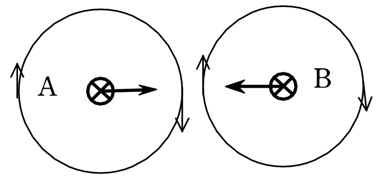
(3)

① 下図の通り



② 逆向き ③ 引き合う

④



⑤ 作用反作用の関係にあるので同一作用線上で逆向き同じ大きさである。
よって、等しい大きさ

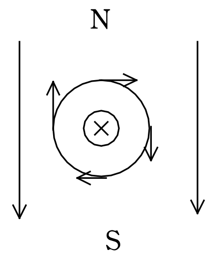
⑥ $H=\dfrac{I_1}{2\pi r}$

⑦ $m=\mu_0 I_2 l$なので、$F=mH=\mu_0 I_2 l\dfrac{I_1}{2\pi r}=\dfrac{\mu_0 lI_1 I_2}{2\pi r}$

⊗　　⊙　　　　⊙　　⊙

88.　電流が磁場から受ける力

(1)　右図のように上から下向きに一様な磁場が働いている空間内に紙面に垂直に導線を設置し向う向きに電流を流した。これに関して以下の問いに答えよ。



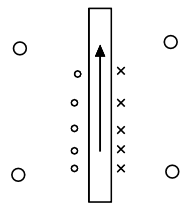
①　導線の左側は導線によって生じた磁力線と外部からの磁力線は反発しているか、引き合っているか

②　導線の右側は導線によって生じた磁力線と外部からの磁力線は反発しているか、引き合っているか

③　導線自体は外部からの磁場によってどの向きに力を受けるか。その方向を矢印で示せ。

(2)　右図のように紙面手前向きに一様な磁場が作用している空間に導線を通し、上向きに電流を流した。図中大きな丸は、外部磁場の方向を意味し、導線のすぐ近くの小さな○×は導線によって生じた磁場の方向を示している。

この図を見て以下の問いに答えよ。

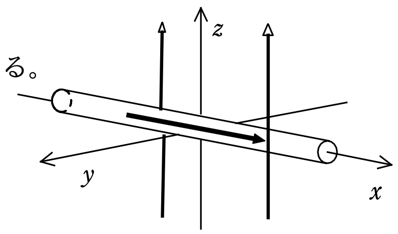


①　導線の左側の磁力線は外部磁場と導線によって生じた磁場は同じ方向か逆向きか、この磁力線は互いに反発するか、引き合うか答えよ。

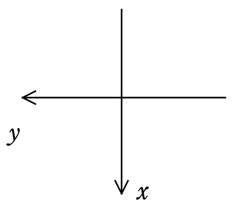
②　導線の右側の磁力線は外部磁場と導線によって生じた磁場は同じ方向か逆向きか、この磁力線は互いに反発するか、引き合うか答えよ。

③　導線自体は外部からの磁場によってどの向きに力を受けるか。その方向を矢印で示せ。

(3)　右図のようなx,y,zを軸とする空間がある。一様な磁場がz軸正の方向に存在し、導線がx軸に沿って設置してある。この導線にx軸正の方向に電流を流した。これについて以下の問いに答えよ。



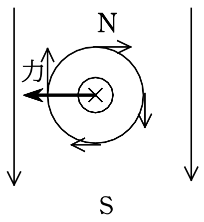
①　x軸正の方向から見た導線を流れる電流と磁場の様子を上図(1)(2)のように図示し、力の作用する方向を示せ。



解説

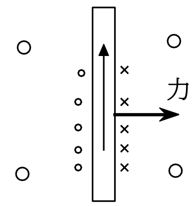
(1)　①　逆向きで引き合う。　②　同じ向きなので、反発する。

③　導線は右側の磁力線から反発され、左側の磁力線に引かれる、左向きに力を受ける。右図



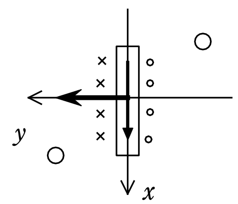
(2)　①　同じ向きで反発する　②　逆向きで引き合う。

③　導線は左側の磁力線から反発され、右側の磁力線に引かれる、右向きに力を受ける。右図

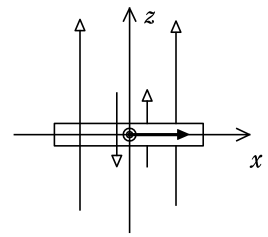


(3)

①

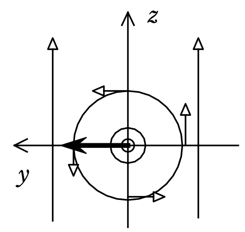


②



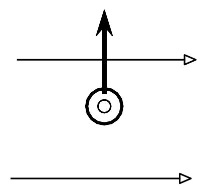
力は手前向き

③

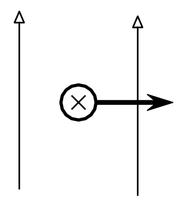


②においては導線の手前側が逆向きで、向こう側が同じ向きなので、力は手前向きとなる。図の描き方は形は変わっても意味が分かるような形であればそれでよい。

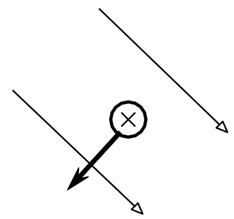
(4)　①



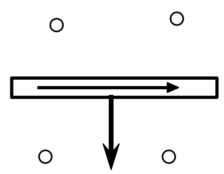
②



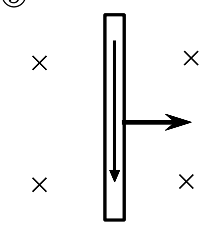
③



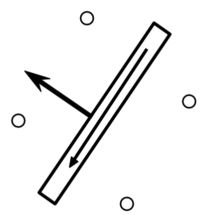
④



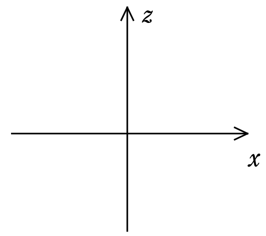
⑤



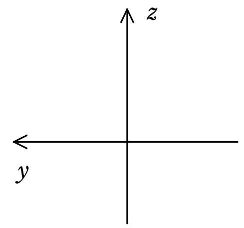
⑥



② y軸正の方向から見た磁場と電流の様子を図示し、力の作用する方向を示せ。

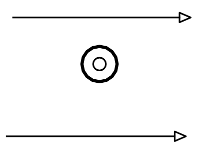


③ x軸正の方向から見た磁場と電流の様子を図示し、力の作用する方向を示せ。

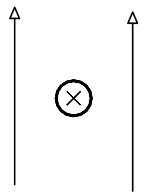


(4) 下の図において長方形は導線であり、導線内の○×矢印は電流の向きを示しており、空間内の○×矢印は外部磁場を示している。下の各場合について導線に作用する力の方向を図示せよ。

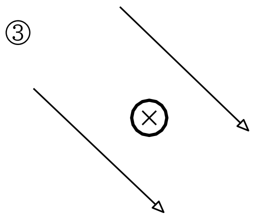
①



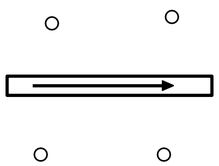
②



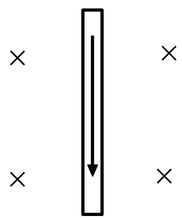
③



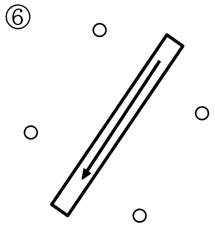
④



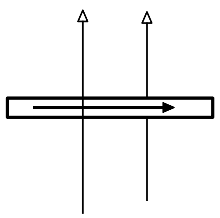
⑤



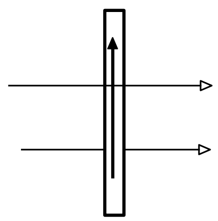
⑥



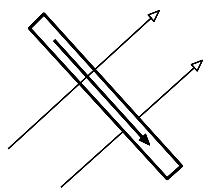
⑦



⑧



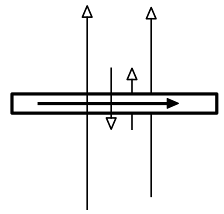
⑨



89. 電流（１A）の定義

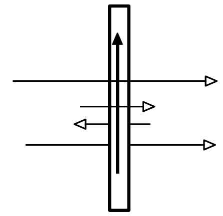
(1) 電流（１A）は1m離れた平行導線に同じ電流を流したとき、導線1mあたりに作用する力の大きさが2×10^{-7}Nのとき、導線に流した電流を1Aと定義している。

⑦



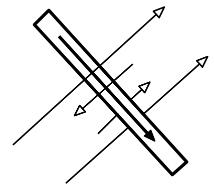
手前向き

⑧



向う向き

⑨



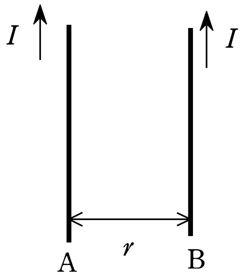
手前向き

解説

(1) ① $\dfrac{I}{2\pi r}$

② AB間の磁力線は逆向きとなるので、引き合う。よって、Bには左向きの力が作用する。

今、r[m]離れた2本の平行導線A,Bに同じ電流I[A]を流した。真空透磁率をμ_0として、以下の問いに答えよ。



① 導線Bの位置に生じる導線Aからの磁場の強さと方向をI,rで表せ。

② 導線Bが導線Aから受ける力の方向を答えよ。

③ 導線Bの長さlあたりに作用する力の大きさをI、r、μ_0、lで表せ。

④ $r=1$m、$l=1$mとしたとき、導線に作用する力の大きさが2×10^{-7}Nのときこの電流は1Aであると定義されている。これを基にして真空透磁率μ_0の値を求めよ。また、真空透磁率の単位も明示せよ。

⑤ 磁気によるクーロンの法則$F=k\dfrac{Mm}{r^2}$における磁気クーロン定数kは$\dfrac{1}{4\pi\mu_0}$で表される。これを用いて磁気クーロン定数の値及び単位を答えよ。

(2) 電磁気関係の単位

電磁気関係にはさまざまな量が定義されており、それに対して単位が決められている。単位が複雑になるので、長さ[m]、時間[s]、質量[kg]、電流[A]を基準として作られている。以下の諸量の次元[MLTA]を例にならって答えよ。

例 仕事[J] $F=ma$ より、[N]=[kgm/s2]=$[M^1L^1T^{-2}A^0]$

$W=Fs$ より、[J]=$[M^1L^1T^{-2}A^0]\times[L^1]=[M^1L^2T^{-2}A^0]$

() 内はそれを誘導する公式を示している。

① 電気量 ($Q=It$)

② 電場 ($F=gE$)

③ 電圧 ($V=Ed$)

④ 電気容量 ($Q=CV$)

⑤ 誘電率 ($E=\dfrac{Q}{\varepsilon_0 S}$)

⑥ 抵抗 ($V=RI$)

⑦ 磁場 ($H=\dfrac{I}{2\pi r}$)

⑧ 磁気量 ($F=mH$)

③ $m=\mu_0 Il$なので、$F=mH=\mu_0 Il\times\dfrac{I}{2\pi r}=\dfrac{\mu_0 I^2 l}{2\pi r}$

④ $F=2\times10^{-7}$、$I=1$、$r=1$、$l=1$を代入すると、

$2\times10^{-7}=\dfrac{\mu_0}{2\pi}$ これより、$\mu_0=4\pi\times10^{-7}$

単位は③式を変形して$\mu_0=\dfrac{2\pi rF}{I^2 l}$。$F$[N]、$r$[m]、$l$[m]、$I$[A]より、[N/A^2]

$\mu_0=4\pi\times10^{-7}$N/A^2

⑤ $k=\dfrac{1}{4\pi\mu_0}=\dfrac{1}{4\pi\times4\pi\times10^{-7}}=\dfrac{10^7}{(4\pi)^2}$

単位は磁気クーロンの法則$F=k\dfrac{Mm}{r^2}$より、$k=\dfrac{Fr^2}{Mm}$なので、[Nm^2/Wb^2]

$k=\dfrac{10^7}{(4\pi)^2}$Nm^2/Wb^2

(2) ① 電気量 ($Q=It$)

$Q=It$より [C]=[As]=$[M^0L^0T^1A^1]$

② 電場 ($F=qE$)

$E=\dfrac{F}{q}$より、[N/C]=[N/As]=[kgm/As^3]=$[M^1L^1T^{-3}A^{-1}]$

③ 電圧 ($V=Ed$)

$V=Ed$=[kgm/As^3]×[m]=[kgm^2/As^3]=$[M^1L^2T^{-3}A^{-1}]$

④ 電気容量 ($Q=CV$)

$C=\dfrac{Q}{V}$より、[C]/[V]=[As]/[kgm^2/As^3]=$[M^0L^0T^1A^1]/[M^1L^2T^{-3}A^{-1}]=$

$[M^{-1}L^{-2}T^4A^2]$

⑤ 誘電率 ($C=\varepsilon_0\dfrac{S}{d}$)

$\varepsilon_0=\dfrac{Cd}{S}$より、[F/m]= $[M^{-1}L^{-2}T^4A^2]/[L^1]=[M^{-1}L^{-3}T^4A^2]$

⑥ 抵抗 $R=\dfrac{V}{I}=[M^1L^2T^{-3}A^{-1}]/[A^1]=[M^1L^2T^{-3}A^{-2}]$

⑦ 磁場 ($H=\dfrac{I}{2\pi r}$) H=[A/m]=$[M^0L^{-1}T^0A^1]$

⑧ 磁気量 ($F=mH$)

$m=\dfrac{F}{H}=[M^1L^1T^{-2}A^0]/[M^0L^{-1}T^0A^1]=[M^1L^2T^{-2}A^{-1}]$