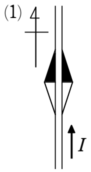
1

水平面内で回転できる磁針が，はじめ南北を指して静止している。次のように電流を流したとき，磁針のＮ極はどのように動くか。



(1)　磁針の真上に南から北へ電流を流す。

(2)　磁針のＮ極の北側で，鉛直上方から下方へ電流を流す。

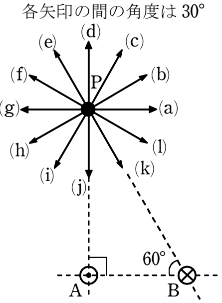
2

次の [　　] に適当な数式，数値または記号を入れよ。

図のように，真空中に紙面に垂直な２本の直線状導線Ａ，Ｂがある。紙面上で，ABを結ぶ直線と垂直に，Ａから距離 r 離れた点をＰとする。このとき，∠ABP＝60° である。

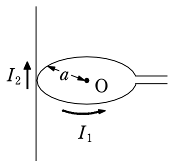
Ａに紙面の裏から表の向きに電流 I_A を，Ｂに表から裏の向きに電流 I_B を流す。このとき，点Ｐに電流 I_A，I_B がつくる磁場をそれぞれ $\overrightarrow{H_A}$，$\overrightarrow{H_B}$ とすると，$\overrightarrow{H_A}$ の強さは $H_A=\dfrac{I_A}{2\pi r}$，$\overrightarrow{H_A}$ の向きは図の [ア] となる。また，$\overrightarrow{H_B}$ の強さは H_B＝[イ]，$\overrightarrow{H_B}$ の向きは図の [ウ] となる。$\overrightarrow{H_A}$ と $\overrightarrow{H_B}$ の合成磁場の向きが図の (d) のとき，I_B＝[エ]$\times I_A$ である。

各矢印の間の角度は 30°



3

図のように，半径 a の円形電流 I_1 と，それがつくる平面に垂直な直線電流 I_2 の導線が接している。ただし，２つの導線は絶縁されている。



(1)　点Ｏにおける磁場の強さ H を求めよ。

(2)　点Ｏにおける磁場の方向と，円形電流の平面とのなす角を θ とする。$\tan\theta$ の値を求めよ。

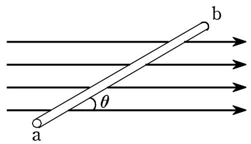
4

40 cm の長さの筒にエナメル線を一様に1600回巻いた細長いコイルがある。このコイルの軸を地磁気の方向に向け，コイルの内部で地球磁場を打ち消すには，何Ａの電流を流したらよいか。ただし，地磁気の強さを 30 A/m とする。

5

磁束密度 1.5 T の一様な磁場中に，磁場となす角を θ として，長さ 0.20 m の導線 ab を置く。

電流が a → b の向きに 2.0 A で θ＝30° のとき，導線 ab が受ける力 F の大きさと向きを求めよ。



6

図はモーターの原理を表している。図２は，図１の半回転後を示す。ブラシは図のように，電池の正，負極につないである。

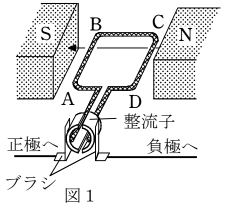


図１

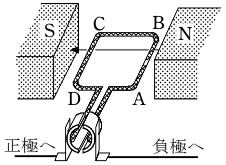


図２

(1)　図１で，辺AB，辺CDにはたらく力の向きはどの向きか。

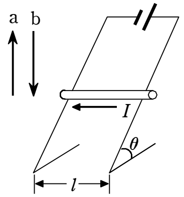
(2)　図２で，辺AB，辺CDにはたらく力の向きはどの向きか。

(3)　整流子はどのようなはたらきをしているか。

(4)　ブラシ・整流子の側からコイルを見たとき，コイルは時計回り，反時計回りのどちらに回転しているか。

7

鉛直方向の磁場の中に，間隔 l の２本の導線が水平面から θ 傾けて固定してある。この導線に質量 m の金属パイプを水平にのせ，電源を接続すると，パイプは導線上で静止した。このとき回路に流れた電流は I であった。また，導線とパイプの間に摩擦はないものとし，重力加速度の大きさを g とする。



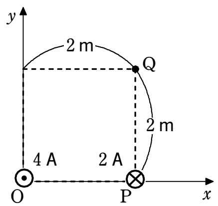
(1)　磁場の向きは図のａ，ｂのどちらか。

(2)　磁場の磁束密度 B の大きさを求めよ。

(3)　電源の電圧を大きくすると，パイプはどのような状態になると考えられるか。

8

図のように，xy 水平面上の原点Ｏを通り鉛直上向き(紙面の裏から表の向き)に 4 A の直線電流，原点から 2 m 離れた x 軸上の点Ｐを通り鉛直下向き(紙面の表から裏の向き)に 2 A の直線電流が流れている。



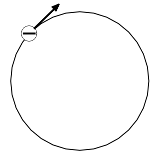
(1)　原点を通る直線電流 1 m 当たりにはたらく力の大きさと向きを求めよ。ただし，距離 1 m 離れ，1 A の大きさの直線電流が互いに平行に流れているとき，直線電流 1 m 当たりにはたらく力の大きさは 2×10^{-7} N である。

(2)　x 軸上の点Ｐから y 軸の正の向きに 2 m 離れた xy 平面内の点Ｑでの磁束密度の大きさと向きを求めよ。

(3)　点Ｑを通り鉛直上向きに 10 A の電流を流した。この直線電流 1 m 当たりにはたらく力の大きさと向きを求めよ。

9

質量 m〔kg〕，電気量 $-e$〔C〕の電子が磁束密度 B〔T〕の磁場中において，磁場の方向に垂直な面内で v〔m/s〕の速さで，図に示す向きに円運動をしている。



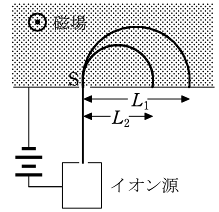
(1)　磁場の向きを答えよ。

(2)　円運動の半径 R〔m〕を求めよ。

(3)　円運動の周期 T〔s〕を求めよ。

10

図のように，初速度０でイオン源から出たイオンを電位差 V〔V〕で加速し，スリットＳから磁束密度 B〔Wb/m²〕の一様な磁場中に垂直に入射させる装置を真空中においた。質量が M_1〔kg〕と M_2〔kg〕で，電荷がいずれも q〔C〕であるような２種類のイオンを入射させたところ，いずれも磁場中で円軌道を描いて半周した後に，Ｓからの距離がそれぞれ L_1〔m〕と L_2〔m〕の点に達した。質量 M_1 のイオンの磁場中での速さを v_1〔m/s〕とする。



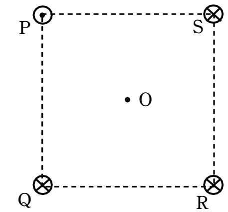
(1)　v_1 を M_1，q，V を用いて表せ。

(2)　L_1 を M_1，v_1，q，B を用いて表せ。

(3)　$\dfrac{L_1}{L_2}$ を M_1，M_2 を用いて表せ。

11

４本の平行な長い直線の導線Ｐ，Ｑ，Ｒ，Ｓが図のように正方形の４頂点の位置に並べられ，Ｐには紙面の裏から表の向き，Ｑ，Ｒ，Ｓには表から裏の向きにそれぞれ 20 A の電流が流れている。正方形の１辺の長さを 10 cm とし，真空の透磁率を $4\pi\times10^{-7}$ N/A²，$\sqrt{2}=1.41$ とする。



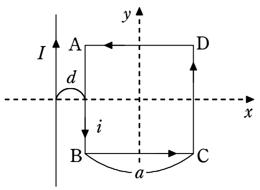
(1)　正方形PQRSの中心Ｏにおける磁場 H_O の強さとその向きを求めよ。

(2)　導線Ｐの受ける単位長さ (1 m) 当たりの力の大きさとその向きを求めよ。

ヒント　(2)　平行電流は，同じ向きなら引力，反対向きなら斥力を及ぼしあう。

12

図のように，直線状導線（y 軸に平行）と１辺の長さ a〔m〕の正方形コイル ABCD が同一平面内に置かれ，直線状導線には電流 I〔A〕が，正方形コイルには電流 i〔A〕が，それぞれ図の矢印の向きに流れている。正方形コイルの辺 AD は x 軸に平行であり，辺 AB は y 軸に平行である。空気の透磁率を μ_0〔N/A^2〕とする。



(1)　このとき，直線電流が正方形コイルの辺 AB，BC，CD，DA に及ぼす力の向きをそれぞれ求めよ。

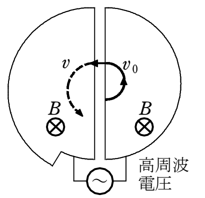
(2)　正方形コイルの辺 AB と直線状導線との距離を d〔m〕にしたとき，直線電流が正方形コイルの辺 AB に及ぼす力の大きさ F_1〔N〕を求めよ。

(3)　(2) の場合，直線電流がコイル全体に及ぼす力の大きさ F〔N〕とその向きを求めよ。

ヒント　(3)　直線電流がコイル全体に及ぼす力は，コイル各辺に及ぼす力の合力である。

13

図は荷電粒子を磁場の中で円運動を行わせながらくり返し加速するサイクロトロンの原理を示すものである。左右の半円筒形の電極（ディーという）は内部が中空になっており，ディーの部分には紙面に垂直に表から裏の向きに磁束密度 B の一様な磁場が与えられている。質量 m，電荷 q の荷電粒子はディーの内部では円運動を行い，ディーの間隙を通過するときだけ高周波電圧により加速される。はじめ粒子は，ディーおよび磁場に垂直に速さ v_0 で入射し，図のような軌道を描いた。



(1)　図の荷電粒子の電荷は正，負のどちらか。

(2)　粒子が磁場から受ける力の大きさ F を求めよ。

(3)　粒子が描く円軌道の半径 r_0 を求めよ。

(4)　粒子がはじめ，ディーの中を半周するのにかかる時間を求めよ。

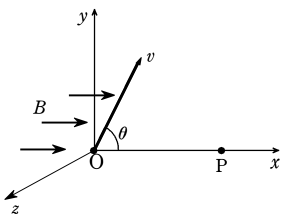
高周波電圧の周期は粒子の円運動の周期に等しいように設計され，粒子が効率的に加速されるようになっている。粒子は速さ v_0 でディーを垂直に飛び出した。ディーの間隙で加速された粒子は，隣のディーの中でより大きな円軌道を描く。

(5)　粒子が間隙を通過する間，２つのディーの間の電位差を一定とみなしこれを V とする。間隙を通過するとき粒子が得るエネルギーを求めよ。また，速さ v_0 でディーを垂直に飛び出した粒子が隣のディーに進入する際の速さ v と新たな円運動の半径 r を求めよ。

ヒント　(5)　荷電粒子は，電位差による仕事 qV の分だけ運動エネルギーが増える。

14

図のように，x 軸の正の向きに磁束密度 B の一様な磁場を加え，原点 O に速さ v で，xy 平面内で x 軸と角 θ をなす方向に，電子（質量 m，電荷 $-e$）を進入させる。その後の電子の運動について，次の問いに答えよ。



(1)　$\theta=0°$ のとき，電子はどのような運動をするか。

(2)　$\theta=90°$ のとき

(a)　電子は磁場に垂直な yz 平面内で等速円運動をする。この電子の円運動の半径 r および周期 T を求めよ。

(b)　電子が $\theta=90°$ の方向へ直進するためには，どのような電場 E を加えればよいか。また，このときの v，B，E の間の関係式を示せ。

(3)　$0°<\theta<90°$ のとき

(a)　電子はどのような運動をするか。

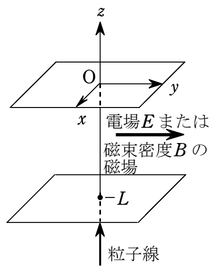
(b)　電子は点 O を出てから再び x 軸上の点 P を通る。点 O から点 P へ至るまでの時間 t および OP 間の距離 l を求めよ。

(c)　(b) で求めた時間あるいは距離を実験的に測定する。さらに，電子のかわりに１価の原子のイオンを進入させて，同様な測定を行う。これらの測定値の比較から，どのような物理量が求められるか。

ヒント　(3)　x 軸方向は等速直線運動，yz 平面方向は等速円運動と同等の運動を行う。

15

図のように，$-L<z<0$ の領域に一様な電場または磁場を y 軸方向に加える。この領域に z 軸上を負の向きから粒子線が入射する。$z=0$ の平面には，粒子の位置を検出する装置が置かれている。



(1)　電場 E のみを加え，速度 v の水素イオンを入射したとき，$z=0$ における粒子の検出位置の座標 $(x_1,\ y_1)$ を求めよ。ただし，水素イオンの質量を m，電荷を e とする。

(2)　次に，磁束密度 B の磁場のみを加え，(1) と同様な実験を行ったときの粒子の検出位置の座標 $(x_2,\ y_2)$ を求めよ。ただし，磁場による粒子線の曲げられ方は小さいとし，必要に応じて小さい角度 θ〔rad〕について，次の近似式

$\cos\theta \fallingdotseq 1-\dfrac{\theta^2}{2}$，$\sin\theta \fallingdotseq \theta$，$\tan\theta \fallingdotseq \theta$ を用いよ。

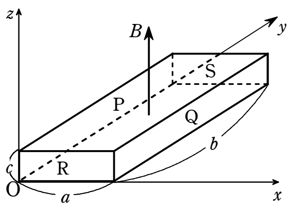
(3)　粒子の比電荷 $\dfrac{e}{m}$ を (1)，(2) で求めた検出位置と E，B および L から決定する式を求めよ。

(4)　水素イオンのかわりに速度 v の α 線（質量 $4m$，電荷 $2e$）を用いたとき，(1)，(2) の検出位置 $(x_1',\ y_1')$，$(x_2',\ y_2')$ を求めよ。

ヒント　(2)　水素イオンは磁場に垂直な xz 平面内で等速円運動する。

16

半導体を用いて磁束密度を測定する。図のように x，y，z 軸をとり，電流の担い手が電子である半導体を置く。この半導体は x，y，z 方向の長さが a，b，c の直方体である。x 軸に垂直な面を P，Q で，y 軸に垂直な面を R，S で表す。



(1)　半導体の面 R から面 S に向かって y 軸の正の向きに電流 I〔A〕を流した状態で，磁束密度 B〔T〕の一様な磁場が z 軸の正の向きに加わるようにする。このとき，半導体の内部を平均の速さ v〔m/s〕で y 軸方向に移動する電子（電気量 $-e$〔C〕）は，磁場から力 F〔N〕を受ける。F の向きと大きさを答えよ。

(2)　x 軸方向に電流を取り出さないものとすると，この方向に電場 E_x〔V/m〕が現れる。

①　電場 E_x が生じる理由を述べよ。

②　電場 E_x の大きさを求めよ。

③　定常状態で，面 P と面 Q の間に生じる電位差 V_x〔V〕を求めよ。

④　電位が高いのは面 P，面 Q のどちらか。

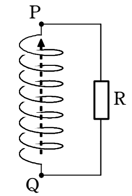
(3)　半導体内の 1 m^3 当たりの自由電子の数を n〔/m^3〕とする。電子が移動する平均の速さ v を，電流 I の関数として表せ。

(4)　$a=5.0\times10^{-3}$ m，$b=1.0\times10^{-2}$ m，$c=5.0\times10^{-4}$ m，$n=2.5\times10^{19}$ /m^3 の半導体を用いて磁束密度を測定した。半導体に流す電流を $I=2.0\times10^{-2}$ A としたとき，面 P と面 Q の間の電位差は $V_x=5.0\times10^{-3}$ V であった。磁束密度 B の大きさを求めよ。ただし，$e=1.6\times10^{-19}$ C とせよ。

ヒント　(2)　定常状態では，自由電子にはたらくローレンツ力と静電気力がつりあっている。

17

断面積が 0.10 m^2 のコイル PQ と抵抗 R を含む図のような回路がある。このコイルを貫く磁束密度を Q から P の向きに毎秒 1.5×10^{-2} T の割合で増加させた。コイルの巻数 N は 2.0×10^3 であり，コイルの電気抵抗は考えない。



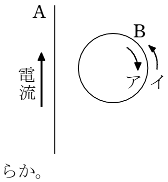
(1)　コイルには誘導起電力が生じる。P と Q ではどちらが高電位か。

(2)　この起電力の大きさはいくらか。

(3)　抵抗 R が 5.0 Ω のとき，回路に流れる電流はいくらか。

18

図のように，直線導線 A と円形コイル B を紙面内に置く。導線 A には矢印の向きに電流を流しておく。

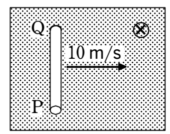


(1)　導線 A の電流を減少させているとき，コイル B を流れる誘導電流の向きは，図の矢印ア，イのどちらか。

(2)　導線 A の電流の大きさは一定にしておき，コイル B を導線 A から遠ざけるように紙面内で右方へ動かす。このとき，コイル B を流れる誘導電流の向きは，図の矢印ア，イのどちらか。

19

磁束密度が 1.0×10^{-2} T の磁場中に，磁場に対して垂直に金属棒 PQ　（長さ 0.50 m）を置く。磁場は紙面に垂直で，紙面の表から裏へ向かう向きである。この棒を，図のように磁場にも棒にも垂直な向きに速さ 10 m/s で動かす。

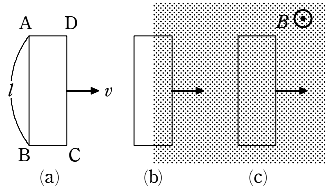


(1)　PQ 間に生じる誘導起電力の大きさ V〔V〕を求めよ。

(2)　図において，正の電荷が現れるのは，P 端か，Q 端か。

20

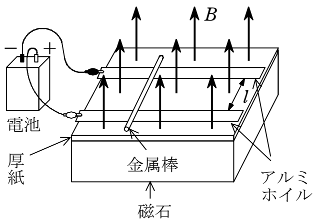
図のように，影をつけた長方形の領域に，磁束密度 $B=10$ T の一様な磁場（紙面の裏→表）がある。そこに，AB の長さが $l=0.1$ m の１巻きコイル ABCD を，一定の速さ $v=0.1$ m/s で磁場と垂直に挿入する。コイル全体の抵抗値を $R=0.1\ \Omega$ とする。



(1)　図の (a)，(b) および (c) の各状態で，コイルに流れる電流の大きさをそれぞれ求めよ。
(2)　図の (b) の状態のとき，コイルに流れる電流が磁場から受ける力の大きさと向きを求めよ。
(3)　このとき，コイルを挿入する速さを一定に保つために，外から加える力がする仕事率を求めよ。
(4)　このとき，コイルの抵抗で消費される電力を求めよ。

21

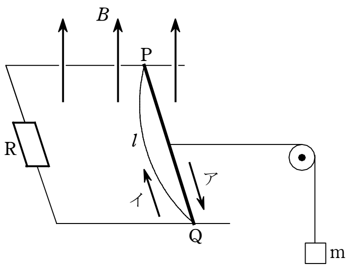
磁石の上に厚紙をのせ，そこにアルミホイルで間隔 l〔m〕のレールを作る。磁石の上面には鉛直上向きに磁束密度 B〔T〕の磁場が生じている。レールの左端を起電力 V〔V〕の電池につなぎ，レールと直角に金属棒をのせると，金属棒は動いた。金属棒のレール間の部分の電気抵抗を R〔Ω〕，他の部分の電気抵抗はないものとする。



(1)　レールに金属棒をのせた直後，金属棒に流れる電流は何 A か。
(2)　このとき，金属棒にはたらく力はどちら向きに何 N か。
(3)　金属棒の速さはやがてレール上で一定となる。その速さは何 m/s か。

22

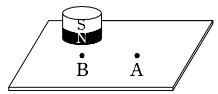
鉛直上向きの一様な磁束密度 B〔T〕の磁場中に，水平に置かれた図のような回路がある。R は R〔Ω〕の抵抗，m は質量 m〔kg〕のおもり，PQ はコの字形の導線上を長方形を描きながらなめらかに動く長さ l〔m〕の軽い導線である。鉛直につるされたおもり m は，なめらかに動く軽い滑車を通して，PQ に軽いひもでつながれている。なお，重力加速度の大きさを g〔m/s²〕とする。



(1)　おもりの速さが v〔m/s〕のとき，回路に生じる誘導起電力は何 V か。
(2)　導線 PQ を流れる電流の大きさは何 A か。その向きは図のアとイのどちらか。
(3)　導線 PQ が磁場から受ける力の大きさは何 N か。
(4)　このときのおもりの加速度の大きさは何 m/s² か。
(5)　やがておもりは一定の速さで落下する。このときの速さは何 m/s か。
(6)　このとき，おもりに作用する重力が１秒間にする仕事は何 J か。
(7)　このとき，抵抗 R で１秒間に発生するジュール熱は何 J か。

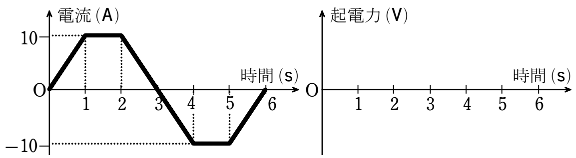
23

図のように，N 極が下になるように，磁石を銅板の点 B 付近に近づけておく。次に，この磁石を銅板にそって点 A に向かってすばやく動かす。このとき，点 A，B のまわりに生じる過電流の向きは，上から見てそれぞれ時計回りか反時計回りのどちらか。



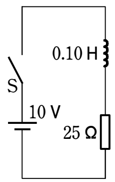
24

自己インダクタンスが 0.01 H のコイルに，図に示すような電流を流した。このとき，このコイルに生じる誘導起電力（正の誘導電流を流そうとする向きを正とする）を右のグラフに示せ。コイルの抵抗は無視する。



25

図のような，自己インダクタンス 0.10 H のコイル，25 Ω の抵抗，電圧 10 V の電源，スイッチ S からなる回路がある。



(1)　S を閉じた直後に，回路に流れる電流 I_0 は何 A か。
(2)　S を閉じてから十分に時間が経過したとき，回路に流れる電流 I_1 は何 A か。
(3)　(2) のとき，コイルに蓄えられるエネルギー U は何 J か。

26

図１のように，コイル１とコイル２が鉄心に巻いてある。コイル間の相互インダクタンスが 0.02 H のとき，コイル１に図２に示すような，時間とともに変化する電流 I_1（図の右回りに流れるときを正とする）を流すと，コイル２の端子電圧 V_2（図の右回りに誘導電流が流れるときを正とする）はどのようになるか。グラフで示せ。

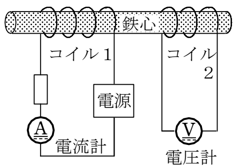


図１

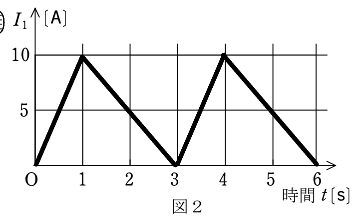
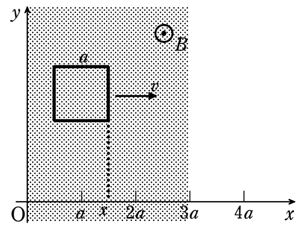


図２

27

図のように，$0<x<3a$ の範囲だけに，紙面に垂直で裏から表へ向かう一様な磁束密度 B の磁場がある。１辺の長さ a の正方形の１巻きコイル（全抵抗 R）を紙面上に置き，x 軸に平行な矢印の向きに，一定の速さ v で磁場を通過させる。コイルが最初に磁場の左端にさしかかる位置を原点（$x=0$）として，以後のコイルの位置を x で表す。

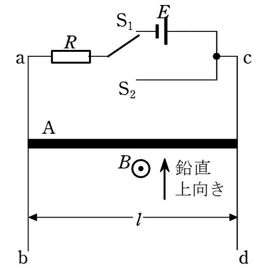


(1)　コイルを貫通する磁束の大きさ Φ を x の関数としてグラフに描き，その最大値を縦軸に記入せよ。
(2)　コイルに発生する誘導起電力 V を x の関数としてグラフに描け。ただし，最初に発生した誘導起電力の向きを正とし，その正または負の最大値を縦軸に記入せよ。
(3)　コイルの速度を一定に保つために必要な力 F を x の関数としてグラフに描け。ただし，右向きを正とし，その正または負の最大値を縦軸に記入せよ。

ヒント　コイルを貫く磁束が変化するとき，コイルに誘導起電力が生じる。コイル全体が磁場の中にいるときには誘導起電力は生じない。

28

図のように，内部抵抗の無視できる起電力 E の電池，抵抗値 R の抵抗およびスイッチからなる回路がある。回路内の ab と cd は間隔 l だけ離れて鉛直方向に立てられ，それに接した長さ l，質量 m の導体棒 A が水平に配置されている。A は鉛直方向のみに，ab，cd に接しながらなめらかに動くようになっている。また，磁束密度 B の一様な磁場（磁界）が回路に垂直に，紙面の裏から表の向きに加えられている。重力加速度の大きさを g とし，回路内の導体の抵抗は無視する。

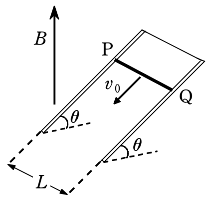


(1)　A を支えたままスイッチを S_1 に入れた。その後，支えをとると，A は鉛直上向きへ動きだした。速さが v のときの電流 I を求めよ。
(2)　しばらくすると一定の速さになった。この速さ v_1 を求めよ。
(3)　このとき，単位時間に，電池がする仕事 W，抵抗で発生するジュール熱 Q，A が得る重力による位置エネルギー U を，それぞれ求めよ。また，W，Q，U の間に成りたつ関係式を求めよ。
(4)　A が一定の速さになった後，スイッチを S_2 に入れたところ，A は少し上昇した後に落下を始め，しばらくすると一定の速さになった。この速さ v_2 を求めよ。

ヒント　導体棒 A に生じる誘導起電力も含めて，閉回路にキルヒホッフの法則Ⅱを適用する。

29

図のように，磁束密度 B の鉛直上向きの一様な磁場中に，間隔 L の２本の平行導体レールが水平に対して角度 θ で固定されている。２本のレールは上端で導線により接続されている。このレール上に水平に長さ L，質量 m，電気抵抗 R の導体棒 PQ をおく。この棒に大きさ v_0 の初速度をレールにそって下向きに与えると，その後棒は水平を保ち，一定の速さ v_0 のままレールにそって降下を続けた。レールと棒との摩擦および棒以外の部分の電気抵抗はないものとし，重力加速度の大きさを g とする。



(1)　棒を流れる電流の大きさ I と向きを求めよ。I は v_0，R，B，L，θ を用いて表せ。

(2)　棒にはたらく力のつりあいから速さ v_0 を，R，B，m，g，L，θ を用いて表せ。

(3)　棒で単位時間に発生するジュール熱 Q を，R，B，m，g，L，θ を用いて表せ。

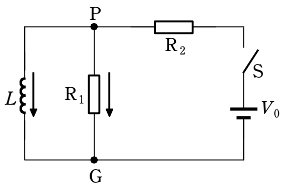
(4)　このジュール熱は何によって供給されているか。

(5)　磁束密度 B の向きが鉛直下向きのとき，(1)〜(4) の結果はどう変わるか。

ヒント　(2)　重力の斜面方向成分と磁場が及ぼす力の斜面方向成分とがつりあう。

30

図のような，自己インダクタンス L のコイル，抵抗値 R_1，R_2 の２つの抵抗 R_1，R_2，電圧 V_0 の電源，スイッチ S からなる回路がある。電流は図の矢印の向きを正，GP 間の電圧は P 側が高電位のときを正とする。



(1)　S を閉じて十分に時間が経過したとき，コイルに流れる電流 I_0 を求めよ。

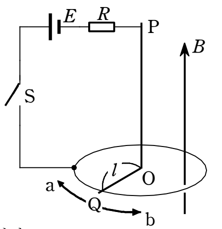
(2)　その後，S を開いた。その直後，抵抗 R_1 に流れる電流 I と PG 間の電圧 V を求めよ。

(3)　S を開いた後で，抵抗 R_1 で消費されるエネルギーの総量 Q を求めよ。

ヒント　(2)　S を開いた直後，コイルに電流の減少を妨げるような誘導起電力が生じ，電流は P → コイル → G の向きに流れる。

31

磁束密度 B の一様な磁場の中に，磁場に垂直に半径 l の円形導線と L 字形の導体棒 (POQ) が，図のように置かれている。POQ は Q 端が円形導線に触れながら PO を中心に回転でき，円形導線と L 字形の導体棒は起電力 E の電池，抵抗値 R の抵抗に接続されている。スイッチ S を閉じると POQ が回転を始めた。POQ と接点での摩擦，POQ の抵抗はないものとする。



(1)　POQ の回転の向きは a，b のどちらか。

(2)　スイッチ S を閉じた直後，POQ に流れる電流 I_0 を求めよ。

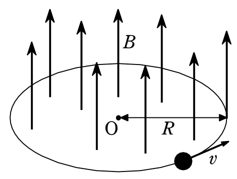
(3)　十分時間が経過した後，POQ は一定の角速度 ω で回転する。この ω を求めよ。

ヒント　(3)　OQ 部分に生じる誘導起電力の大きさが E と等しくなると，回路に電流が流れなくなり，導体棒は等速度で回転する。

32

電子加速器ベータトロンについて考える。

電荷 $-e\,(e>0)$，質量 m の電子が，一様な磁束密度 B の磁場中を，速さ v で，原点 O を中心とする半径 R の等速円運動をしている。ただし，磁場は円を含む平面に垂直であるものとする。



(1)　電子の運動量の大きさ P を e，R，B を用いて表せ。

たとえ電子が描く円の内部で磁束密度が一様でなくても，磁場が時間的に変化しない場合には，円周上で磁束密度が B であるかぎり，電子は同じ等速円運動をする。

さて，時間 Δt の間に，円内部の磁束密度の平均値 $\overline{B}$ が $\Delta\overline{B}$ 増加した場合を考える。ただし，円の内部の磁場の強さは時間と円の中心軸からの距離だけに依存するものとする。このとき電子には，半径 R の円周上の接線方向に力がはたらく。

(2)　電子が円周上の接線方向に受ける力の大きさを求めよ。

(3)　時間 Δt の間に増加した運動量の大きさ ΔP を求めよ。

円内部の磁場の増加に加え，電子の軌道上の磁束密度も適当な大きさ ΔB だけ増加させることにより，同じ半径 R の円運動を維持させることができる。

(4)　半径 R の円運動を維持するために必要な円周上の磁束密度の増加 ΔB と，円内部の平均磁束密度の増加 $\Delta\overline{B}$ の間の関係式を求めよ。

ヒント　(2)　円周上に生じる誘導起電力の大きさ＝円周上の電場の強さ×円周の長さ

33

周波数 50 Hz，電圧の実効値 100 V の交流電源に 100 Ω の抵抗をつなぐ。以下の問いに有効数字２桁で答えよ。

(1)　抵抗を流れる交流電流の周波数 f は何 Hz か。

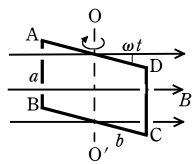
(2)　抵抗を流れる交流電流の実効値 I_e は何 A か。

(3)　抵抗を流れる交流電流の最大値 I_0 は何 A か。

34

次の文中の □ を正しく埋めよ。

図のように，磁束密度 B [T] の一様な磁場の中で，１回巻きの長方形のコイル ABCD (AB＝a [m]，BC＝b [m]) を，磁場の方向に垂直で AD と BC の中点を通る中心軸 OO′ のまわりに，一定の角速度 ω [rad/s] で O 側から見て時計回りに回転させる。コイルの抵抗は R [Ω] であり，その自己インダクタンスは無視する。AD が図のように磁場の方向と角度 ωt [rad] $\left(0<\omega t<\dfrac{\pi}{2}\right)$ をなす位置にきたとき，コイルを貫く磁束は ア [Wb] である。

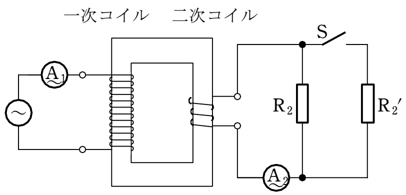


このとき，AB と CD は速さ イ [m/s] で等速円運動をしており，磁場に垂直な方向には ウ [m/s] の速さで動いているので，磁場の方向から見たコイルの面積が増加する。それにつれて，コイルを貫く磁束が増加し，その変化率は エ [Wb/s] である。したがって，コイルには大きさ オ [V] の誘導起電力が生じ，カ [A] の誘導電流が キ の向きに流れる。

35

次の □ に適当な数値を入れよ。

図のように，変圧器の一次コイルを内部抵抗の無視できる電流計 A_1 を通して 100 V (実効値) の交流電源につなぎ，二次コイルには内部抵抗 0.50 Ω の電流計 A_2，抵抗 R_2，R_2' およびスイッチ S がつないである。変圧器は電力の損失のない理想的なものとする。



今，スイッチ S を開いた状態で A_1，A_2 はそれぞれ 0.12 A，2.0 A を示した。抵抗 R_2 は 1 Ω である。次に，S を閉じると，A_2 は 3.0 A を示した。抵抗 R_2' は 2 Ω である。また，S を閉じた状態で抵抗 R_2 によって消費される電力は 3 W である。

36

発電所から交流の電気を送り出すとき，変圧器によって電圧を上げる理由について考える。送電する電力 P は，$P=IV$ (I：電流，V：電圧) で表されるとする。

(1)　送電電圧を 10 倍にしたとき，送電線を流れる電流は何倍になるか。

(2)　送電電圧を 10 倍にしたとき，送電線で熱として失われる電力は何倍になるか。ただし，送電線の抵抗値は常に一定であるとする。

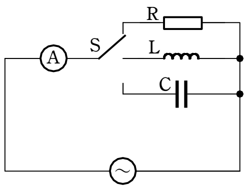
37

周波数 f の交流に対する抵抗，コイル，コンデンサーの性質を下の表にまとめた。抵抗値を R，コイルの自己インダクタンスを L，コンデンサーの電気容量を C として，表の (a)〜(d) に入る文章，(e) に入る式を示せ。

	抵抗または リアクタンス	流れる電流と 周波数との関係	電源電圧に対する電流の位相
抵抗	R	(a)	同じ
コイル	$2\pi fL$	(b)	(c)
コンデンサー	(e)	f が大きいほど電流は流れやすい。	(d)

$\boxed{38}$

出力の周波数を変えることができる交流電源があり，その出力電圧の実効値は周波数によらず，一定値60 V に保たれている。交流電源の周波数を f［Hz］とし，これを図に示す回路に接続した。ここで，R，L，C はそれぞれ抵抗，コイル，コンデンサー，S は切りかえスイッチ，Ⓐ は実効値を指示する交流電流計である。S を切りかえて，回路を流れる電流を測定したところ，表の結果を得た。



	Ⓐの指示値（A）
S を R に接続	1.5
S を L に接続	2.0
S を C に接続	1.0

(1)　実験に用いた抵抗の値 R，コイルのリアクタンス X_L およびコンデンサーのリアクタンス X_C はそれぞれ何 Ω か。

(2)　図の回路で交流電源の周波数を $2f$［Hz］に変え，S を切りかえて，抵抗，コイル，コンデンサーを流れる電流を測定した。Ⓐ の指示値 I_R，I_L，I_C はそれぞれ何 A か。

$\boxed{39}$

抵抗値 R の抵抗，自己インダクタンス L のコイル，電気容量 C のコンデンサーと角周波数 ω の電圧 $V=V_0\sin\omega t$ (t は時刻) の交流電源がある。

抵抗，コイル，コンデンサーそれぞれに，電圧 V を加えた。

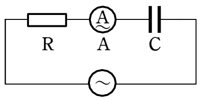
(1)　抵抗に流れる電流 (瞬時値) および電力 (平均値) を，R，V_0，ω，t のうち必要なものを用いて表せ。

(2)　コイルに流れる電流 (瞬時値) および電力 (平均値) を，L，V_0，ω，t のうち必要なものを用いて表せ。

(3)　コンデンサーに流れる電流 (瞬時値) および電力 (平均値) を，C，V_0，ω，t のうち必要なものを用いて表せ。

$\boxed{40}$

図のように，100 Ω の抵抗 R，交流電流計 A，コンデンサー C を直列に接続し，周波数 50 Hz の 100 V の交流電源をつないだ。このとき，電流計 A の読みが 0.5 A であった。



(1)　この R，C 直列回路のインピーダンス Z［Ω］を求めよ。

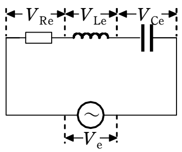
(2)　コンデンサー C に加わる電圧 (実効値) V_{Ce}［V］を求めよ。

(3)　コンデンサー C の電気容量 C［F］を求めよ。

(4)　抵抗 R とコンデンサー C での消費電力の時間平均 $\overline{P_R}$，$\overline{P_C}$［W］をそれぞれ求めよ。

$\boxed{41}$

図のように抵抗値 R の抵抗，自己インダクタンス L のコイル，電気容量 C のコンデンサーを交流電源に直列に接続した回路がある。抵抗，コイル，コンデンサーに加わる電圧の実効値をそれぞれ V_{Re}，V_{Le}，V_{Ce} とし，また交流電源の周波数を f，電源電圧の実効値を V_e とする。



(1)　コイルとコンデンサーのリアクタンス X_L，X_C をそれぞれ求めよ。

(2)　電源電圧の実効値 V_e を V_{Re}，V_{Le}，V_{Ce} で表せ。

(3)　回路に流れる電流の実効値 I_e を求めよ。

(4)　交流の周波数を変化させると I_e は増加した。回路全体の抵抗のはたらき (インピーダンス) はどのようになっているか。詳しく述べよ。

(5)　さらに周波数を変化させると，I_e が最大となった。そのときの周波数 f_0 を求めよ。

$\boxed{42}$

図 1 の回路で E は起電力 6.0 V の電池，C はコンデンサー，L は自己インダクタンス 2.0 H のコイル，S はスイッチである。

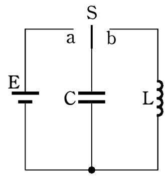


図 1

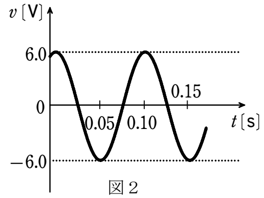


図 2

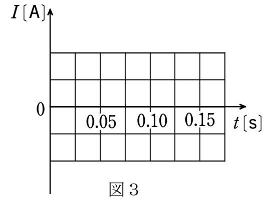


図 3

(1)　S を a 側に入れて C を充電した後，S を b 側に入れかえて，C に加わる電圧 v［V］の時間的変化を調べたところ，図 2 のようになった。$t=0$ は S を b 側に入れた時刻である。C の電気容量 C［F］を求めよ。

(2)　このとき，コイルに流れる電流 I［A］の時間的変化を図 3 に記入せよ。また，このときの最大電流 I_0［A］を求めよ。ただし，回路での抵抗はないものとする。

$\boxed{43}$

次の $\boxed{}$ に適当な用語を入れ，電磁波の電場と磁場のようすを図示せよ。

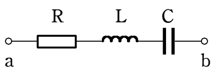
電磁波の $\boxed{1}$ と $\boxed{2}$ の振動方向は，電磁波の進行方向に対して垂直な面内にあり，しかも，たがいに垂直である。$\boxed{1}$ の向きから $\boxed{2}$ の向きにまわした右ねじの進む向きがこの電磁波の進行する向きである。

電磁波の進行方向を z 軸の正の向きとして，電場と磁場の変化を右の図に図示せよ。

なお，電場と磁場は横波の表し方で図示し，それぞれの振動の向きを，横波の各所に矢印でかき入れ，(　　) には名称を記入せよ。

$\boxed{44}$

図のように，抵抗値 R の抵抗 R，自己インダクタンス L のコイル L，電気容量 C のコンデンサー C を直列につないだ回路 ab 間に，実効電圧 V_e，周波数 f の交流電圧を加えた。このとき，ab 間の回路のインピーダンスは次の式で表される。



$$\sqrt{R^2+\left(2\pi fL-\frac{1}{2\pi fC}\right)^2}$$

(1)　ab 間を流れる交流電流の実効値 I_e を求めよ。

(2)　抵抗 R に加わる交流電圧の実効値 V_{Re} を求めよ。

(3)　抵抗 R で消費される電力 P の時間平均 $\overline{P}$ を求めよ。

(4)　$R=100\ \Omega$，$L=2.5\times10^{-2}$ H，$C=2.5\times10^{-6}$ F とし，$V_e=100$ V として，周波数 f だけを変化させるとき，(3) の $\overline{P}$ が最大になるのは f がいくらのときか。また，そのときの電力 $\overline{P}$ の最大値 $\overline{P}_{max}$ を求めよ。

ヒント　(4)　$2\pi fL=\dfrac{1}{2\pi fC}$ のとき直列回路のインピーダンス Z は最小となる。

$\boxed{45}$

図 1 のように，抵抗 R とコイル L からなる回路に交直両用の電流計 A と電圧計 V がつないである。まず，端子 P，Q に直流電源をつなぎ，電圧を 0 V からゆるやかに上げていき，電圧と電流の値を読みとったところ，図 2 の(a) に示すような関係を得た。次に，周波数 60 Hz の交流電源を端子 P，Q につなぎ，直流の場合と同様な測定を行い，図 2 の (b) に示すような関係を得た。コイルの直流に対する抵抗および電流計の抵抗とインダクタンスは無視してよい。

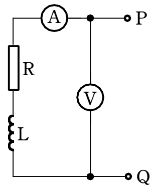


図 1

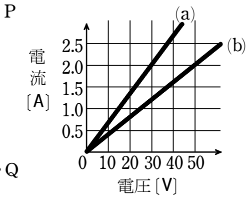


図 2

(1)　抵抗の大きさ R はいくらか。

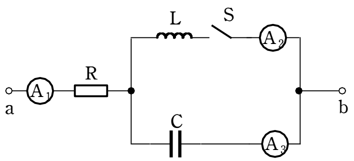
(2)　交流の場合，抵抗とコイルからなる回路のインピーダンス Z はいくらか。

(3)　コイルの自己インダクタンス L を求めよ。ただし，インピーダンス $Z=\sqrt{R^2+(\omega L)^2}$ $(\omega=2\pi f)$ である。

ヒント　(2)　インピーダンス $Z=\dfrac{V}{I}$　　V，I はグラフから読む。

46

図の回路で R は電気抵抗，C は電気容量 5.0×10^{-7} F のコンデンサー，L は自己インダクタンス 5.0×10^{-3} H のコイル，S はスイッチ，A_1，A_2，A_3 は内部抵抗の無視できる直流および交流（実効値）の両方の電流を測定できる電流計である。



(1)　S を開いておき，端子 a，b 間に直流電圧 1.0×10^{2} V を加えた。十分に時間が経過したとき，C に蓄えられているエネルギー U_1〔J〕を求めよ。

(2)　次に，(1) の電圧を加えた状態で S を閉じ，十分に時間が経過したとき，電流計 A_1 は 1.0 A を指示していた。このことから，R の抵抗値 R〔Ω〕を求めよ。

(3)　S を閉じた状態で，端子 a，b 間に交流電圧を加えたところ，電流計 A_2 は 20 A（実効値）を指示していた。このとき，L に蓄えられているエネルギーの平均値 U_2〔J〕を求めよ。

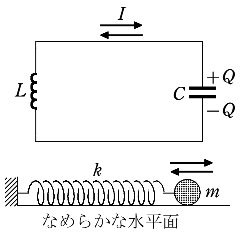
(4)　S を閉じた状態で，端子 a，b 間に加えた交流電圧の周波数を f〔Hz〕とする。C のリアクタンス X_C〔Ω〕，L のリアクタンス X_L〔Ω〕をそれぞれ π，f を用いて表せ。

(5)　S を閉じた状態で，C，L を流れる電流の位相差を考慮すれば，周波数 f を変化させていくと f_0 のとき電流計 A_1 の指示が 0 になる。f_0〔Hz〕を求めよ。

ヒント　(5)　C と L に流れる電流は逆位相（位相差 π）である。

47

電気容量 C のコンデンサーと自己インダクタンス L のコイルからなる，図のような振動回路がある。コンデンサーに蓄えられる電荷を Q，回路に流れる電流を I とする。以下の文中の □ を正しく埋めよ。



この回路の電気振動は，一端を固定し，他端に小球をつけたばねによる小球の単振動と対応させて，理解することができる。小球の質量を m，ばねのばね定数を k とすると，単振動の振動数 f_1 は ア で表される。一方，回路の固有周波数 f_2 は イ で与えられる。ばねでは m が大きいほどゆっくり振動するが，回路では L が大きいほど電流は流れにくくなり，ゆっくりした電気振動になる。したがって，m が ウ に対応する。また，ばねでは k が小さいほどゆっくり振動する。回路では エ が大きいほど充電に時間がかかり，電気振動はゆっくりとなるので，k が オ に対応する。ばねが自然の長さから x だけ伸びるとき，ばねに蓄えられる弾性エネルギーは カ である。コンデンサーに電荷 Q が蓄えられるとき，その静電エネルギーは キ であるから，x が ク に対応する。

時間を t，小球の速度を v とし，微小な変化を記号 Δ で表すと，$v=$ ケ であり，回路では コ $=\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$ なので v が コ に対応する。

コイルに蓄えられるエネルギーは サ で表され，これは小球の運動エネルギーに対応する。

ヒント　単振動の周期の式，弾性エネルギーの式，速度の表し方など，力学の知識も必要になる。(キ) では静電エネルギーを C，Q で表す。