# 物　理

## 【解答・採点基準】

(100点満点)

| 問題番号 | 設問 | 解答番号 | 正解 | 配点 | 自己採点 |
|---|---|---|---|---|---|
| 第1問 | 問1 | 1 | ① | 4 | |
| | | 2 | ② | 4 | |
| | 問2 | 3 | ④ | 5 | |
| | 問3 | 4 | ④ | 4 | |
| | 問4 | 5 | ③ | 4 | |
| | 問5 | 6 | ① | 4 | |
| 第1問　自己採点小計 | | | | (25) | |
| 第2問 | 問1 | 7 | ② | 4 | |
| | 問2 | 8 | ② | 3 | |
| | | 9 | ③ | 3 | |
| | 問3 | 10 | ③ | 4 | |
| | 問4 | 11 | ② | 4 | |
| | | 12 | ① | 4 | |
| | | 13 | ② | 3 | |
| 第2問　自己採点小計 | | | | (25) | |
| 第3問 | A 問1 | 14 | ① | 5 | |
| | A 問2 | 15 | ① | 5 | |
| | B 問3 | 16 | ② | 5 | |
| | B 問4 | 17 | ② | 5 | |
| | B 問5 | 18 | ④ | 5 | |
| 第3問　自己採点小計 | | | | (25) | |
| 第4問 | 問1 | 19 | ⑧ | 5＊1 | |
| | 問2 | 20 | ② | 5＊2 | |
| | 問3 | 21 | ② | 5 | |
| | | 22 | ③ | 5 | |
| | 問4 | 23 | ④ | 5 | |
| 第4問　自己採点小計 | | | | (25) | |
| 自己採点合計 | | | | (100) | |

(注)

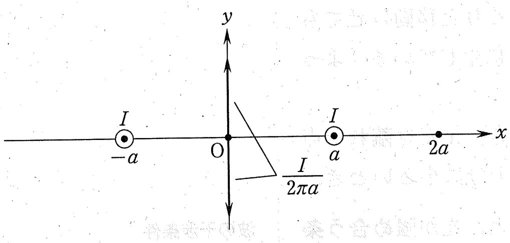
1　＊1は，⑤を解答した場合は2点を与える。

2　＊2は，④を解答した場合は2点を与える。

## 【解説】

### 第1問　小問集合

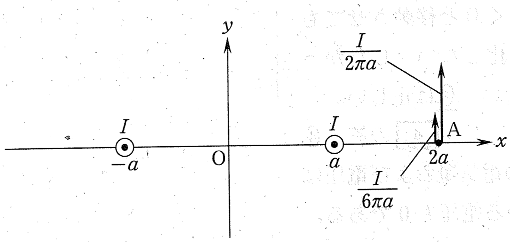
**問1**　$x=a$ および $x=-a$ の直線電流による点Oの**磁場**の強さはそれぞれ $\frac{I}{2\pi a}$ で，向きは $y$ 軸の負および正の向きである。したがって，磁場(合成磁場)の強さは $\underline{0}$ である。




$\boxed{1}$ の答　①

$x=a$ および $x=-a$ の直線電流による点Aの磁場の強さはそれぞれ $\frac{I}{2\pi a}$ および $\frac{I}{2\pi\cdot 3a}=\frac{I}{6\pi a}$ で，向きはともに $y$ 軸の正の向きである。したがって，磁場(合成磁場)の強さは，

$\frac{I}{2\pi a}+\frac{I}{6\pi a}=\underline{\frac{2I}{3\pi a}}$ である。




$\boxed{2}$ の答　②

**問2**　**力学的エネルギー保存則**より，

$$\frac{1}{2}m{v_0}^2-G\frac{Mm}{R}=0-G\frac{Mm}{2R}$$

$$\therefore\quad v_0=\underline{\sqrt{\frac{GM}{R}}}$$

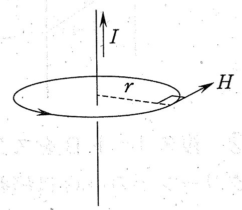
$\boxed{3}$ の答　④

**問3**　順次，検討する。

①　初めスクリーン上の点Oは経路差0で強め合い，明線が生じていた点である。経路差0の点の移動方向を調べればよい。次図のように，単スリットAを(ア)の向きへ移動させると，複スリットBの上側のスリットを通過した光の点Oに達するまでの経路長は，複スリットBの下側のスリットを通過した光の経路長に比べて短くなる。したがって，次図のように経路差0の点は下方へ移動する。よって，①は間違い。

## 【ポイント】

**直線電流による磁場・右ねじの法則**

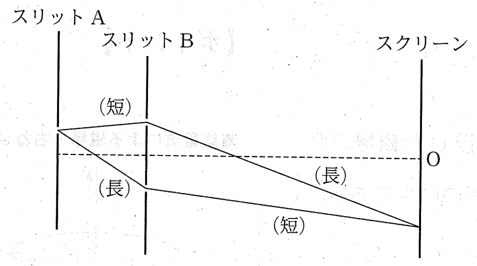



磁場の強さ $H=\frac{I}{2\pi r}$

**力学的エネルギー保存則**

重力，ばねの力，静電気力などの保存力しか仕事をしないとき，力学的エネルギーは保存される。

物理




② 複スリットBをスクリーン側にゆっくりと移動させてもスクリーン上の点Oは経路差0の明線が常に生じている。よって，②は間違い。

③ スクリーン上で点Oを基準として上方へ$x$だけ離れた点までの経路差$\Delta\ell$は，$x$や$d$が$L$に比べて十分に小さいとき，$\Delta\ell=\dfrac{dx}{L}$と表される。光の波長を$\lambda$とすると，光が**強め合う条件**は，$\dfrac{dx}{L}=m\lambda$（$m$は整数）となる。したがって，$x=x_m=\dfrac{mL\lambda}{d}$の位置に明線が生じる。これより，干渉縞の間隔は，$x_{m+1}-x_m=\dfrac{L\lambda}{d}$となり，複スリットBをスクリーン側にゆっくりと移動させて$L$を小さくすると，干渉縞の間隔は狭くなる。したがって，③は間違い。

④ 単スリットAをスクリーン側にゆっくりと移動させてもスクリーン上の任意の点までの経路差は変化しない。したがって，スクリーン上の干渉縞の位置は変化しない。④は正しい。

$\boxed{4}$の答 ④

**波の干渉条件**

二つの波源が同位相で波長が同じとき

強め合う条件；

(経路差)$=m\lambda$

弱め合う条件；

(経路差)$=\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\lambda$

$m$；整数　$\lambda$；波長

**問4** スイッチを閉じた瞬間はコンデンサーの電気量および電圧は0であり，コンデンサーの右側の抵抗にかかる電圧も0である。したがって，オームの法則より，この瞬間に電流計を流れる電流は0である。十分に時間が経過するとコンデンサーの電気量および電圧は一定の値に達し，コンデンサーの右側の抵抗にかかる電圧も一定の値に達する。したがって，電流計には一定の電流が流れるようになる。また，スイッチを閉じると電圧計には常に電源電圧と等しい電圧がかかるので，電圧計が示す値は常に一定である。

$\boxed{5}$の答 ③

**問5** 求める電流の値を$I$〔A〕とする。ニクロム線で発生した**ジュール熱**は水が得た**熱量**に等しい。したがって，

$$I\times12\times180=200\times4.2\times(24-18)$$

$$\therefore\ I=2.33\fallingdotseq\underline{2.3}\ \mathrm{A}$$

$\boxed{6}$の答 ①

**ジュール熱**

(ジュール熱)$=IVt$

$I$；電流　$V$；電圧　$t$；時間

**熱量**

物体が吸収した熱量

$Q=mc\Delta T$

$m$；質量　$c$；比熱　$\Delta T$；温度変化

## 第2問　単振動

**問1**　$x=d$ のとき，$x$ 軸負の向きの弾性力 $kd$ と $x$ 軸正の向きの最大摩擦力 $\mu_0 mg$ がつりあっている。

$$kd=\mu_0 mg \qquad \therefore \quad \mu_0=\underline{\frac{kd}{mg}}$$

$\boxed{7}$ の答　②

**問2**　運動aのとき，$x$ 軸正の向きの加速度を $\alpha$ とすると，小物体にはたらく合力 $F$ および運動方程式は，

$$F=m\alpha=-kx+\mu' mg=-k\left(x-\frac{\mu' mg}{k}\right)$$

よって，$x=x_1=\underline{\frac{\mu' mg}{k}}$ で合力は0となる。

$\boxed{8}$ の答　②

上記の運動方程式より，

$$\alpha=-\frac{k}{m}\left(x-\frac{\mu' mg}{k}\right)=-\omega^2(x-x_1)$$

したがって，運動aは，

振動中心 $x_1$，角振動数 $\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$，**周期** $T=\frac{2\pi}{\omega}=\underline{2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}$

の**単振動**の半周期分である。

$\boxed{9}$ の答　③

**問3**　小物体が運動bを行っているとき，小物体は $x$ 軸正の向きに運動している。このとき，$-kx$ の弾性力と $-\mu' mg$ の動摩擦力がはたらいている。これらの合力 $F'$ は，

$F'=\underline{-kx-\mu' mg}=-k\left(x+\frac{\mu' mg}{k}\right)$ となる。したがって，振動中心 $x=x_2=-\frac{\mu' mg}{k}=-x_1$ の単振動を行う。

$\boxed{10}$ の答　③

（参考）小物体が $x<0$ の位置にあるとき，ばねの縮みは $|x|=-x$ なので弾性力は $x$ 軸正の向きに $k\times(-x)=-kx$ となる。

**問4**　**問2**，**問3**より，運動aのときの振動中心は $x_1=\frac{\mu' mg}{k}$，運動bのときの振動中心は $x_2=-\frac{\mu' mg}{k}=-x_1$ である。したがって，単振動の振動中心の $x$ 座標は<u>符号のみ変わる。</u>

$\boxed{11}$ の答　②

**問2**，**問3**より，運動aのときと運動bのときはともに角振動数は $\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$ である。したがって，単振動の半周期は<u>どちらの場合も同じ値である。</u>

$\boxed{12}$ の答　①

次図より，計算するまでもなく，単振動の振幅は<u>運動aのほうが大きい値である。</u>ただし，図では運動aの単振動の振幅を

**単振動の加速度**

$\alpha=-\omega^2(x-x_c)$

$\omega$；角振動数

$x$；物体の位置

$x_c$；振動中心

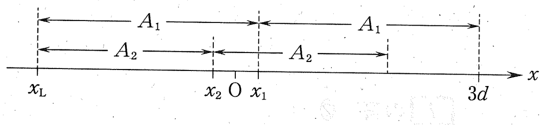
**ばね振り子による単振動の周期**

$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

$m$；物体の質量

$k$；ばね定数

$A_1$，運動 b のときの単振動の振幅を $A_2$ とし，運動 a の左端の位置座標を $x_L$ としている。




$\boxed{13}$ の答　②

## 第3問　気体の状態変化，レンズ

**A**

**問1**　状態 A，状態 B および状態 D の絶対温度をそれぞれ $T_A$，$T_B$，$T_D$ とすると，**ボイル・シャルルの法則**より，

$$\frac{P_0V_0}{T_A}=\frac{2P_0V_0}{T_B}=\frac{P_0\cdot 2V_0}{T_D}\qquad \therefore\quad T_B=T_D=2T_A$$

これより，状態 B と状態 D の内部エネルギーは等しく，過程 I および過程 III の内部エネルギーの変化量は等しい。それを $\varDelta U$ とする。過程 I は定積過程なので，気体がした仕事は 0 である。過程 III は定圧過程なので，圧力$(P)$－体積$(V)$グラフの面積より，気体がした仕事は $P_0V_0$ である。したがって，**熱力学第 1 法則**より，

$$Q_1=\varDelta U\text{，}\ Q_3=\varDelta U+P_0V_0$$

$$\therefore\quad Q_3-Q_1=\underline{P_0V_0}$$

$\boxed{14}$ の答　①

**問2**　直線 AC 上の任意の点の圧力，体積および絶対温度をそれぞれ $P$，$V$，$T$ とする。また，物質量および気体定数をそれぞれ $n$，$R$ とする。

状態方程式；$PV=nRT$

直線 AC の式；$P=\dfrac{P_0}{V_0}V$

これらの式から，$P$ を消去して，$T=\dfrac{P_0}{nRV_0}V^2$ となる。

したがって，求めるグラフは原点を頂点とする下に凸の 2 次関数のグラフとなる。状態 C の絶対温度を $T_C$ とすると，ボイル・シャルルの法則より，

$$\frac{P_0V_0}{T_A}=\frac{\frac{3}{2}P_0\cdot\frac{3}{2}V_0}{T_C}=\frac{\frac{9}{4}P_0V_0}{T_C}\qquad \therefore\quad T_C=\frac{9}{4}T_A$$

これより，最も適当なグラフは$\underline{①}$

$\boxed{15}$ の答　①

**ボイル・シャルルの法則**

一定量の理想気体について

$\dfrac{PV}{T}=$一定

$P$；圧力

$V$；体積

$T$；絶対温度

**熱力学第 1 法則**

$Q=\varDelta U+W_{out}$

$Q$　；気体が吸収した熱量

$\varDelta U$；内部エネルギーの変化

$W_{out}$；気体が外へした仕事

気体がされた仕事 $W_{in}$ を用いると，

$W_{in}=-W_{out}$ より，

$\varDelta U=Q+W_{in}$

**B**

**問3**　**凸レンズの公式**より，

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

この式に図3の点Bの値 $a=10\,\mathrm{cm}$，$b=10\,\mathrm{cm}$ を代入して，

$$\frac{1}{10}+\frac{1}{10}=\frac{1}{f}\qquad \therefore\quad f=\underline{5}\,\mathrm{cm}$$

$\boxed{16}$ の答　②

**問4**　順次，検討する。

①　Aでは $b>0$ であり，倍率 $\dfrac{b}{a}>1$ なので，倍率が1より大きい倒立の実像が生じている。①は間違い。

②　Bでは $b>0$ であり，倍率 $\dfrac{b}{a}=1$ なので，倍率1の倒立の実像が生じている。②は正しい。

③　Cでは $b>0$ であり，倍率 $\dfrac{b}{a}<1$ なので，倍率が1より小さい倒立の実像が生じている。③は間違い。

④　Dでは $b<0$ なので，正立の虚像がレンズの左側に生じている。④は間違い。

$\boxed{17}$ の答　②

**問5**　凹レンズの公式より，

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=-\frac{1}{5}\qquad \therefore\quad b=-\frac{5a}{a+5}$$

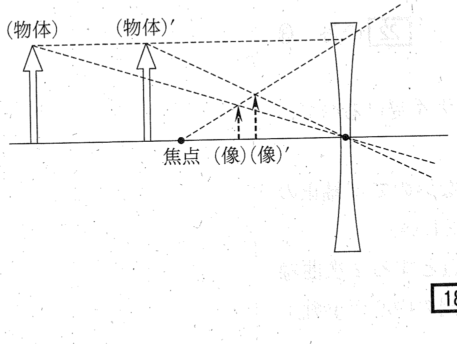
正立の虚像がレンズの左側（$b<0$）に生じる。

したがって，倍率は，

$$\frac{|b|}{a}=\frac{5}{a+5}$$

これより，物体を凹レンズの位置までゆっくりと近づける（$a$ を小さくする）と倍率はしだいに大きくなる。

次図のように，作図を用いても良い。正立の虚像が生じ，倍率は大きくなる。




$\boxed{18}$ の答　④

**レンズの公式**

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

$a$　；物体とレンズ間の距離

$|b|$；像とレンズ間の距離

倍率 $\dfrac{|b|}{a}$

$b>0$　倒立実像がレンズに対して物体と反対側に生じる

$b<0$　正立虚像がレンズに対して物体と同じ側に生じる

$|f|$；焦点距離

$f>0$　凸レンズ

$f<0$　凹レンズ

## 第4問　電場・磁場中の荷電粒子の運動

**問1**　エネルギー保存の法則より，運動エネルギーの変化は合力(静電気力)がした仕事に等しい。よって，

$$\frac{1}{2}m{v_0}^2=qEd \qquad \therefore \quad \underline{v_0=\sqrt{\frac{2qEd}{m}}}_{\,ア}$$

荷電粒子が磁場中に入ったとき，**フレミングの左手の法則**より，$x$ 軸正の向きに大きさ $qv_0B$ の**ローレンツ力**を受け，それを向心力として等速円運動をする。円運動の半径を $r$ とすると，運動方程式から，

$$m\frac{{v_0}^2}{r}=qv_0B \qquad \therefore \quad r=\frac{mv_0}{qB}$$

円運動の中心は $(r,\ d)$ であるので，

$$x_1=2r=\underline{\frac{2mv_0}{qB}}_{\,イ}$$

$\boxed{19}$ の答　⑧

**問2**　**問1**より，$x_1=\dfrac{2mv_0}{qB}=\dfrac{2m}{qB}\sqrt{\dfrac{2qEd}{m}}=\dfrac{2}{B}\sqrt{\dfrac{2Edm}{q}}$ となり，$x_1$ は $\sqrt{\dfrac{m}{q}}$ に比例し，傾きが正の直線になる。

$\boxed{20}$ の答　②

**問3**　運動量の変化は静電気力 $qE$ による力積に等しいので，

$$\underline{mv_0=qE\Delta t}$$

$\boxed{21}$ の答　②

磁場中での等速円運動の周期 $T$ は，

$$T=\frac{2\pi r}{v_0}=\frac{2\pi}{v_0}\times\frac{mv_0}{qB}=\frac{2\pi m}{qB}$$

である。磁場中を速さ $v_0$ で，時間 $\dfrac{T}{2}$ を要して半周し，$y=0$ に戻ったときの速さは，エネルギー保存の法則より，0である。したがって，運動量と力積の関係から，電場中を $y=d$ から $y=0$ まで運動する時間は $\Delta t$ である。以後これらの運動を繰り返すので，

$$t_N=\underline{N\left(2\Delta t+\frac{T}{2}\right)}$$

$\boxed{22}$ の答　③

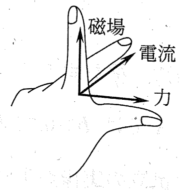
**問4**　順次，検討する。

①　電場中では $y$ 軸正の向きに一定の静電気力を受けるので，等加速度運動をする。①は正しい。

②　$y<d$ の領域では $x$ 軸方向には力を受けないので $x$ 軸正の向きの速度成分は $V_0$ のまま一定である。②は正しい。

③　次図のように，電場中では原点Oを頂点とする2次曲線(放物線)を描き，磁場中では円弧を描き，その円の中心が $y$ 軸上にあれば原点Oに戻ってくる。③は正しい。

**フレミングの左手の法則**



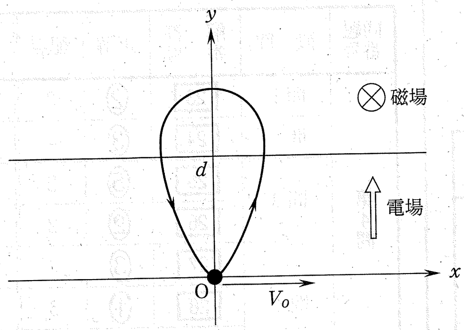

**ローレンツ力**

$f=qvB$

$q$；電気量の大きさ

$v$；磁場に垂直な速度成分

$B$；磁束密度




④ $y>d$ の磁場中では円弧を描く。④は間違い。

$\boxed{23}$ の答　④