物　　　　理

（解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{22}$）

第1問　次の問い（問1～5）に答えよ。（配点　25）

問1　次の文章中の空欄 $\boxed{ア}$ ・ $\boxed{イ}$ に入れる数値の組合せとして最も適当なものを，後の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{1}$

救急車のサイレンに対するドップラー効果の影響について考える。ただし，音速を 340 m/s とし，風はないものとする。

図1に示すように，点Oにいる観測者に向かって救急車が速さ 20 m/s で近づいている。点Oから 720 m 離れた点Aにおいて，救急車が振動数 960 Hz と 770 Hz の音が交互に入れ替わるサイレンを鳴らし始めた。サイレンを鳴らし始めて $\boxed{ア}$ 秒後から，観測者にサイレンの音が届く。観測者が聞くサイレンは，振動数約 $\boxed{イ}$ Hz と約 820 Hz の音が交互に入れ替わる音となる。

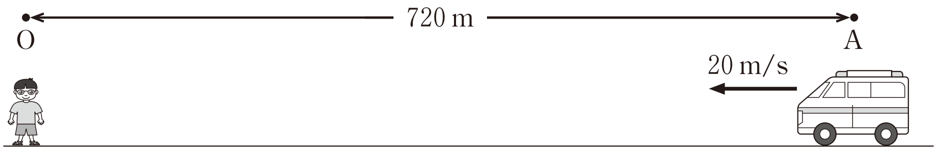


図　1

	①	②	③	④	⑤	⑥
ア	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1
イ	900	1020	1080	900	1020	1080

問 2　次の文章中の空欄 $\boxed{2}$ ・ $\boxed{3}$ に入れる語句として最も適当なものを，後の①～⑥のうちからそれぞれ一つずつ選べ。ただし，同じものを繰り返し選んでもよい。

図 2 のように，ランプ，直流電源，ホルダー 1，ホルダー 2 を備えた配線ボードがある。二つのホルダーにはめることができる回路素子は，破線枠内にある導線，コイル，コンデンサー，抵抗器であり，それぞれ一つずつある。二つのホルダーに回路素子をはめると回路ができる。ここで，導線とコイルの抵抗値は無視できるものとする。破線枠内の回路素子を二つ選び，ホルダー 1，ホルダー 2 にはめてしばらくたったとき，ランプが最も明るくつく回路素子の組合せは $\boxed{2}$ である。

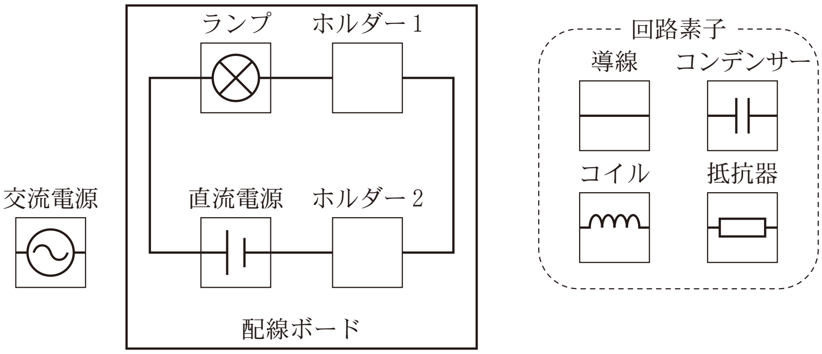


図　2

次に，直流電源を交流電源に交換した。この交流電源の角周波数に対するコイルとコンデンサーのリアクタンス（誘導リアクタンス，容量リアクタンス）の値は，抵抗器の抵抗値と同じになっている。破線枠内の回路素子を二つ選び，ホルダー 1，ホルダー 2 にはめてしばらくたったとき，ランプが最も明るくつく回路素子の組合せは $\boxed{3}$ である。

① 導線とコイル
② 導線とコンデンサー
③ 導線と抵抗器
④ コイルとコンデンサー
⑤ コイルと抵抗器
⑥ コンデンサーと抵抗器

物　理

問 3　二酸化炭素入りの風船とヘリウム入りの風船に軽い糸を取りつけ，バスの中でのそれらの動きを考える。二つの風船の糸を結び，その結び目をバスに乗っている人が片手で握り，動かないようにした。バスが静止しているときは，図 3 のように，二酸化炭素入りの風船は鉛直下向きにぶら下がり，ヘリウム入りの風船は鉛直上向きに浮いていた。図では手の代わりに黒丸(●)を描いている。バスの窓は閉じられていて，外からの空気の流れはなかった。

バスが直線道路を一定の加速度で速さを増しているときに，バスに乗っている人には二つの風船はほとんど止まって見えた。このとき，図 4 のように車内の右側に取りつけられたカメラ A で撮影された風船の様子は，図 5 のようであった。

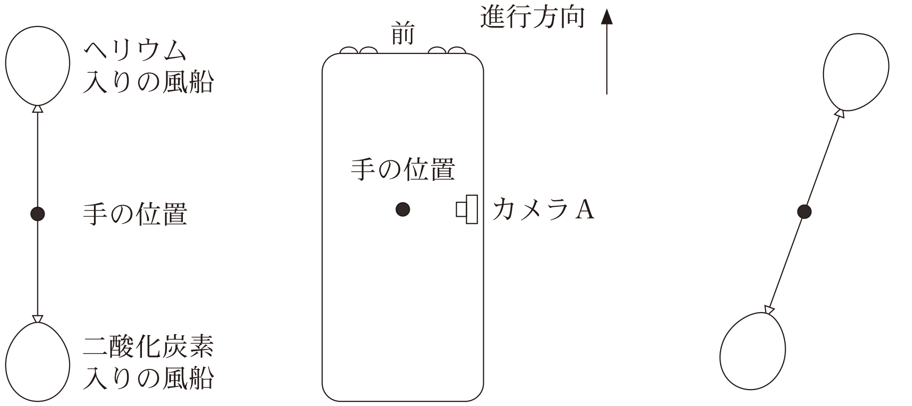


図　3　　　図　4　　　図　5

次に，図６のようにバスが一定の半径の左カーブを一定の速さで進んでいるときに，バスに乗っている人には二つの風船はほとんど止まって見えた。このとき，図７のように風船の後ろ側に取りつけられたカメラＢで撮影された風船の様子として最も適当なものを，後の①～⑤のうちから一つ選べ。 $\boxed{\ 4\ }$

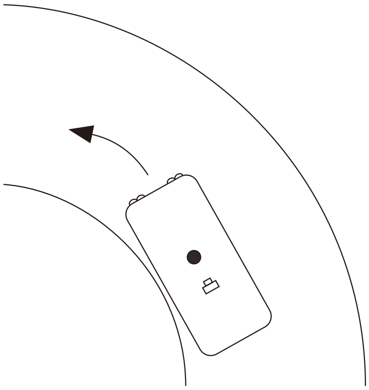
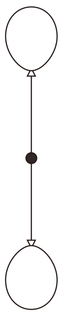


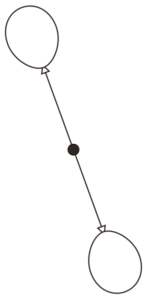
図　6

図　7

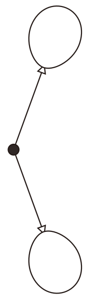
①



②

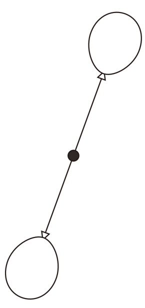


③



④

⑤



問 4　次の文章中の空欄 ウ ・ エ に入れる語と値の組合せとして最も適当なものを，後の①～⑥のうちから一つ選べ。 5

波長 λ の光は，エネルギー $\dfrac{hc}{\lambda}$，運動量 $\dfrac{h}{\lambda}$ をもつ粒子のようにふるまう。この光の粒子を光子という。c は真空中の光の速さ，h はプランク定数である。

X 線の光子が，静止している質量 m の電子に弾性衝突する場合の X 線と電子のふるまいを考えよう。図 8 のように，衝突前の電子の位置を原点として，x 軸を入射 X 線の進む向きに，また，y 軸を散乱 X 線の進む向きが xy 平面内にあるようにとる。X 線は，x 軸と角度 θ をなす向きに散乱され，波長は λ から λ' に変化した。一方，電子は x 軸と角度 ϕ をなす向きに速さ v ではね飛ばされた。

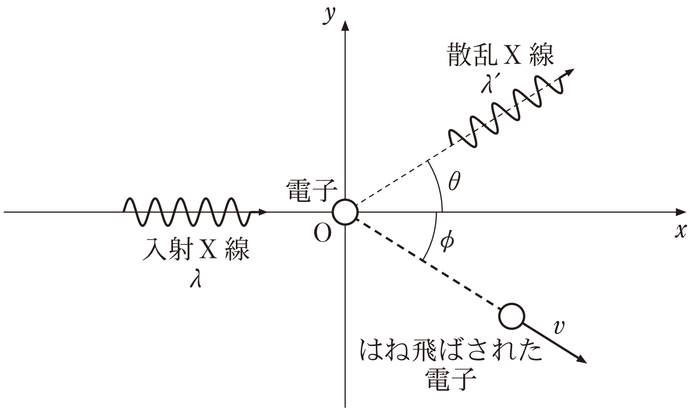


図　8

このとき，衝突前後のエネルギー保存の法則より，散乱 X 線の波長 λ' は，入射 X 線の波長 λ より $\boxed{\text{ウ}}$ 。また，衝突前後の運動量保存の法則は，

$$x\text{ 方向：}\frac{h}{\lambda}=\frac{h}{\lambda'}\cos\theta+mv\cos\phi$$

$$y\text{ 方向：}0=\frac{h}{\lambda'}\sin\theta-mv\sin\phi$$

と表される。X 線が $\theta=90^\circ$ の向きに散乱されたとき，電子は，およそ $\phi=\boxed{\text{エ}}$ の向きにはね飛ばされる。ここでは，λ と λ' はほぼ等しいとした。

	ウ	エ
①	大きい	30°
②	大きい	45°
③	大きい	60°
④	小さい	30°
⑤	小さい	45°
⑥	小さい	60°

問 5　同じ種類の単原子分子からなる理想気体が，同じ体積の二つの容器に入っている。二つの容器内の気体の圧力は等しく，温度（絶対温度）は異なっている。次の(a)〜(c)について，二つの容器内の気体で等しいものはどれか。すべて選んだ組合せとして正しいものを，後の①〜⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{6}$

(a)　内部エネルギー

(b)　分子 1 個あたりの平均運動エネルギー

(c)　分子の二乗平均速度（根平均二乗速度）と物質量の積

①　(a)	②　(b)	③　(c)
④　(a)と(b)	⑤　(a)と(c)	⑥　(b)と(c)

物　理

第２問　次の文章を読み，後の問い(問１～４)に答えよ。(配点　25)

なめらかな水平面上を運動する物体の衝突を考える。運動は一直線上で起こり，その直線を x 軸にとる。ただし，空気抵抗は無視できるものとする。

問１　図１のように，質量 m の小物体Ａと固定された鉛直な壁の衝突を考える。Ａと壁の間の反発係数(はね返り係数)を e とし，衝突前のＡの速度を v_0 ($v_0 > 0$) とする。小物体Ａが衝突で失った力学的エネルギーを表す式として正しいものを，後の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{7}$

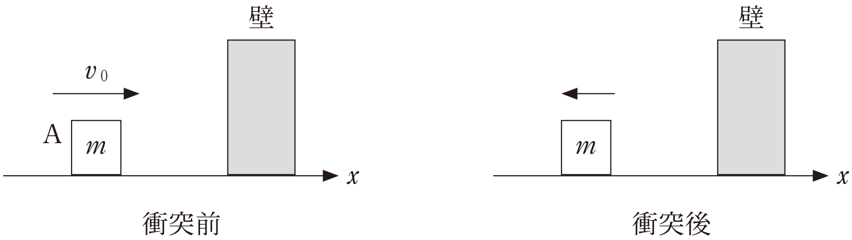


図　1

① $mv_0(1 - e)$　　② $mv_0(1 - e^2)$　　③ $\frac{1}{2}mv_0^2(1 - e)$

④ $\frac{1}{2}mv_0^2(1 - e^2)$　　⑤ $\frac{1}{2}mv_0^2(1 + e)$　　⑥ $\frac{1}{2}mv_0^2(1 + e^2)$

問 2　図 2 のように，質量 m の小物体 A と質量 M の小物体 B_1 の衝突を考える。静止していた B_1 に A が速度 v_0 で弾性衝突した。衝突後の A，B_1 の速度をそれぞれ v，V_1 とする。v，V_1 を表す式として正しいものを，後の①～⑧のうちからそれぞれ一つずつ選べ。ただし，同じものを繰り返し選んでもよい。

$v = \boxed{\ 8\ }$

$V_1 = \boxed{\ 9\ }$

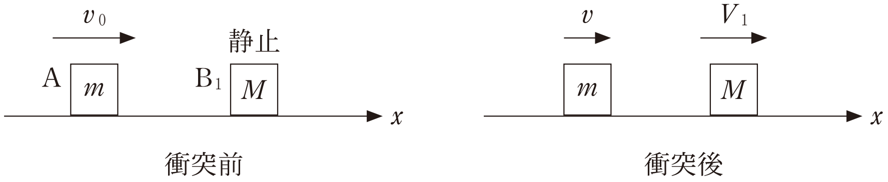


図　2

① $\dfrac{m}{m+M}v_0$　② $\dfrac{2m}{m+M}v_0$　③ $\dfrac{m-M}{m+M}v_0$　④ $\dfrac{m-M}{m}v_0$

⑤ $\dfrac{M}{m+M}v_0$　⑥ $\dfrac{2M}{m+M}v_0$　⑦ $\dfrac{m-2M}{m+M}v_0$　⑧ $\dfrac{m-M}{M}v_0$

次に，図 3 のように，質量 M の小物体 B_1 に，質量 M の小物体 B_2 をばね定数 k の軽いばねでつなぐ。B_1 に小物体 A が速度 v_0 で衝突する場合を考える。衝突前は，B_1，ばね，B_2 は静止していて，ばねの長さは自然長であった。**問 2** と同様に A と B_1 は弾性衝突し，衝突直後の A，B_1 の速度はそれぞれ v，V_1 であり，ばねと B_2 は静止したままであった。衝突後は，B_1 とばねと B_2 は，ばねが伸び縮みしながら，一直線上を動いていった。A と B_1 はもう一度衝突することはなかったとする。また，「B_1，ばね，B_2」を一つの物体とみなして，質量 $2M$ の物体 B と呼ぶことにする。

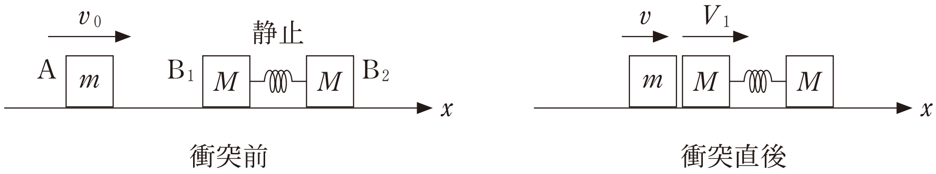


図　3

問 3　次の文章中の空欄 $\boxed{ア}$ ・ $\boxed{イ}$ には，それぞれ直後の $\{\quad\}$ 内の式または語句のいずれか一つが入る。その組合せとして最も適当なものを，後の①～⑧のうちから一つ選べ。 $\boxed{10}$

B_1 の運動量と B_2 の運動量の和を B の運動量とし，B の運動量を B の質量 $2M$ で割った量を B の速度とする。A との衝突後には，B の運動方向には外部からはたらく力はないので，B の運動量は保存する。衝突後の B の速度を V とすると，A と B の間の反発係数は

$\boxed{ア}$ $\left\{ (a)\ \dfrac{V}{v_0} \quad (b)\ \dfrac{2V-v}{v_0} \quad (c)\ \dfrac{V-v}{v_0} \quad (d)\ \dfrac{v-V}{v_0} \right\}$ であり，その値は $\boxed{イ}$ $\{$(e)　1 である　(f)　1 より小さい$\}$。

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	(a)	(a)	(b)	(b)	(c)	(c)	(d)	(d)
イ	(e)	(f)	(e)	(f)	(e)	(f)	(e)	(f)

問 4　次の文章中の空欄 **ウ** ・ **エ** には，それぞれ直後の { } 内の式のいずれか一つが入る。その組合せとして最も適当なものを，後の①～⑥のうちから一つ選べ。 **11**

衝突直後の B の力学的エネルギーは，**問 3** の V を用いると

ウ $\left\{ \text{(a)}\ \dfrac{1}{8}MV^2 \quad \text{(b)}\ \dfrac{1}{2}MV^2 \quad \text{(c)}\ 2MV^2 \right\}$ と表される。衝突後に，ばねの自然長からの伸びが最大になるときには，B_1 と B_2 の速度は等しい。ばねの自然長からの伸びの最大値を表す式は

エ $\left\{ \text{(d)}\ \sqrt{\dfrac{M}{2k}}\,V \quad \text{(e)}\ \sqrt{\dfrac{2M}{k}}\,V \right\}$ となる。

	①	②	③	④	⑤	⑥
ウ	(a)	(a)	(b)	(b)	(c)	(c)
エ	(d)	(e)	(d)	(e)	(d)	(e)

第3問　次の文章（**A**・**B**）を読み，後の問い（**問1～6**）に答えよ。（配点　25）

A　なめらかに動くピストンのついたシリンダー内に単原子分子理想気体が入っている。はじめ，気体の圧力と体積はそれぞれ，$10\,p_0$ と V_0 であった。この状態をAとする。Aから圧力を一定に保ったまま体積を $10\,V_0$ にした。この状態をBとする。Bから体積を一定に保ったまま圧力を p_0 にした。この状態をCとする。最後に，Cの状態から気体の温度（絶対温度）を一定に保ったまま，状態をAに戻した。これらの状態変化をサイクルA→B→C→Aと呼ぶ。図1の矢印つきの実線は，縦軸を圧力 p，横軸を体積 V にとって，サイクルA→B→C→Aを描いたものである。

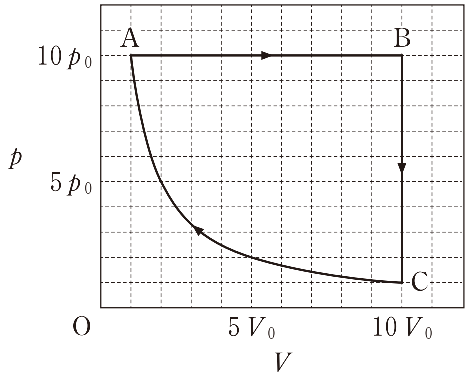


図　1

問 1　A→Bの過程で，外部から気体に加えた熱量 Q を表す式の空欄 $\boxed{12}$ に入れる数値として最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。

$Q = \boxed{12} \times p_0 V_0$

①　45	②　90	③　100
④　135	⑤　225	⑥　450

問 2　図 2 (a), (b)の矢印つきの実線で表される二つのサイクルを考える。ここで，灰色で塗られた領域の境界は図 1 のサイクル A→B→C→A を表す。この領域は，(a)の実線で囲まれた領域を覆っており，また，(b)の実線で囲まれた領域に覆われている。(a), (b)それぞれの実線で表されるサイクルで気体が外部にする仕事の総和を求め，その平均値を図 1 のサイクル A→B→C→A で気体が外部にする仕事の総和 W と近似する。

このとき，W を表す式の空欄 $\boxed{13}$ に入れる数値として最も適当なものを，後の①～⑥のうちから一つ選べ。$W = \boxed{13} \times p_0 V_0$

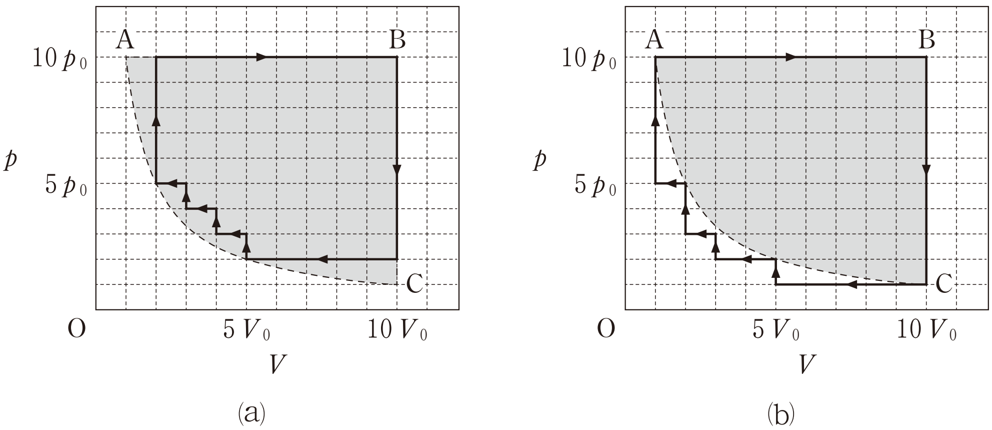


図　2

①　17　　②　$\frac{49}{2}$　　③　58　　④　$\frac{131}{2}$　　⑤　73　　⑥　85

問 3　次の文章中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$・$\boxed{\text{イ}}$ に入れる式の組合せとして最も適当なものを，後の①～⑥のうちから一つ選べ。$\boxed{14}$

問 2 で求めた仕事 W と**問 1** で求めた熱量 Q を用いると，B→C→A の状態変化で気体が外部に放出する熱量は $\boxed{\text{ア}}$ と表される。また，A→B→C→A の状態変化を 1 サイクルとする熱機関の熱効率は $\boxed{\text{イ}}$ と表される。

	ア	イ
①	$Q - W$	$\dfrac{Q}{W} - 1$
②	$Q - W$	$\dfrac{Q}{Q - W}$
③	$Q - W$	$\dfrac{W}{Q}$
④	$Q + W$	$\dfrac{Q}{W} + 1$
⑤	$Q + W$	$\dfrac{Q}{Q + W}$
⑥	$Q + W$	$\dfrac{W}{Q}$

B　図3のように，xy 平面に一様に存在する媒質があり，この媒質は平面に垂直な変位を生じる横波を伝えることができる。原点Oと直線 $x = L(L > 0)$ の位置に波源を置き，そこから円形波と平面波を発生させる。ここで，円形波の波長は，平面波の波長と同じ一定の値 λ であるものとし，円形波と平面波は，それぞれの波源では同じ位相で振動しているものとする。図3は円形波と平面波がまだ重なっていないときの山の波面の様子を示している。ただし，波源での波の反射は考えない。

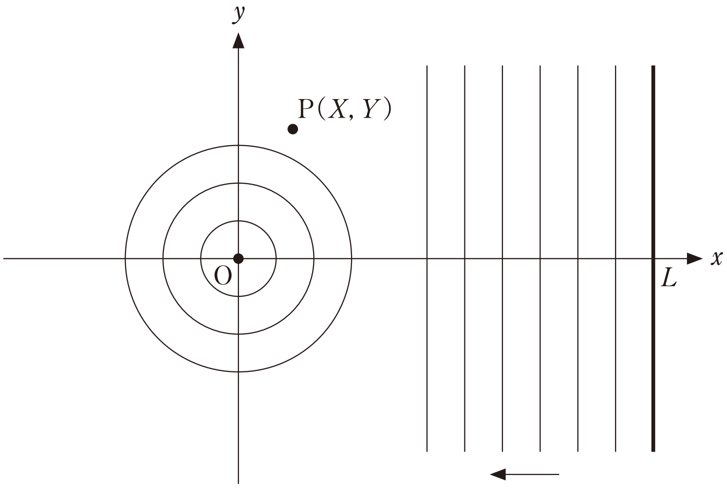


図　3

問 4　座標(X, Y)で表される点Pにおいて，円形波と平面波が強めあう条件を表す式として最も適当なものを，次の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし，$0 < X < L$，かつ$0 < Y$とし，$m = 0, 1, 2, \cdots$とする。 $\boxed{15}$

① $\left|\sqrt{(L-X)^2+Y^2}-\sqrt{X^2+Y^2}\right| = m\lambda$

② $\left|\sqrt{(L-X)^2+Y^2}-\sqrt{X^2+Y^2}\right| = \left(m+\dfrac{1}{2}\right)\lambda$

③ $\left|L-X-\sqrt{X^2+Y^2}\right| = m\lambda$

④ $\left|L-X-\sqrt{X^2+Y^2}\right| = \left(m+\dfrac{1}{2}\right)\lambda$

⑤ $\left|X-L-\sqrt{X^2+Y^2}\right| = m\lambda$

⑥ $\left|X-L-\sqrt{X^2+Y^2}\right| = \left(m+\dfrac{1}{2}\right)\lambda$

⑦ $\left|L-X-2Y\right| = m\lambda$

⑧ $\left|L-X-2Y\right| = \left(m+\dfrac{1}{2}\right)\lambda$

問 5　Lが11λの場合，x軸上の$0.2\lambda < x < 10.8\lambda$の区間で，円形波と平面波が強めあう条件を満たす点の数として最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。 $\boxed{16}$

① 10　② 11　③ 12　④ 21　⑤ 22　⑥ 23

問 6　図 4 は，円形波と平面波が広い範囲で重なったときの，ある瞬間におけるそれぞれの波の山の波面の様子を示している。このとき，点 Q では円形波と平面波が強めあって，山の頂点ができている。この頂点は時間とともに移動するが，この頂点が点 Q の後に通過する点は**ア**〜**オ**のうちどれか。最も適当なものを，後の①〜⑤のうちから一つ選べ。 $\boxed{17}$

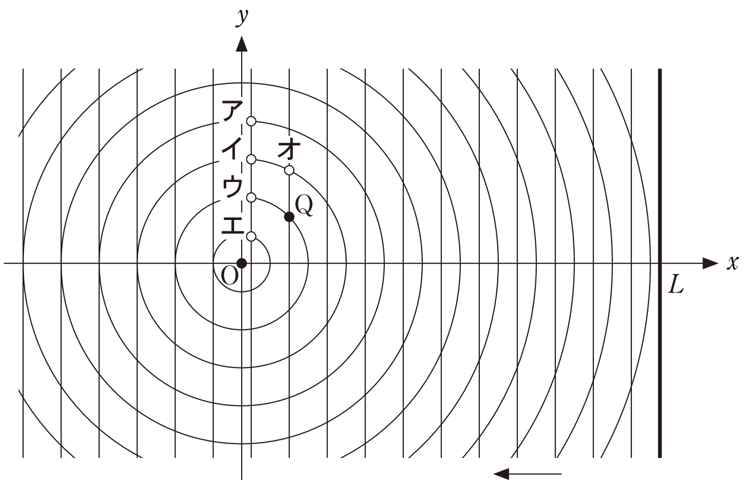


図　4

①　ア　　②　イ　　③　ウ　　④　エ　　⑤　オ

物　理

第4問　次の文章を読み，後の問い(問1～5)に答えよ。(配点　25)

図1のような真空中に固定して置かれた装置1と装置2を用いて，荷電粒子を一様な電場(電界)中と磁場(磁界)中で運動させる。

装置1で一様電場中に入射した荷電粒子は，電場中を運動した後で電場中から飛び出す。飛び出した荷電粒子は，装置2の一様磁場中に入射し，磁場中を運動した後で磁場中から飛び出す。ただし，荷電粒子の運動は紙面内であるものとし，重力の影響を無視する。また，荷電粒子が電場と磁場に与える影響は無視できるものとする。

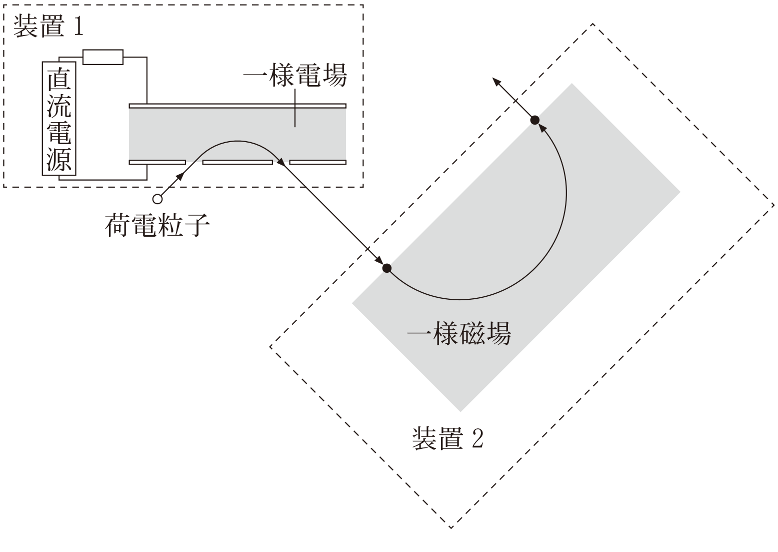


図　1

装置1は，図2のように抵抗器と直流電源が接続された平行な極板A，Bからなる。極板の間隔はdであり，極板間(図の灰色の部分)には強さEの一様な電場が生じている。また，極板Bには二つの小さな穴が，距離Lだけ離れてあいている。質量m，電気量$-e(e > 0)$，速度の大きさv_0の荷電粒子を，極板Bの一方の穴から極板Bと45°の角をなす向きに入射させると，荷電粒子は放物線を描いて運動し，もう一方の穴から飛び出した。飛び出した直後の荷電粒子の速度は大きさv_0で，極板Bと45°の角をなす向きであった。

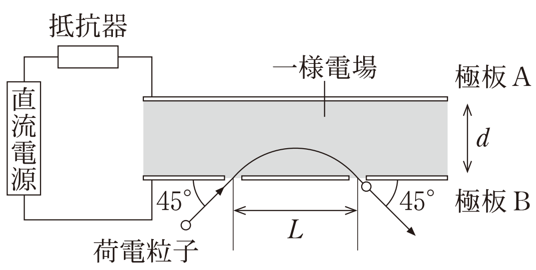


図　2

問 1　次の文章中の空欄 ア ・ イ に入れる語句の組合せとして最も適当なものを，後の①～⑥のうちから一つ選べ。 18

直流電源の電圧の大きさは ア 。また，荷電粒子の電気量が負であることから，極板Aに比べて極板Bの方が電位が イ 。

	ア	イ
①	抵抗器があるのでEdより大きい	高　い
②	抵抗器があるのでEdより大きい	低　い
③	Edである	高　い
④	Edである	低　い
⑤	抵抗器があるのでEdより小さい	高　い
⑥	抵抗器があるのでEdより小さい	低　い

物　理

問 2　荷電粒子が極板間に入射してから飛び出すまでに，静電気力が荷電粒子にした仕事を表す式または数値として最も適当なものを，次の①～⑦のうちから一つ選べ。$\boxed{19}$

① $\dfrac{eEd}{2}$　② $\dfrac{eEL}{2}$　③ $\dfrac{\sqrt{2}\,eEd}{2}$　④ $\dfrac{\sqrt{2}\,eEL}{2}$

⑤ eEd　⑥ eEL　⑦ 0

問 3　極板間の電場の強さ E を v_0 で表した式として最も適当なものを，次の①～⑥のうちから一つ選べ。$E = \boxed{20}$

① $\dfrac{mv_0{}^2}{2\,eL}$　② $\dfrac{\sqrt{2}\,mv_0{}^2}{2\,eL}$　③ $\dfrac{mv_0{}^2}{eL}$

④ $\dfrac{\sqrt{2}\,mv_0{}^2}{eL}$　⑤ $\dfrac{2\,mv_0{}^2}{eL}$　⑥ $\dfrac{2\sqrt{2}\,mv_0{}^2}{eL}$

装置 2 は，図 3 のように紙面に垂直な一様磁場が存在する領域(図の灰色の部分)からなる。装置 1 から飛び出した，質量 m，電気量 $-e$ の荷電粒子が，装置 2 の磁場の領域に，境界面に対して垂直な向きに入射した。その後，荷電粒子は紙面内を等速円運動し，磁場中から飛び出した。荷電粒子が磁場に入射した位置を点 P，磁場から飛び出した位置を点 R，P から R の軌跡上の中間地点を点 Q とする。

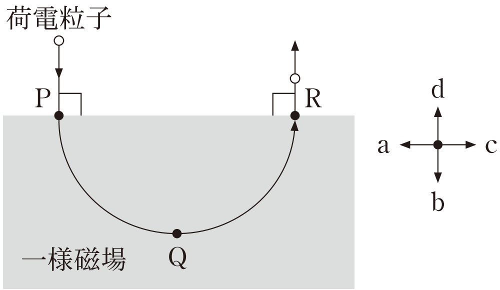


図　3

問 4　次の文章中の空欄 **ウ** ・ **エ** に入れる記号と語句の組合せとして最も適当なものを，後の①～⑧のうちから一つ選べ。 **21**

点 Q において荷電粒子が受ける力の向きは図 3 の **ウ** の矢印の向きであり，荷電粒子の電気量が負であることから，磁場の向きは紙面に垂直で **エ** の向きである。

	ウ	エ
①	a	表から裏
②	a	裏から表
③	b	表から裏
④	b	裏から表
⑤	c	表から裏
⑥	c	裏から表
⑦	d	表から裏
⑧	d	裏から表

図1の装置で，電場と磁場を同じ強さと向きに保ったまま，先ほどと異なる質量 m' で同じ電気量 $-e$ の荷電粒子を入射させる。装置1に入射した荷電粒子が装置2に入射するまで，質量 m，電気量 $-e$ の荷電粒子と同じ軌道を描くように，装置1への入射速度の大きさだけを調整する。質量 m' の荷電粒子はPから磁場中に入射した後，紙面内を等速円運動し，磁場中から飛び出した。

問5　質量 m' の荷電粒子が磁場から飛び出す位置を点R′としたとき，PR′間の長さはPR間の長さの何倍か。最も適当なものを，次の①～⑦のうちから一つ選べ。 $\boxed{\;22\;}$ 倍

① $\sqrt{\dfrac{m'}{m}}$　② $\sqrt{\dfrac{m}{m'}}$　③ $\dfrac{m'}{m}$　④ $\dfrac{m}{m'}$

⑤ $\left(\dfrac{m'}{m}\right)^2$　⑥ $\left(\dfrac{m}{m'}\right)^2$　⑦ 1