２０２４年度 夏期演習

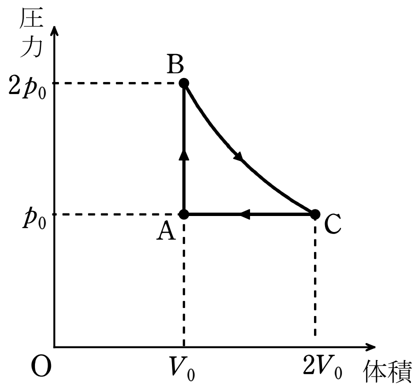
高３物理総合ＳＡ

～熱力学・波動・電気～

氏名

$\boxed{1}$［2017 センター］

　物質量 n の単原子分子の理想気体の状態を，図のように変化させる。過程 A → B は定積変化，過程 B → C は等温変化，過程 C → A は定圧変化である。
状態 A の温度を T_0，気体定数を R とする。



(1)　状態 A における気体の内部エネルギーは nRT_0 の何倍か。正しいものを，次の ①～⑧ のうちから 1 つ選べ。$\boxed{\ 1\ }$ 倍

① $\frac{1}{2}$　② 1　③ $\frac{3}{2}$　④ 2
⑤ $\frac{5}{2}$　⑥ 3　⑦ $\frac{7}{2}$　⑧ 4

(2)　状態 B の温度は T_0 の何倍か。正しいものを，次の ①～⑧ のうちから 1 つ選べ。
$\boxed{\ 2\ }$ 倍

① $\frac{1}{2}$　② 1　③ $\frac{3}{2}$　④ 2
⑤ $\frac{5}{2}$　⑥ 3　⑦ $\frac{7}{2}$　⑧ 4

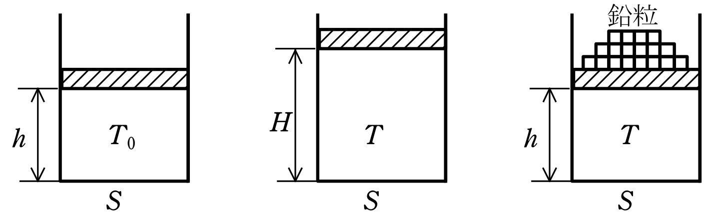
(3)　過程 C → A において気体が放出する熱量は nRT_0 の何倍か。正しいものを，次の ①～⑨ のうちから 1 つ選べ。$\boxed{\ 3\ }$ 倍

① 0　② $\frac{1}{2}$　③ 1
④ $\frac{3}{2}$　⑤ 2　⑥ $\frac{5}{2}$
⑦ 3　⑧ $\frac{7}{2}$　⑨ 4

2 ［1999 センター］

底面積 S の円筒形の容器を鉛直に立てて，なめらかに動くことのできる円板で気体を閉じこめた。はじめ，図 (a) のように，気体の絶対温度は T_0，円板の高さは h であった。円板の質量を M，大気圧を p_0，重力加速度の大きさを g とする。

(a)　(b)　(c)



(1)　図 (a) の状態で，この容器内の気体の圧力 p はいくらか。正しいものを，次の ①〜⑦ のうちから 1 つ選べ。 1

① p_0　② Mg　③ MgS　④ $\dfrac{Mg}{S}$

⑤ p_0+Mg　⑥ p_0+MgS　⑦ $p_0+\dfrac{Mg}{S}$

(2)　この気体に熱を与えたところ，図 (b) のように，気体の絶対温度は T，円板の高さは H となった。この高さ H はいくらか。正しいものを，次の ①〜⑥ のうちから 1 つ選べ。 2

① $\dfrac{T}{T_0}h$　② $\dfrac{T_0}{T}h$　③ $\left(\dfrac{T}{T_0}\right)^2 h$

④ $\left(\dfrac{T_0}{T}\right)^2 h$　⑤ $\dfrac{T-T_0}{T}h$　⑥ $\dfrac{T}{T-T_0}h$

(3)　(2) の変化の間に，気体が外部にした仕事はいくらか。正しいものを，次の ①〜⑥ のうちから 1 つ選べ。 3

① $\dfrac{p}{S}(H-h)$　② $\dfrac{pS}{H-h}$　③ $pS(H-h)$

④ $\dfrac{MgS}{H-h}$　⑤ $Mg(H-h)$　⑥ $\dfrac{Mg}{S}(H-h)$

(4)　図 (b) の状態から，気体の絶対温度を T に保ったまま円板の上に鉛粒を少しずつのせていったところ，図 (c) のように，円板は再び最初の高さ h にもどった。のせた鉛粒の全質量はいくらか。正しいものを，次の ①〜⑥ のうちから 1 つ選べ。 4

① $\dfrac{pS}{g}\dfrac{h}{H}$　② $\dfrac{pS}{g}\dfrac{H-h}{H}$　③ $\dfrac{pS}{g}\dfrac{H}{H-h}$

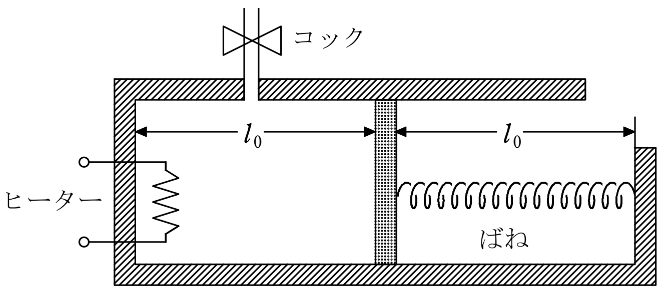
④ $\dfrac{pS}{g}\dfrac{H}{h}$　⑤ $\dfrac{pS}{g}\dfrac{H-h}{h}$　⑥ $\dfrac{pS}{g}\dfrac{h}{H-h}$

3 [2000 センター]

気体の熱的性質について考えよう。

図のような，シリンダーとなめらかに動くピストンからなる断熱容器があり，ピストンにはばねがつけられている。また，シリンダーにはヒーターがつけられており，断熱容器に閉じ込められた気体に外部から熱を加えることができる。さらに，シリンダーにはコックがつけられている。

最初にコックは開かれており，容器内の圧力は大気圧と同じであった。このとき，シリンダーの気体の部分の長さとばねの長さはともに l_0 であり，ばねは自然の長さであった。また，シリンダーの断面積を S，大気圧を p_0，室温を絶対温度で T_0 とする。



(1) コックを閉じ，ヒーターによって熱を与えて容器内の空気を膨張させる。容器内の空気の圧力が $\frac{10}{9}p_0$ となったとき，ばねの長さは $\frac{7}{8}l_0$ となった。ばね定数は $\frac{p_0S}{l_0}$ の何倍か。正しいものを，次の ①～⑧ のうちから1つ選べ。 $\boxed{1}$ 倍

① $\frac{63}{8}$　② $\frac{63}{80}$　③ $\frac{9}{8}$　④ $\frac{9}{80}$

⑤ $\frac{80}{9}$　⑥ $\frac{8}{9}$　⑦ $\frac{80}{63}$　⑧ $\frac{8}{63}$

(2) このとき，容器内の空気の絶対温度は T_0 の何倍か。正しいものを，次の ①～⑥ のうちから1つ選べ。 $\boxed{2}$ 倍

① $\frac{9}{10}$　② $\frac{8}{9}$　③ $\frac{4}{5}$　④ $\frac{5}{4}$　⑤ $\frac{9}{8}$　⑥ $\frac{10}{9}$

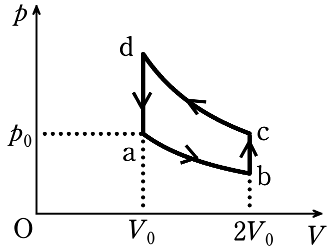
(3) この間に容器内部の空気は，外部 (大気とばね) に対して仕事をする。この仕事は p_0Sl_0 の何倍か。正しいものを，次の ①～⑤ のうちから1つ選べ。 $\boxed{3}$ 倍

① $\frac{25}{144}$　② $\frac{19}{144}$　③ $\frac{17}{144}$　④ $\frac{13}{144}$　⑤ $\frac{11}{144}$

$\boxed{4}$［1994 センター］

密封された n〔mol〕の理想気体について，その状態の変化を考えよう。気体定数（ガス定数）を R，定圧モル比熱を C_p，定積モル比熱を C_v として，次の問いの答えを，それぞれの解答群のうちから１つずつ選べ。

〔A〕 気体に１図のような循環過程 a→b→c→d→a を行わせる。状態 a の圧力，体積，温度（絶対温度）は，それぞれ p_0，V_0，T_0 である。状態 a から温度を一定に保って膨張させ，体積が２倍になった状態を b とする。状態 b から体積を一定に保って温度を変え，圧力が p_0 になった状態を c とする。状態 c から温度を一定に保って体積を V_0 まで圧縮した状態を d とする。さらに，体積を一定に保ったままで温度を変えて最初の状態 a にもどす。



１図

（ⅰ） 状態 b の気体の圧力はいくらか。$\boxed{1}$

① $\frac{1}{4}p_0$　② $\frac{1}{3}p_0$　③ $\frac{1}{2}p_0$　④ $\frac{2}{3}p_0$　⑤ p_0　⑥ $\frac{3}{2}p_0$

（ⅱ） 状態 c の気体の温度はいくらか。$\boxed{2}$

① $\frac{1}{2}T_0$　② T_0　③ $\frac{3}{2}T_0$　④ $2T_0$　⑤ $\frac{5}{2}T_0$　⑥ $3T_0$

（ⅲ） a→b の過程で，気体が外界からされる仕事と外界から吸収する熱量の和はいくらか。$\boxed{3}$

（ⅳ） 状態 d，a の気体の内部エネルギーをそれぞれ U_d，U_a とするとき，d→a の過程での内部エネルギーの変化，$U_a - U_d$ はいくらか。$\boxed{4}$

（ⅴ） 圧力を一定に保って，状態 c から状態 a にもどる過程を考える。この c→a の過程で気体が外界からされる仕事 W と，外界から吸収する熱量 Q は，それぞれいくらか。$W=\boxed{5}$，$Q=\boxed{6}$

$\boxed{3}$～$\boxed{6}$ の解答群

① nRT_0　② $-nRT_0$　③ $2nRT_0$　④ $-2nRT_0$

⑤ nC_pT_0　⑥ $-nC_pT_0$　⑦ $2nC_pT_0$　⑧ $-2nC_pT_0$

⑨ nC_vT_0　⑩ $-nC_vT_0$　⑪ $2nC_vT_0$　⑫ $-2nC_vT_0$

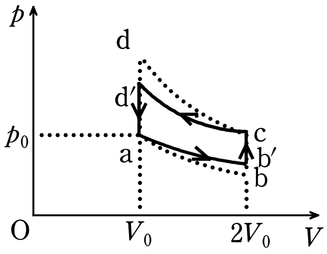
⑬ 0

〔B〕 次に，１図において，状態 a から断熱的に体積を $2V_0$ まで膨張させた状態を b′ とする。また，状態 c から断熱的に V_0 まで圧縮した状態を d′ とする。

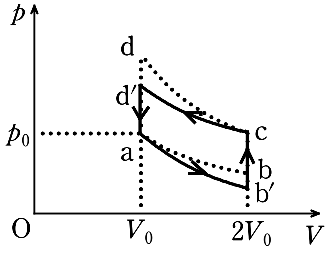
（ⅵ） 気体に循環過程 a→b′→c→d′→a を行わせたときの，気体の圧力 p と体積 V の関係を表すグラフを選べ。ただし，破線は１図の a→b→c→d→a を表す。

$\boxed{7}$

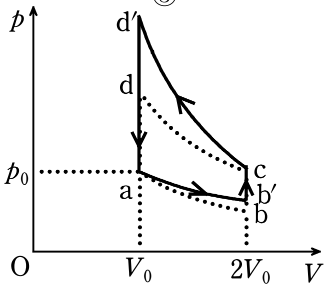
①


p
d
d′
p0
c
b′
b
a
O
V0
2V0
V

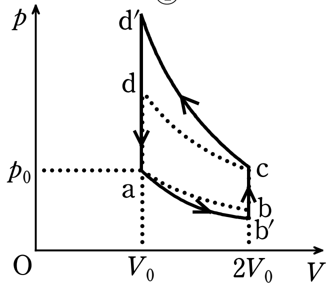
②


p
d
d′
p0
c
b
b′
a
O
V0
2V0
V

③

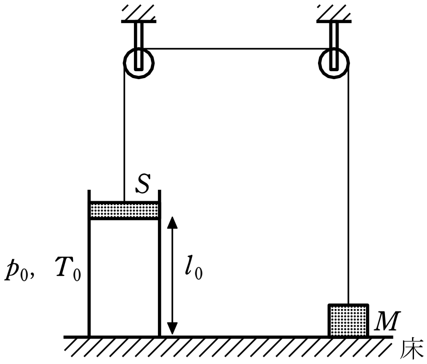

p
d′
d
p0
c
b′
b
a
O
V0
2V0
V

④


p
d′
d
p0
c
b
b′
a
O
V0
2V0
V

5 ［2000 センター物理ⅠB（1997～2005）］

図のように，大気と同じ圧力 p_0，温度 T_0 の気体が閉じ込められた断面積 S のピストン付きシリンダーが床に固定されている。このピストンと床に置かれた質量 M の物体を，滑車を用いてひもにゆるみがないようにつなぐ。このとき，ピストンは床から l_0 の高さであった。ピストンおよびひもの質量は無視でき，ピストンはなめらかに動くものとする。また，重力加速度の大きさを g とする。



(1)　シリンダー内の気体をゆっくり冷やしていくと，はじめのうちはピストンは動かなかったが，ある温度になったときピストンが動いて物体は上がりはじめた。このとき，シリンダー内の気体の圧力 p_1 はいくらか。正しいものを，次の ①～④ のうちから1つ選べ。 $\boxed{1}$

①　p_0　　②　$\dfrac{Mg}{S}$　　③　$p_0+\dfrac{Mg}{S}$　　④　$p_0-\dfrac{Mg}{S}$

(2)　(1) で物体が上がりはじめたときの気体の温度 T_1 はいくらか。正しいものを，次の ①～④ のうちから1つ選べ。 $\boxed{2}$

①　$\dfrac{p_0}{p_1}T_0$　　②　$\dfrac{p_1}{p_0}T_0$　　③　$\dfrac{p_0}{p_1-p_0}T_0$　　④　$\dfrac{p_1-p_0}{p_0}T_0$

(3)　気体をさらに冷やして温度を T にしたとき，物体の床からの高さ h はいくらか。正しいものを，次の ①～⑥ のうちから1つ選べ。 $\boxed{3}$

①　$l_0\left(1-\dfrac{T}{T_1}\right)$　　②　$l_0\left(1-\dfrac{T}{T_0}\right)$　　③　$l_0\left(\dfrac{T}{T_1}-1\right)$

④　$l_0\left(\dfrac{T_1}{T}-1\right)$　　⑤　$l_0\left(\dfrac{T_0}{T}-1\right)$　　⑥　$l_0\left(\dfrac{T}{T_0}-1\right)$

(4)　物体が床から上がりはじめてから高さ h で止まるまでの過程において，気体が受けた仕事はいくらか。正しいものを，次の ①～④ のうちから1つ選べ。 $\boxed{4}$

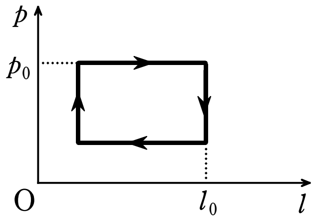
①　$p_0Sh+Mgh$　　②　$-p_0Sh+Mgh$

③　$p_0Sh-Mgh$　　④　$-p_0Sh-Mgh$

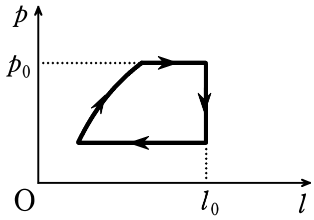
(5)　次に，気体の温度を T に保ったまま，ピストンがゆっくり動くように，この物体を

静かに持ち上げ取りはずした。最後に，気体をゆっくり温めて，気体の圧力と温度をそれぞれ p_0，T_0 にもどした。圧力 p とピストンの高さ l の関係を示すグラフとして，(1) からここまでの一連の過程を表すものはどれか。最も適当なものを，次の ①～④ のうちから1つ選べ。$\boxed{\quad 5 \quad}$

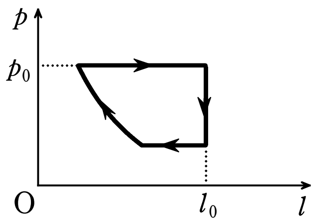
①



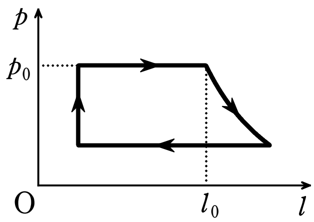
②



③



④



6［2013 宮崎大］

分子数が一定の気体が容器に閉じこめられているとき，温度，体積に応じた一定の圧力が容器の内壁に作用する。この現象を気体の分子運動から考える。次の〔A〕,〔B〕,〔C〕の文章を読み，設問に対する答えを記入せよ。

〔A〕 図1のように，点Oを原点として，x軸，y軸，z軸を考える。いま1辺の長さがaである立方体の容器中に，質量mの分子が1個入っているとする。ただし，この分子は，壁と弾性衝突しているものとする。

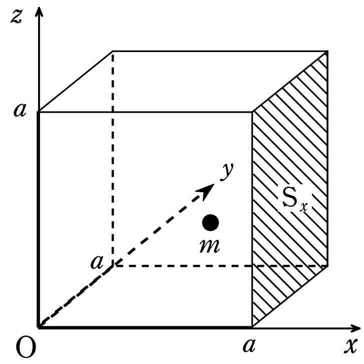


図1

(1) 分子の衝突前の速度を$\vec{v}$とし，$\vec{v}$のx，y，z軸方向の成分をそれぞれv_x，v_y，v_zとする。この分子が壁S_xに1回衝突する前後のx軸方向の運動量変化の大きさを求めよ。

(2) この分子が壁S_xに衝突後，再びこの壁S_xに衝突するまでの時間を求めよ。

(3) この分子が時間tの間に壁S_xに衝突する回数を求めよ。

(4) 時間tの間に壁S_xがこの分子より受ける力積から，壁S_xにはたらく平均の力の大きさを求めよ。

〔B〕 図1の容器内に，質量mの分子がN個入っているとする。ただし，これらの分子は，壁と弾性衝突しているものとする。また，1個の分子の速度を$\vec{v}$，$\vec{v}$のx軸方向の成分をv_xとし，N個の分子についてv_xの2乗を平均したものを$\overline{v_x{}^2}$とする。なお，分子は，他の分子と衝突しないものとする。

(5) 壁S_xがN個の分子から受ける平均の力の大きさを求めよ。

(6) この壁S_xの受ける圧力を求めよ。

(7) 体積が一定の場合，気体の温度が上昇するとき，容器内の圧力が大きくなる理由を説明せよ。

〔C〕 半径rの球形の容器内に質量mの分子が1個入っているとする。点Pにあった分子が，速さvで矢印の向きに進み，容器内壁の点Qで壁と弾性衝突してはねかえったものとする。また図2は，球形の容器の中心Oと点Pおよび点Qを含んだ断面を表しており，$\angle \mathrm{PQO}=\theta$とする。

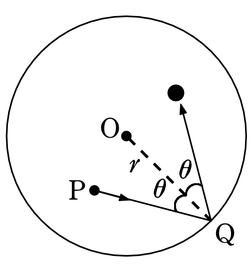


図2

(8) 1回の衝突による分子の運動量変化の大きさを求めよ。

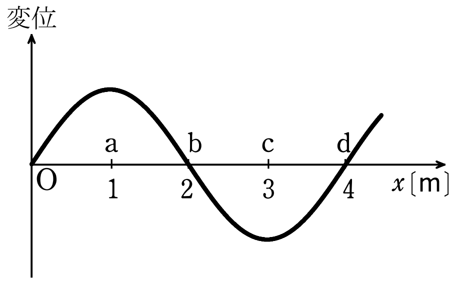
(9) この分子が点Qで衝突後，次に壁に衝突するまでの時間を求めよ。

(10) この分子が時間tの間に壁に衝突する回数を求めよ。

夏期第2講　＜予習問題＞

1 ［2016 センター］

　媒質中を x 軸の正の向きに速さ 340 m/s で伝わる縦波の正弦波を考える。図は時刻 0 s における媒質の変位を x 軸の正の向きの変位を正として表したものである。



(1)　この波の振動数として最も適当な数値を，次の ①～⑤ のうちから 1 つ選べ。

$\boxed{\quad 1 \quad}$ Hz

①　85　　②　170　　③　340　　④　680　　⑤　1360

(2)　図に示す a，b，c，d の位置のうちで，時刻 0 s において，媒質が最も密となる位置として最も適当なものを，次の ①～⑥ のうちから 1 つ選べ。$\boxed{\quad 2 \quad}$

①　a のみ　　②　b のみ　　③　c のみ

④　d のみ　　⑤　a と c　　⑥　b と d

$\boxed{2}$［2003 センター］

図1のように水面の高さを調節して気柱の長さ L を変化させることができるガラス管と，図2のような線密度 ρ の一様な弦がある。その弦の一端は固定されており，他端には滑車を通しておもりがつるされている。弦の長さ l は変化させることができる。

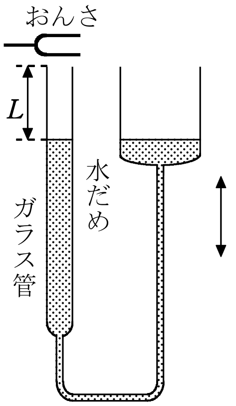


図1

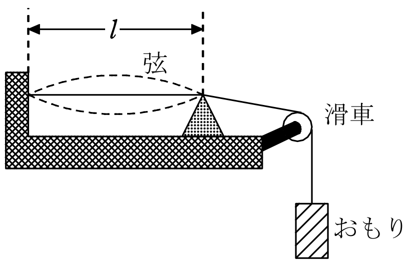


図2

(1)　図1のように，振動数 F をもつおんさをガラス管の管口付近でならしながら，ガラス管内の水面を管口からしだいに下げていくと，$L=L_1$ のときに最初の共鳴が生じ，$L=L_2$ のときに次の共鳴が生じた。空気中での音の速さ V はいくらか。正しいものを，次の ①～⑤ のうちから1つ選べ。$V=\boxed{\ 1\ }$

①　$\frac{1}{4}(L_2-L_1)F$　　②　$\frac{1}{2}(L_2-L_1)F$　　③　$(L_2-L_1)F$

④　$2(L_2-L_1)F$　　⑤　$4(L_2-L_1)F$

(2)　弦の中央を指ではじいたところ，図2のように，振動数 f の基本振動が発生した。l とおもりの質量を変えずに弦の基本振動数を $\frac{f}{2}$ とするためには，ρ の何倍の線密度の弦を用いなければならないか。正しいものを，次の ①～⑥ のうちから1つ選べ。ただし，弦を伝わる波の速さは，弦の線密度の平方根に反比例することが知られている。$\boxed{\ 2\ }$ 倍

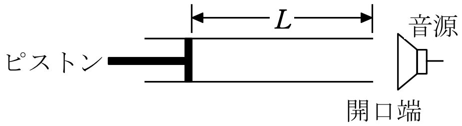
①　$\frac{1}{4}$　　②　$\frac{1}{2}$　　③　$\frac{1}{\sqrt{2}}$　　④　$\sqrt{2}$　　⑤　2　　⑥　4

(3)　弦を伝わる波の速さ v を考える。弦の長さ l を変化させて，弦の基本振動数 f をおんさの振動数 F と等しくした。このときの弦の長さ l を 0.24 m，(1) の気柱の長さ L_1 を 0.20 m，空気中での音の速さ V を 340 m/s としたとき，v はいくらか。最も適当なものを，次の ①～⑤ のうちから1つ選べ。ただし，気柱内の定常波の腹の位置は開口端と一致しているものとする。$\boxed{\ 3\ }$ m/s

①　1.0×10^2　　②　2.0×10^2　　③　3.1×10^2　　④　4.1×10^2　　⑤　5.1×10^2

$\boxed{3}$［2017 秋田大］

次の文章中の $\boxed{\text{ア}}$，$\boxed{\text{イ}}$，$\boxed{\text{オ}}$，$\boxed{\text{カ}}$ を数式で，$\boxed{\text{ウ}}$，$\boxed{\text{エ}}$ を語句で，$\boxed{\text{キ}}$～$\boxed{\text{ケ}}$ を数値で答えよ。



図のように，左側に可動式のピストンをはめこんだ円筒管がある。その右側の開口端付近に音源を置き，そこから音量が一定の音波を放出する。開口端からピストンの壁までの距離 L〔m〕はピストンを動かすことにより変えることができる。管内の音の速さは V〔m/s〕とする。

(1)　音源が発する音波の振動数を f_0〔Hz〕とすると，音波の周期は $\boxed{\text{ア}}$〔s〕，音波の波長は $\boxed{\text{イ}}$〔m〕である。

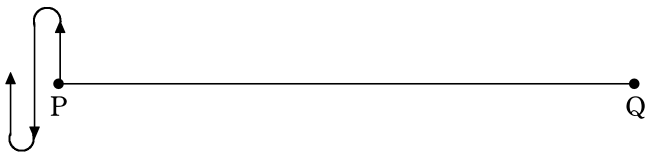
(2)　ここで，開口端補正がないものとする場合を考える。音源が発する音波の振動数を一定にして，開口端に置いたピストンを開口端から遠ざけていくと，$L=L_0$〔m〕のときに，最初の共鳴が起きた。この状態を状態 A とする。状態 A において開口端は定常波の $\boxed{\text{ウ}}$ となっており，ピストンの壁は定常波の $\boxed{\text{エ}}$ となっている。

　ピストンを状態 A の位置で固定したまま，音源が発する音波の振動数を大きくしていくと，何回かの共鳴が起きた。状態 A を 1 回目として，n 回目の共鳴が起きたときの音波の波長は，n，L_0 を用いて $\lambda_n=\boxed{\text{オ}}$〔m〕，振動数は，$n$，$L_0$，$V$ を用いて $f_n=\boxed{\text{カ}}$〔Hz〕と表される。

(3)　次に，開口端補正が無視できない場合を考える。音源が発する音波の振動数を一定にして，ピストンを開口端 ($L=0.0$ cm) から徐々に遠ざけたところ，$L=5.0$ cm のときに 1 回目の共鳴が，$L=18.0$ cm のときに 2 回目の共鳴が起きた。このことより，音波の波長は $\boxed{\text{キ}}$ cm であり，開口端補正は $\boxed{\text{ク}}$ cm であることがわかる。3 回目の共鳴が起きるのは $L=\boxed{\text{ケ}}$ cm のときである。

4 ［2013 関西学院大］

図のように水平に張ったひも PQ の一端 Q を固定し，他端 P を上下に単振動させると，その振動は正弦波の横波として P から Q の方向に伝わり始めた。点 P の変位は時刻 t の関数として $A\sin(20\pi t)$ である。A は単振動の振幅で，ひもの長さに比べて小さな正の値とし，時刻 t の単位を s，位置 x の単位を m とする。横波の伝わる速さが 4 m/s のとき，次の問いに答えよ。文章中の空欄 ア ～ ク に当てはまる適切な式を求めよ。



(1) 点 P の単振動を $t=0$ に開始させたとして，0.1 秒後の波形をかけ。ただしひもの長さ方向を x 軸とし，ひもの変位を y 軸にとって表せ。点 P の変位が 0 のとき点 P は x 軸上の原点 O にあり，点 Q は $x=1.2$ の位置とする。

(2) 数式を用いて (1) の波形を導いてみよう。$0 \leqq t \leqq 0.3$ の場合，位置 x における時刻 t でのひもの変位 y は，時刻 t より ア 秒前の点 P の変位が，同じ大きさのまま速さ 4 m/s でひもを伝わってきたものである。したがって，$y=$ イ となる。ただし，$4t < x \leqq 1.2$ では，$y=$ ウ である。$y=$ イ において，$t=0.1$ を代入した関数は (1) の波形を表している。

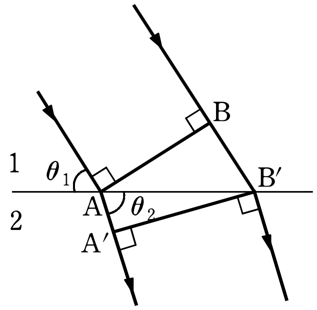
(3) $t=0.5$ における波形をかけ。

(4) $0.3 < t < 0.6$ においては，点 Q まで伝わった波がそこで反射する。反射波を表す数式を導いてみよう。時刻 t における点 Q への入射波の変位は エ であるが，点 Q での変位は常に 0 であるため，いつもこれを打ち消すような反射波が発生し，速さ 4 m/s で点 P の方向に伝わる。したがって，時刻 t，位置 x における反射波の変位は，時刻 t より オ 秒前の点 Q への入射波の変位を求め，その符号を反転したものに等しい。時刻 t，位置 x における反射波の変位を y_2 とすると，反射波が到達している x 座標の範囲内 $(2.4-4t \leqq x \leqq 1.2)$ で，$y_2=$ カ と表すことができる。

(5) $0.3 < t < 0.6$ の場合，時刻 t，位置 x における入射波の変位を y_1 とし，反射波が到達している x 座標の範囲内で，入射波 y_1 と反射波 y_2 を合成したものを，t だけの関数と x だけの関数の積の形で表すと，$y_1+y_2=-2A\cdot$ キ $\cdot$ ク となる。ただし，キ は t だけの関数，ク は x だけの関数とする。

5 ［2015 近畿大］

波の屈折は，媒質によって波の速さが異なるために起こる。図のように，媒質 1 の中を進んできた波は境界面に達すると，屈折して媒質 2 の中を進んでいく。媒質 1，2 の中における波の速さを v_1，v_2 とすると，媒質 1 に対する媒質 2 の相対屈折率は $n_{12}=\dfrac{v_1}{v_2}$ と定義される。



(1)　図に示すように，入射波の進行方向と境界面がなす角を θ_1，屈折波の進行方向と境界面がなす角を θ_2 とする。入射波の波面が AB に達した瞬間から時間 t の後に，波面の一端 B が境界面上の点 B′ に達するとすると，BB′＝［ア］である。この間に A から入った波は A から［イ］だけ離れた点 A′ まで進んでいる。このとき図より，BB′＝［ウ］，AA′＝［エ］と表すこともできる。したがって，θ_1，θ_2，v_1，v_2 の間には［オ］の関係がある。また，波の振動数は屈折によって変化しないので，媒質 1，2 の中での波長を λ_1，λ_2 とすれば，$n_{12}=$［カ］である。

［ア］，［イ］の解答群

①　$\dfrac{1}{2}(v_1-v_2)t$　②　$(v_1-v_2)t$　③　$2(v_1-v_2)t$　④　$\dfrac{1}{2}v_1t$　⑤　v_1t

⑥　$2v_1t$　⑦　$\dfrac{1}{2}v_2t$　⑧　v_2t　⑨　$2v_2t$

［ウ］の解答群

①　$\mathrm{AB}\cos\theta_1$　②　$\mathrm{AB}\sin\theta_1$　③　$\mathrm{AB}\tan\theta_1$　④　$\mathrm{AB'}\cos\theta_1$
⑤　$\mathrm{AB'}\sin\theta_1$　⑥　$\mathrm{AB'}\tan\theta_1$　⑦　$\mathrm{A'B'}\cos\theta_1$　⑧　$\mathrm{A'B'}\sin\theta_1$
⑨　$\mathrm{A'B'}\tan\theta_1$

［エ］の解答群

①　$\mathrm{AB}\cos\theta_2$　②　$\mathrm{AB}\sin\theta_2$　③　$\mathrm{AB}\tan\theta_2$　④　$\mathrm{AB'}\cos\theta_2$
⑤　$\mathrm{AB'}\sin\theta_2$　⑥　$\mathrm{AB'}\tan\theta_2$　⑦　$\mathrm{A'B'}\cos\theta_2$　⑧　$\mathrm{A'B'}\sin\theta_2$
⑨　$\mathrm{A'B'}\tan\theta_2$

［オ］の解答群

①　$\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\dfrac{v_1}{v_2}$　②　$\dfrac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\dfrac{v_1}{v_2}$　③　$\dfrac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2}=\dfrac{v_1}{v_2}$

④　$\dfrac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1}=\dfrac{v_1}{v_2}$　⑤　$\dfrac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}=\dfrac{v_1}{v_2}$　⑥　$\dfrac{\tan\theta_2}{\tan\theta_1}=\dfrac{v_1}{v_2}$

［カ］の解答群

①　$\lambda_1\lambda_2$　②　$\sqrt{\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}}$　③　$\sqrt{\dfrac{\lambda_2}{\lambda_1}}$　④　$\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}$

⑤ $\dfrac{\lambda_2}{\lambda_1}$　⑥ $\left(\dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^2$　⑦ $\left(\dfrac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^2$

(2) 図において，n_{12} が 1 より大きいとき，媒質 2 から 1 へ進行する波を考える。この場合の入射波が境界面となす角 θ_2 を小さくして $\boxed{\text{キ}}$ の関係を満たすようになると，波がすべて反射する全反射が起こる。

$\boxed{\text{キ}}$ の解答群

① $\sin\theta_2 = 1$　② $\sin\theta_2 = n_{12}$　③ $\sin\theta_2 = \dfrac{1}{n_{12}}$　④ $\cos\theta_2 = 1$

⑤ $\cos\theta_2 = n_{12}$　⑥ $\cos\theta_2 = \dfrac{1}{n_{12}}$　⑦ $\tan\theta_2 = 1$　⑧ $\tan\theta_2 = n_{12}$

⑨ $\tan\theta_2 = \dfrac{1}{n_{12}}$

$\boxed{1}$［2017 センター］

音波に関する次の文章を読み，下の問い((1)〜(3))に答えよ。

音のドップラー効果について考える。音源，観測者，反射板はすべて一直線上に位置しているものとし，空気中の音の速さは V とする。また，風は吹いていないものとする。

(1) 次の文章中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$・$\boxed{\text{イ}}$ に入れる語句と式の組合せとして最も適当なものを，下の ①〜⑨ のうちから1つ選べ。$\boxed{1}$

図1のように，静止している振動数 f_1 の音源へ向かって，観測者が速さ v で移動している。このとき，観測者に聞こえる音の振動数は $\boxed{\text{ア}}$，音源から観測者へ向かう音波の波長は $\boxed{\text{イ}}$ である。

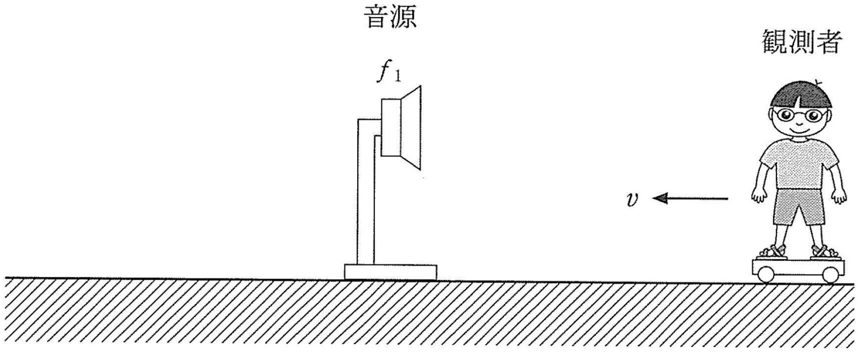


図 1

	ア	イ
①	f_1 よりも小さく	$\dfrac{V-v}{f_1}$
②	f_1 よりも小さく	$\dfrac{V}{f_1}$
③	f_1 よりも小さく	$\dfrac{V^2}{(V+v)f_1}$
④	f_1 と等しく	$\dfrac{V-v}{f_1}$
⑤	f_1 と等しく	$\dfrac{V}{f_1}$
⑥	f_1 と等しく	$\dfrac{V^2}{(V+v)f_1}$
⑦	f_1 よりも大きく	$\dfrac{V-v}{f_1}$
⑧	f_1 よりも大きく	$\dfrac{V}{f_1}$
⑨	f_1 よりも大きく	$\dfrac{V^2}{(V+v)f_1}$

(2) 図2のように，静止している観測者へ向かって，振動数 f_2 の音源が速さ v で移動している。音源から観測者へ向かう音波の波長 λ を表す式として正しいものを，下の ①～⑤ のうちから1つ選べ。$\lambda=$ $\boxed{2}$

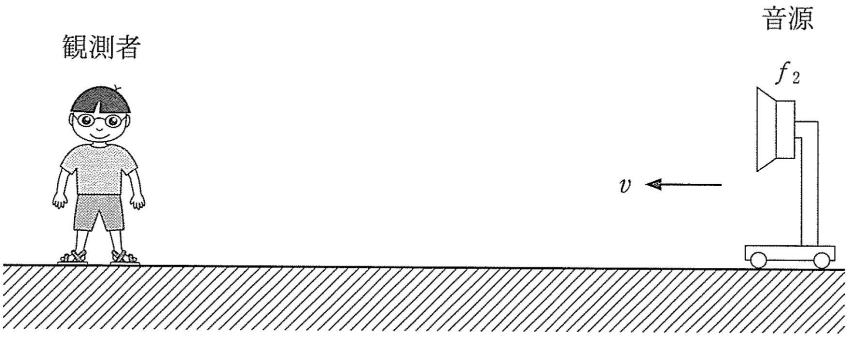


図 2

① $\dfrac{V}{f_2}$ ② $\dfrac{V-v}{f_2}$ ③ $\dfrac{V+v}{f_2}$

④ $\dfrac{V^2}{(V-v)f_2}$ ⑤ $\dfrac{V^2}{(V+v)f_2}$

(3) 図3のように，静止している振動数 f_1 の音源へ向かって，反射板を速さ v で動かした。音源の背後で静止している観測者は，反射板で反射した音を聞いた。その音の振動数は f_3 であった。反射板の速さ v を表す式として正しいものを，下の ①～⑧ のうちから1つ選べ。$v=$ $\boxed{3}$

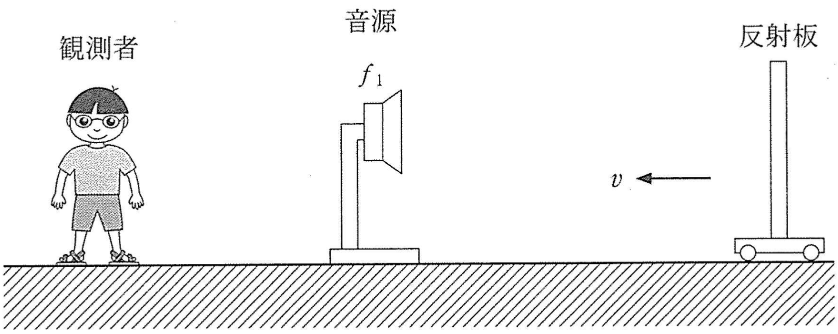


図 3

① $\dfrac{f_3-f_1}{f_3+f_1}V$ ② $\dfrac{f_3+f_1}{f_3-f_1}V$ ③ $\dfrac{f_3-f_1}{f_1}V$ ④ $\dfrac{f_3-f_1}{f_3}V$

⑤ $\sqrt{\dfrac{f_3-f_1}{f_1}}V$ ⑥ $\sqrt{\dfrac{f_3-f_1}{f_3}}V$

⑦ $\dfrac{\sqrt{f_3}-\sqrt{f_1}}{\sqrt{f_1}}V$ ⑧ $\dfrac{\sqrt{f_3}-\sqrt{f_1}}{\sqrt{f_3}}V$

2 ［2017 関西学院大］

風が吹いていない状態で，ある音源から常に一定の振動数 f の音波が発せられている。音源と観測者が静止している場合の音の速さは V であった。以下では音源と観測者はどちらが動く場合も，両者は常に同じ直線上にあるとする。また，音波の1波長分を1個の波と数える。次の問いに答えよ。

(1)　音源と観測者が静止しており，音源と観測者の距離は L であった。この距離 L の間に波は何個入っているか。

観測者は静止しており，音源が観測者に向かって速さ v_0 で動く場合を考える。ただし，$v_0 < V$ とする。

(2)　観測者に対する音の速さはいくらか。

(3)　時刻0において音源と観測者の距離は L であった。時刻0において音源の位置にあった音波の波面が観測者に到達した時刻には，音源と観測者の距離はいくらになっているか。また，このとき，音源と観測者の間には何個の波が入っているか。

(4)　観測者が聞く音波の波長と，振動数はいくらか。

次に，音源は静止しており，観測者が速さ u で音源に向かって進む場合を考える。ただし，$u < V$ とする。

(5)　時刻0において音源と観測者の距離は L であった。時刻0において観測者の位置にあった音波の波面は，観測者が音源に到達した時刻には，音源からいくらの距離にまで達しているか。

(6)　観測者は時刻0から音源に到達するまでの間に，何個の波を受け取るか。

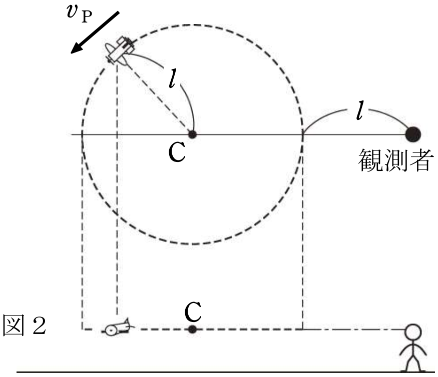
(7)　観測者が聞く音波の振動数はいくらか。

3 ［2014 岡山大］

静止時に振動数 f の音を出す模型飛行機が，点 C を中心とした，周期 T，半径 l の等速円運動をしている。模型飛行機は，上空から見て，反時計回りに，速さ v_P で運動している。観測者は，点 C から $2l$ 離れた位置で，この模型飛行機から発せられる音の振動数を測定している。模型飛行機の運動面は観測者の頭と同じ高さの水平面内にある。この状況を上から見たのが図 1 であり，横から見たのが図 2 である。音の速さを v_S，風はないものとし，(1)〜(3) は，問題文中で与えられた記号 f，l，v_S，v_P，T のうち必要なものを用いて答えよ。

図 1

図 2



観測者の聞く音の振動数は連続的に変化するが，このうち，いちばん高い振動数を f_H，いちばん低い振動数を f_L とする。

(1) f_H と f_L を求めよ。また，これらの振動数の音は，模型飛行機がどの位置にあるときに発せられたかを，それぞれ，f_H，f_L の記号とともに，図 3 に丸印で記入せよ。

(2) 観測者は，途中で振動数 f の音を聞く。この音は，模型飛行機がどの位置にあるときに発せられたかを，図 3 に丸印で記入せよ。また，観測者がこの振動数 f の音を聞く時間間隔を求めよ。位置，時間間隔ともに，答えが 2 つあることに注意せよ。

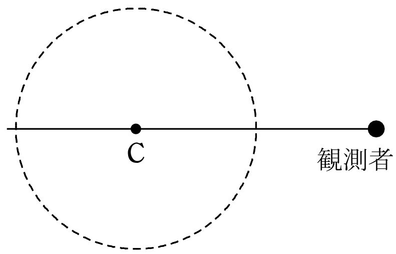
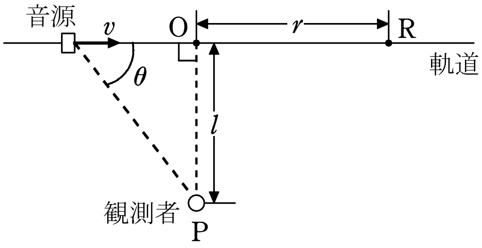


図 3

(3) 観測者が，振動数 f の音を聞いてから，次に振動数のいちばん高い音 f_H を聞くまでの時間を求めよ。答えが 2 つあることに注意せよ。

(4) (1) で測定した音の振動数 f_L と f_H の比の値が $\dfrac{7}{8}$ で，いちばん高い振動数 f_H の音が聞こえてからいちばん低い振動数 f_L の音が聞こえるまでが 4.0 s であった。音の速さ v_S を 345 m/s としたとき，v_P，l および T を求めよ。ただし，$\pi = 3.14$ として，有効数字を考慮して計算せよ。

$\boxed{4}$ [2003 岐阜大]



電車が警笛を鳴らしながら目の前を通り過ぎていくとき，その警笛の音の高さは電車が静止しているときに聞く音に比べて，近づくときにはより $\boxed{\text{ア}}$ く聞こえ，遠ざかるときはその逆である。このような現象を音波の $\boxed{\text{イ}}$ という。

さて，図のように，点Pの位置に静止している観測者の前を，振動数 f_0 の音波を発する音源を備えた超高速列車が直線軌道を音の速さ V より遅い速さ v で通過していく場合を考える。点Pと軌道までの距離を l として以下の問いに答えよ。

(1) 文中の $\boxed{}$ にあてはまることばを記せ。

(2) 音源と点Pを結ぶ直線と列車の進行方向とのなす角度が θ の地点で音源が発した音波を観測者が観測したところ，その振動数は f であった。f を f_0，V，v および θ を用いて表せ。

(3) 音源の速さ v が音の速さ V の2分の1である場合に，音源が $\theta=60°$ の地点で発した音波を観測者が観測すると，その振動数は f_1 であった。f_1 を f_0 を用いて表せ。

(4) (3)と同様に $v=\dfrac{1}{2}V$ である場合に，音源が観測者の正面(点Oの位置)で発した音波を観測者が受けた瞬間に，観測者はその受けた音波と同じ振動数 f_2 の音波を送り返した。f_2 を f_0 を用いて表せ。

(5) (4)で観測者が送った音波は，音源が点Oから距離 r だけ離れた点Rの位置に達したときに音源に届いた。距離 r を l を用いて表せ。

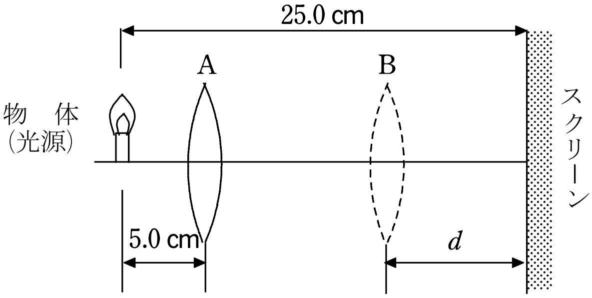
(6) (4)で観測者が送った音波を，移動する列車上の音波の位置に置かれた測定器により，点Rの位置を通過するとき観測したところ，その振動数は f_3 であった。f_3 を f_2 を用いて表せ。

夏期第4講 ＜予習問題＞

1 ［2010 センター］

図のように，物体（光源）から 25.0 cm の位置にスクリーンを置き，凸レンズを物体とスクリーンの間で移動させたところ，図の A と B の 2 つの位置でスクリーン上に物体の実像が生じた。A と物体の距離は 5.0 cm であった。ただし，図における長さの関係は正確ではない。

(1) このレンズの焦点距離 f，および B とスクリーンの距離 d は，それぞれいくらになるか。最も適当な数値の組合せを，下の ①～⑨ のうちから 1 つ選べ。 1



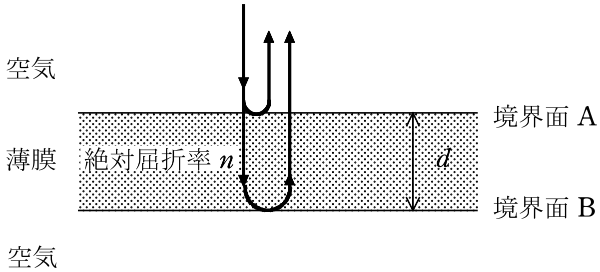
	f〔cm〕	d〔cm〕
①	4.0	4.0
②	4.0	5.0
③	4.0	6.9
④	5.0	4.0
⑤	5.0	5.0
⑥	5.0	6.9
⑦	6.7	4.0
⑧	6.7	5.0
⑨	6.7	6.9

(2) レンズの位置が A のときにスクリーン上に生じた実像の倍率はいくらか。最も適当な数値を，次の ①～⑥ のうちから 1 つ選べ。 2 倍

① 0.25　② 0.80　③ 1.0　④ 1.3　⑤ 4.0　⑥ 5.0

$\boxed{2}$［2016 センター］

図のように，振動数 f の単色光が,空気中から一様な厚さ d の薄膜に垂直に入射している。境界面 A で反射した光と，境界面 B で反射した光は，空気中で干渉する。空気の絶対屈折率を 1，薄膜の絶対屈折率を n とする。光の位相は，境界面 A で反射するときには π だけ変化するが、境界面 B で反射するときには変化しない。



(1) 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正しいものを，下の ① ～⑧ のうちから1つ選べ。$\boxed{1}$

境界面 A から薄膜に入り境界面 B で反射した光は，再び境界面 A に到達する。この光が薄膜内を往復するのに要する時間 t は，真空中における光の速さを c として，$\boxed{\text{ア}}$ と表される。また，境界面 A と境界面 B で反射した 2 つの光が強めあう条件は，m を正の整数として，$t=\boxed{\text{イ}}$ と表される。

	ア	イ
①	$\dfrac{2d}{nc}$	$\dfrac{m}{f}$
②	$\dfrac{2d}{nc}$	$\left(m-\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{1}{f}$
③	$\dfrac{2d}{nc}$	$\dfrac{mn}{f}$
④	$\dfrac{2d}{nc}$	$\left(m-\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{n}{f}$
⑤	$\dfrac{2nd}{c}$	$\dfrac{m}{f}$
⑥	$\dfrac{2nd}{c}$	$\left(m-\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{1}{f}$
⑦	$\dfrac{2nd}{c}$	$\dfrac{mn}{f}$
⑧	$\dfrac{2nd}{c}$	$\left(m-\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{n}{f}$

(2) 次の文章中の空欄 $\boxed{\text{ウ}}$ 〜 $\boxed{\text{オ}}$ に入れる語の組合せとして最も適当なものを，下の ①〜⑥ のうちから1つ選べ。$\boxed{2}$

厚さを調節できる薄膜に対して垂直に単色光を入射させた。薄膜が光の波長より十分に薄いとき，単色光の色によらず2つの反射光は $\boxed{\text{ウ}}$ あった。その状態から薄膜を徐々に厚くしていくと，2つの反射光は一度 $\boxed{\text{エ}}$ あった後，厚さ d_1 のとき再び $\boxed{\text{ウ}}$ あった。単色光が赤色，緑色，青色の場合で比較すると，d_1 が最も小さいのは $\boxed{\text{オ}}$ 色の場合であった。

	ウ	エ	オ
①	弱　め	強　め	赤
②	弱　め	強　め	緑
③	弱　め	強　め	青
④	強　め	弱　め	赤
⑤	強　め	弱　め	緑
⑥	強　め	弱　め	青

3 [2017 センター物理（2015～　　）]

図1のように，空気中で平面ガラス板Aの一端を平面ガラス板Bの上に置き，Oで接触させた。Oから距離Lの位置に厚さaの薄いフィルムをはさんで，ガラス板の間にくさび形のすきまをつくり，ガラス板の真上から波長λの単色光を入射させた。ただし，空気に対するガラスの屈折率は1.5である。屈折率の小さい媒質を進んできた光が，屈折率の大きい媒質との境界面で反射するときは，位相が反転(πだけ変化)する。

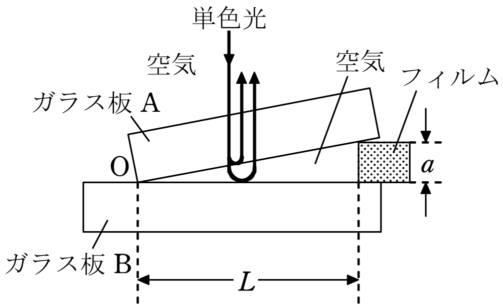


図　1

(1)　ガラス板の真上から観察したとき，ガラス板Aの下面で反射する光と，ガラス板Bの上面で反射する光とが干渉し，明線と暗線が並ぶ縞模様が見えた。隣りあう明線の間隔dとして正しいものを，次の①～⑥のうちから1つ選べ。$d=$ $\boxed{\ 1\ }$

① $\dfrac{L\lambda}{4a}$　② $\dfrac{L\lambda}{2a}$　③ $\dfrac{3L\lambda}{4a}$

④ $\dfrac{L\lambda}{a}$　⑤ $\dfrac{3L\lambda}{2a}$　⑥ $\dfrac{2L\lambda}{a}$

(2)　次の文章中の空欄 $\boxed{\ ア\ }$・$\boxed{\ イ\ }$ に入れる語と式の組合せとして最も適当なものを，下の①～⑥のうちから1つ選べ。$\boxed{\ 2\ }$

ガラス板の真下から透過光を観測した。図2のように，反射せずに透過する光と，2回反射したのち透過する光とが干渉し，真上から見たとき明線のあった位置には $\boxed{\ ア\ }$ が見えた。このとき，隣りあう明線の間隔はdであった。

次に，空気に対する屈折率n $(1<n<1.5)$の液体ですきまを満たしたところ，真下から見た隣りあう明線の間隔は $\boxed{\ イ\ }$ であった。

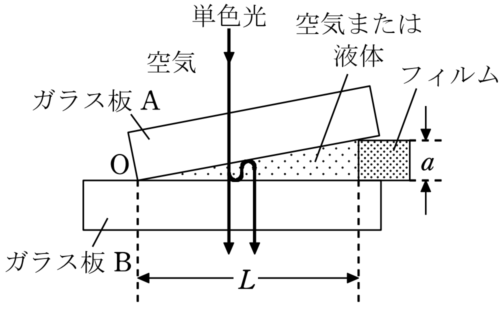


図　2

	ア	イ
①	明 線	d
②	明 線	nd
③	明 線	$\dfrac{d}{n}$
④	暗 線	d
⑤	暗 線	nd
⑥	暗 線	$\dfrac{d}{n}$

4 ［2012 センター］

図1のように，スリットが間隔 d で並んだ回折格子に，単色光を垂直に入射させると，隣りあうスリットを通る光が強めあう方向に明線が生じる。図2(a)のように，半径 1.0 m の円筒状のスクリーンを設置し，その中心軸上にスリットの向きと中心軸が平行になるように回折格子を置く。図2(b)は，図2(a)を真上から見た図である。図2(b)のように，回折格子に垂直に単色光を入射させ，入射光の進行方向と回折光の進行方向のなす角度を θ として，スクリーン上に現れる明線を $-60° < \theta < 60°$ の範囲で観測する。回折格子の位置を原点Oとして，入射光および円筒の中心軸に垂直な方向に x 軸を定める。

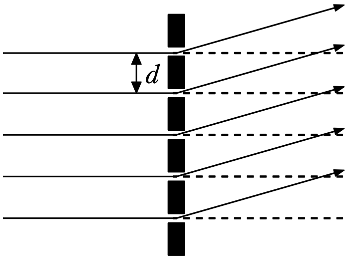


図1

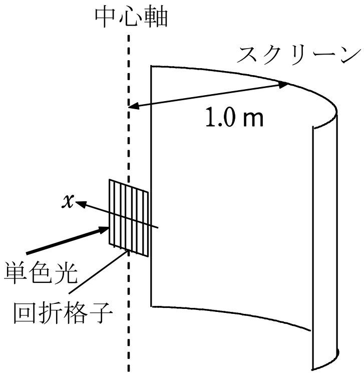


図2（a）

(真上から見た図)

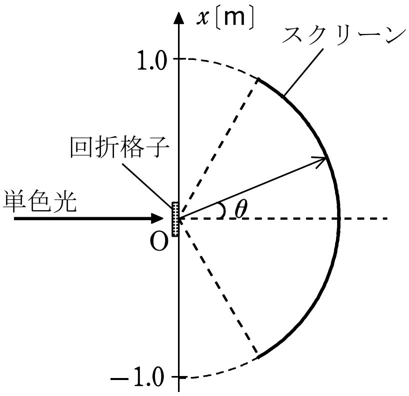


図2（b）

(1)　スリットの間隔 d が 1.2×10^{-6} m の回折格子に，波長が 6.0×10^{-7} m の単色光を入射させたとき，スクリーン上（$-60° < \theta < 60°$）に現れる明線の数はいくつか。次の ① ～ ④ のうちから1つ選べ。ただし，必要であれば $\sin 60° \fallingdotseq 0.87$ を用いてもよい。

$\boxed{\;1\;}$

①　1　　②　3　　③　5　　④　7

(2) (1) で使用した回折格子をとりはずし，スリットの間隔がわかっていない回折格子にとりかえる。この回折格子に，赤色の単色光と青色の単色光を同時に入射させたところ，スクリーンの $0° < \theta < 60°$ の範囲には，図3のP，Q，Rの位置にのみ明線が観測された。3本の明線のうち，青色の明線はどれか。最も適当なものを，下の ①～⑥ のうちから1つ選べ。 $\boxed{\ 2\ }$

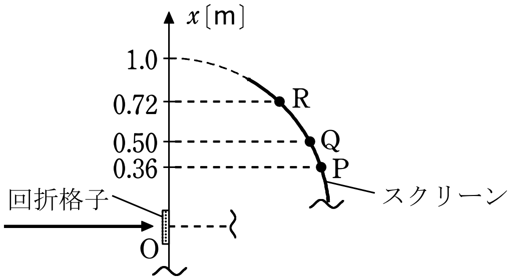


図3

① Pのみ　② Qのみ　③ Rのみ　④ PとQ　⑤ QとR
⑥ PとR

5 ［2016 大阪市立大］

図１のように，光源ランプＱから出た波長 λ〔m〕の単色光が細いスリットＳ，２本の細いスリットＡ，Ｂを通り，スクリーンＷに達する。スリットＡ，Ｂの間隔は d〔m〕であり，ＡとＢはスリットＳから等距離にある。スクリーンＷはスリットＡ，Ｂを含む面に平行で l〔m〕だけ離れ，Ｗ上には光の干渉による明暗の縞模様が現れている。点ＯはスリットＳとスリットＡ，Ｂの中点を結んだ直線がスクリーンＷと交わる点である。点Ｏを原点として，図１の上向きに X 軸をとる。次の問いに答えよ。

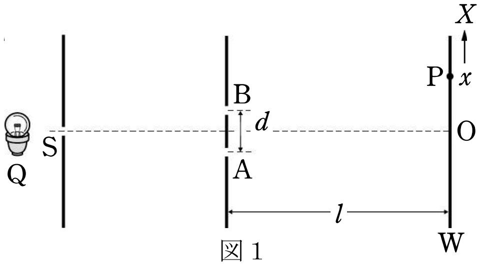


図１

(1)　スリットＳの役割を述べよ。

スクリーンＷ上のある点Ｐの座標を x〔m〕とする。最初，点Ｐ上では光は弱めあっていた。

(2)　経路差 AP−BP を l，d，x を用いて表せ。ただし，d，$|x|$ は l に比べて十分小さいとする。必要があれば，$|y| \ll 1$ のとき，$(1+y)^a \fallingdotseq 1+ay$ を用いよ。

(3)　点Ｐにおいて光が弱めあうための，x が満たすべき条件を求めよ。ただし，空気の屈折率を１とする。

次に，図２のようにスリットＢを屈折率 n，厚さ t〔m〕の透明な薄膜でＳ側からおおったところ，スクリーンＷ上の明線が移動した。ただし，$n>1$ であり，スリットＳとスリットＡ，Ｂは十分離れているとする。

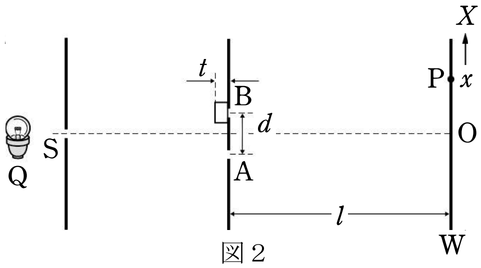


図２

(4)　明線が移動した向きと距離を求めよ。

(5)　明線が移動したことにより，点Ｐで光が強めあった。この条件を満たす薄膜の屈折率のうち，最小のものを求めよ。

6 ［2016 岡山大］

図1と図2に示すように，空気中において，一定の厚さ d の薄膜が液体の表面をおおっている。空気から薄膜へ波長 λ の光を入射した場合に，反射光および透過光の干渉について考える。ただし，空気の屈折率を1，薄膜の屈折率を n_1 (>1)，液体の屈折率を n_2 (>1) とする。また，点Aと点Eで入射光は同位相とする。次の問いに答えよ。(3)〜(5) では，｛　｝内の記号のうち，必要なものを用いて答えよ。

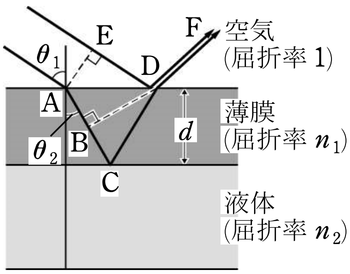


図1

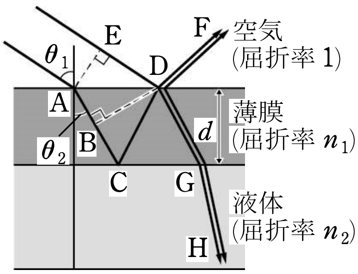


図2

図1のように，点A→点C→点D→点F(経路1)を通る反射光と，点E→点D→点F(経路2)を通る反射光の干渉について考える。

(1)　薄膜内における光の波長を求めよ。

(2)　入射角 θ_1 と屈折角 θ_2 の間に成りたつ関係式を求めよ。

(3)　点Aと点Bの間に含まれる波の数と点Eと点Dの間に含まれる波の数を求めよ。ただし，点Dから下ろした垂線が線分ACと交わる点を点B，線分ADの長さを $\overline{\mathrm{AD}}$ とする。波の数は1波長を単位として数える。$\{\theta_1,\ \lambda,\ \overline{\mathrm{AD}}\}$

(4)　経路1を通る反射光と経路2を通る反射光の間に位相差をもたらす経路差を求めよ。さらに，光路差を求めよ。$\{n_1,\ n_2,\ d,\ \theta_1,\ \theta_2\}$

(5)　点Dから点Fに向かう2つの反射光が干渉によって強めあうとき，波長 λ を負でない整数 m を含む式で表せ。$n_1>n_2$ の場合と $n_1<n_2$ の場合に分けて求めよ。
$\{n_1,\ n_2,\ d,\ \theta_1,\ \theta_2,\ m\}$

次に，図2のように，点A→点C→点D→点G→点H(経路3)を通る透過光と，点E→点D→点G→点H(経路4)を通る透過光の干渉について考える。

(6)　点Dから点Fに向かう2つの反射光が干渉によって強めあうとき，経路3と経路4を通る2つの透過光は干渉によって強めあうか，それとも弱めあうか。正しい方を答えよ。さらに，その理由を「光路差」と「位相差」という用語を使って述べよ。

7 [2015 センター]

図1(a)のように，透明なプラスチックでできた半径 d の十分に長い円柱が空気中で鉛直に立てられており，その中心軸上に点光源Oが埋め込まれている。このプラスチックの屈折率を n，空気の屈折率を1とする。

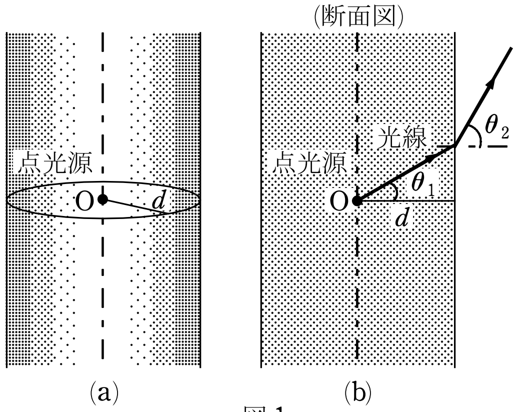


図1

(1) 図1(b)に示すように，水平面に対し角度 θ_1 で光源から出た光線を考える。この光線は，円柱の表面で屈折する。この屈折光の水平面に対する角度は θ_2 であった。このとき，角度 θ_1 と θ_2 の関係として正しいものを，次の ①～⑥ のうちから1つ選べ。

$\boxed{\ 1\ }$

① $n\cos\theta_1=\sin\theta_2$　② $\cos\theta_1=n\sin\theta_2$　③ $n\sin\theta_1=\sin\theta_2$

④ $\sin\theta_1=n\sin\theta_2$　⑤ $n\cos\theta_1=\cos\theta_2$　⑥ $\cos\theta_1=n\cos\theta_2$

(2) 図2のように黒い帯で円柱を覆うことにより，(1)で考えたような屈折光のすべてを円柱の外部から見えなくすることができる。これに必要な帯の最小幅 w として正しいものを，下の ①～⑧ のうちから1つ選べ。$w=\boxed{\ 2\ }$

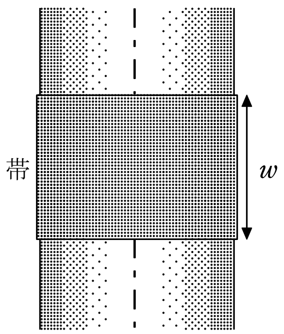


図2

① $\dfrac{d}{2}$　② $2d$　③ $\dfrac{d}{2n^2}$　④ $\dfrac{2d}{n^2}$

⑤ $\dfrac{d}{2\sqrt{n^2-1}}$　⑥ $\dfrac{2d}{\sqrt{n^2-1}}$　⑦ $\dfrac{d}{2(n^2-1)}$　⑧ $\dfrac{2d}{n^2-1}$

1 ［2009 センター］

図 1 のような装置は箔(はく)検電器とよばれ，箔の開き方から電荷の有無や帯電の程度を知ることができる。箔検電器を用いて行う静電気の実験について考えよう。

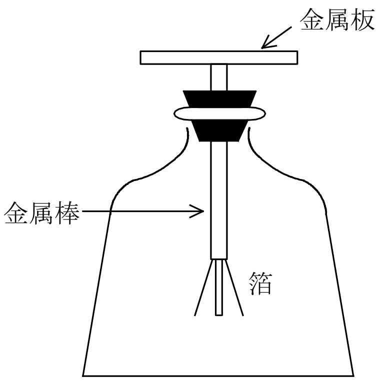


図 1

(1) 箔検電器の動作を説明する次の文章の空欄 ア ～ ウ に入れる記述 a～c の組合せとして最も適当なものを，下の ①～⑥ のうちから 1 つ選べ。 1

帯電していない箔検電器の金属板に正の帯電体を近づけると， ア ため自由電子が引き寄せられる。その結果，金属板は負に帯電する。一方，箔検電器内では イ ため帯電体から遠い箔の部分は自由電子が減少して正に帯電する。帯電した箔は， ウ ため開く。

a　同種の電荷は互いに反発しあう

b　異種の電荷は互いに引き合う

c　電気量の総量は一定である

	ア	イ	ウ
①	a	b	c
②	a	c	b
③	b	a	c
④	b	c	a
⑤	c	a	b
⑥	c	b	a

(2) 箔検電器に電荷 Q を与えて，図 2(a) で示したように箔を開いた状態にしておいた。次に箔検電器の金属板に，負に帯電した塩化ビニル棒を遠方から近づけたところ，箔の開きは次第に減少して図 2(b) のように閉じた。初めに与えた電荷 Q と図 2(b) の状態の金属板の部分にある電荷 Q' にあてはまる式の組合せとして正しいものを，下の ①～⑥ のうちから 1 つ選べ。 2

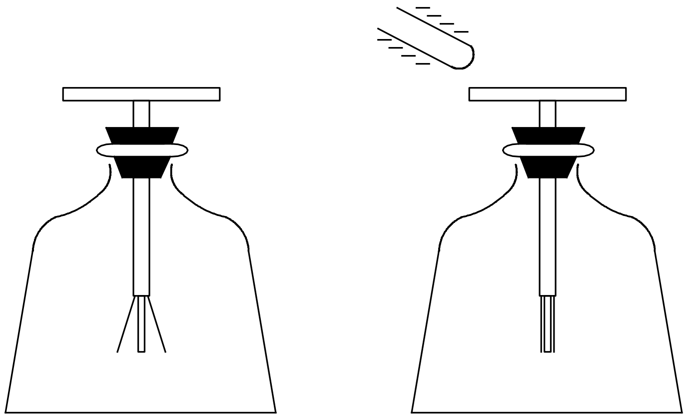


図２

① $Q>0$，$Q'>0$
② $Q>0$，$Q'=0$
③ $Q>0$，$Q'<0$
④ $Q<0$，$Q'>0$
⑤ $Q<0$，$Q'=0$
⑥ $Q<0$，$Q'<0$

(3) 図２(b)の状態からさらに棒を近づけると再び箔は開いた。このとき箔の部分にある電荷は正負いずれか。また，その状態のまま図３のように金属板に指で触れた。指で触れているときの箔の開きは，触れる前と比べてどうなるか。電荷の正負と箔の開き方の組合せとして最も適当なものを，下の ①～⑥ のうちから１つ選べ。$\boxed{\ 3\ }$

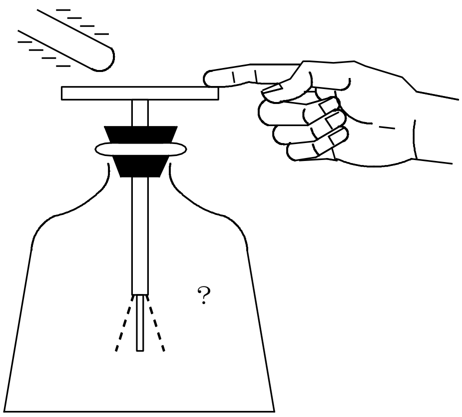
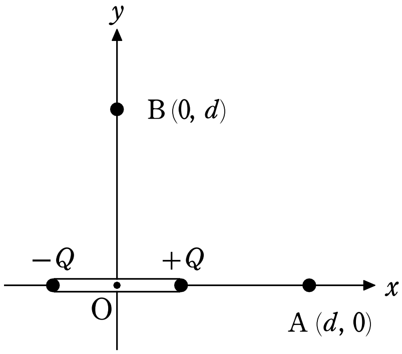


図３

	電荷の正負	箔の開き方
①	正	大きくなる
②	正	変わらない
③	正	小さくなる
④	負	大きくなる
⑤	負	変わらない
⑥	負	小さくなる

$\boxed{2}$［1997 センター］

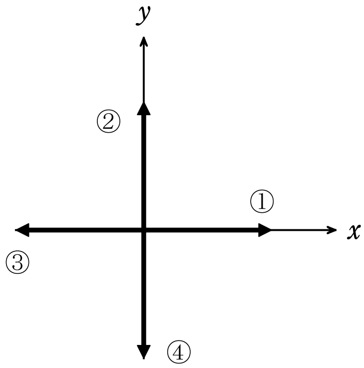
図のように，中心が原点に固定され xy 面内で回転できる絶縁体の棒が，x 軸上に置かれている。その両端の点にそれぞれ $+Q\,(>0)$，$-Q$ の電荷を置いた。点 A$\,(d,\ 0)$は x 軸上に，点 B$\,(0,\ d)$ は y 軸上にある。



(a)　点 A と点 B での電界 (電場) の向きとして正しいものを，次の ①〜④ のうちから 1 つずつ選べ。

点 A での電界の向きは $\boxed{\ 1\ }$

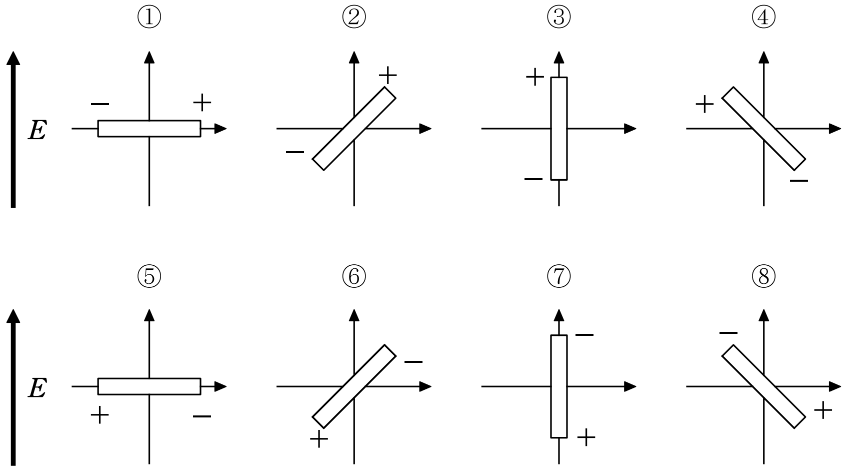
点 B での電界の向きは $\boxed{\ 2\ }$



(b)　点 B での電位について，次の ①〜⑤ のうちから正しい記述を 1 つ選べ。$\boxed{\ 3\ }$

①　d の値を 0 から大きくしていくと，電位は高くなる。
②　d の値を 0 から大きくしていくと，電位は低くなる。
③　d の値を 0 から大きくしていくと，電位ははじめ低くなり，その後高くなる。
④　d の値を 0 から大きくしていくと，電位ははじめ高くなり，その後低くなる。
⑤　d の値によらず，電位は一定の値をとる。

(c)　y 軸の正の方向に電界 E をかけたところ，絶縁体の棒はエネルギーが最も低くなる向きで静止した。このときの棒の向きはどうなっているか。次の ①〜⑧ のうちから正しいものを 1 つ選べ。$\boxed{\ 4\ }$



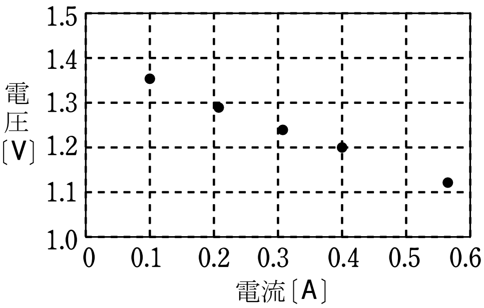
3 [2010 センター]

電池を含む回路について考える。

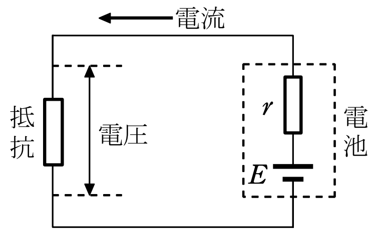
(1) 次の文章中の空欄 ア ・ イ に入れる数値の組合せとして最も適当なものを，下の ①〜⑥ のうちから1つ選べ。 1

5つの異なる抵抗をそれぞれ電池に接続し，抵抗両端の電圧と流れる電流を測定したところ，図1(a)の結果を得た。これは，図1(b)のように，電池を，内部抵抗とよばれる抵抗 r と電圧(起電力) E の直流電源が，直列接続されたものと考えることにより説明される。

図1の結果から，E は ア V，r は イ Ω と求められる。



(a)



(b)

図1

	ア	イ
①	1.30	0.50
②	1.30	1.0
③	1.40	0.50
④	1.40	1.0
⑤	1.50	0.50
⑥	1.50	1.0

(2) 図2に示すように，長さ L，抵抗 R の細長い一様な抵抗線ABに，移動できる接点Cを設ける。A，Bに電圧が一定の直流電源をつなぎ，B，Cには起電力 E，内部抵抗 r の電池と検流計およびスイッチをつないだ。BC間の距離が x のとき，スイッチを閉じても検流計の針は振れなかった。このとき，BC間の抵抗線の抵抗およびBC間の電圧として正しいものを，下のそれぞれの解答群から1つずつ選べ。

(ア) BC間の抵抗 2

(イ) BC間の電圧 3

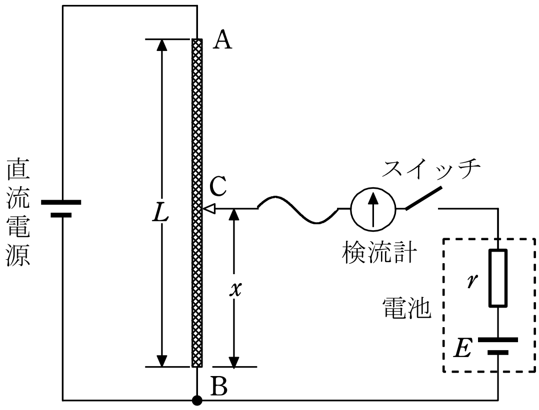


図２

$\boxed{2}$ の解答群

① $R\dfrac{L}{x}$　② $R\dfrac{x}{L}$　③ $R\dfrac{L-x}{L}$　④ R　⑤ $R\dfrac{L-x}{x}$

⑥ $R\dfrac{x}{L-x}$

$\boxed{3}$ の解答群

① $E\dfrac{L}{x}$　② $E\dfrac{x}{L}$　③ $E\dfrac{L-x}{x}$　④ E　⑤ $E\dfrac{rL}{rL+Rx}$

⑥ $E\dfrac{rL+Rx}{rL}$

4 [2015 センター]

抵抗における電流と電圧および消費電力の関係について考える。電流計と電源の抵抗は無視できるものとする。

(1)　図1のように抵抗Rを電源につなぎ回路をつくった。電源の電圧を変化させ，電流と電圧の値をグラフにすると図2のようになった。抵抗Rの抵抗値と，電圧が6.0 Vのときの消費電力の組合せとして最も適当なものを，下の ①～⑥ のうちから1つ選べ。

$\boxed{1}$

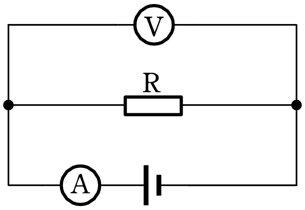


図1

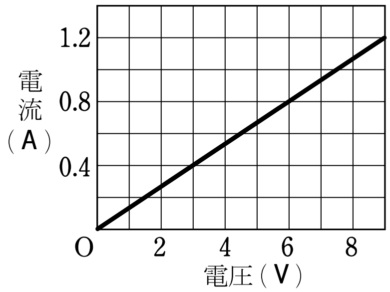


図2

	抵抗値(Ω)	消費電力(W)
①	0.13	3.8
②	0.13	4.8
③	0.80	3.8
④	0.80	4.8
⑤	7.5	3.8
⑥	7.5	4.8

(2)　ある白熱電球に加える電圧を変化させ，電流と電圧の関係を調べたところ，図3のような結果が得られた。この白熱電球と，抵抗rを図4のように接続した。電源の電圧が3.0 Vのとき，電流計の示す値は0.10 Aであった。回路全体の消費電力と抵抗rでの消費電力の組合せとして最も適当なものを，下の ①～⑥ のうちから1つ選べ。

$\boxed{2}$

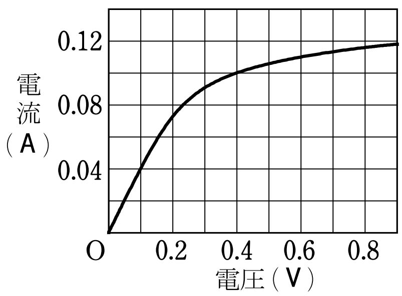


図3

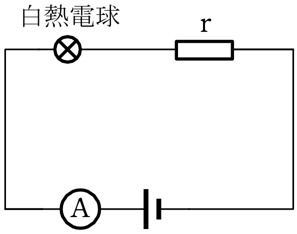
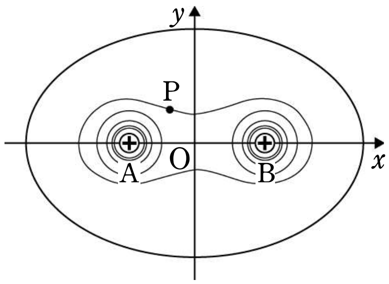


図4

	回路全体の消費電力(W)	r での消費電力(W)
①	0.15	0.040
②	0.15	0.26
③	0.30	0.040
④	0.30	0.26
⑤	0.90	0.040
⑥	0.90	0.26

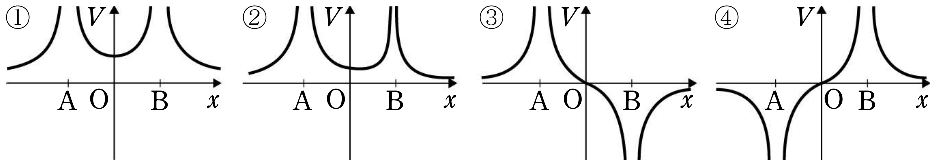
5 ［2016 徳島大］

xy 平面内で原点 O から距離 a 離れた点 A $(-a,\ 0)$ と点 B $(a,\ 0)$ に，ともに電気量 Q $(Q>0)$ の点電荷を固定した。右図はそのときの等電位線を示したもので，隣りあう等電位線の電位差は一定であるとする。クーロンの法則の比例定数を k として，次の問いに答えよ。



(1) 図の点 P を通る電気力線を，向きも含めて図中に示せ。

(2) x 軸上における電位 V の変化を表す最も適当な図を，次の ①～④ の中から選べ。



(3) 原点 O の電位 V_O を求めよ。ただし，無限遠での電位を 0 とする。

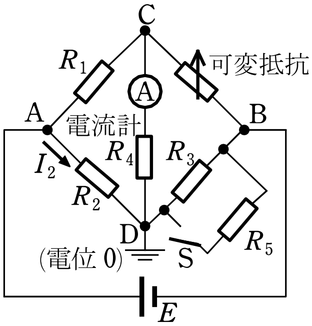
(4) 電気量 q $(q>0)$ をもつ質量 m の点電荷を原点 O に静かに置いて，わずかに y 軸方向にずらすと，点電荷は電場から力を受けて動き始めた。十分に遠い位置に達したとき，点電荷の速さはいくらか。V_O，q，m を用いて答えよ。

(5) (4) と同じ点電荷を点 $(x,\ 0)$ に静かに置くと，点電荷は電場から力を受けて原点 O の向きに動き始めた。ただし，$0<x\ll a$ とする。また，次の近似式を用いよ。$|\delta|\ll 1$ のとき，$(1+\delta)^n \fallingdotseq 1+n\delta$ （n は実数）

(a) 点電荷が動き始めたときに電場から受ける力の大きさを，x の一次関数として求めよ。

(b) 初め静止していた点電荷が，動き始めてから最初に原点 O に達するまでの時間はいくらか。

6 ［2013 福井大］



起電力 E〔V〕の電池，5 つの抵抗 R_1〔Ω〕，R_2〔Ω〕，R_3〔Ω〕，R_4〔Ω〕，R_5〔Ω〕，1 つの可変抵抗，スイッチ S および電流計を接続して図に示す電気回路を構成した。この回路に関して，次の問いに答えよ。ただし，電池と電流計の内部抵抗は 0 とする。また，点 D の電位を 0 とする。なお，合成抵抗を求める場合は，電池が接続されていないときの回路で考えよ。

初め，スイッチ S を開いた状態で可変抵抗の値を R_0〔Ω〕としたところ，電流計に流れる電流が 0 となった。このとき，次の (1)〜(5) に答えよ。

(1)　R_0 を R_1，R_2，R_3 を用いて表せ。

(2)　点 C の電位 V_C〔V〕は何 V であるか。

(3)　点 A，B 間の合成抵抗 R_C〔Ω〕を R_1，R_2，R_3 を用いて表せ。

(4)　抵抗 R_2 に流れる電流 I_2〔A〕を E，R_2，R_3 を用いて表せ。

(5)　点 A の電位 V_A〔V〕を E，R_2，R_3 を用いて表せ。

次に，スイッチ S を閉じた状態で電流計に流れる電流が 0 となるように，再び可変抵抗を調整した。このときの可変抵抗の値を R_0'〔Ω〕として，次の (6) および (7) に答えよ。

(6)　スイッチ S を閉じることにより R_3 と R_5 は並列に接続された。R_3 と R_5 の合成抵抗 R_{35}〔Ω〕を R_3，R_5 を用いて表せ。

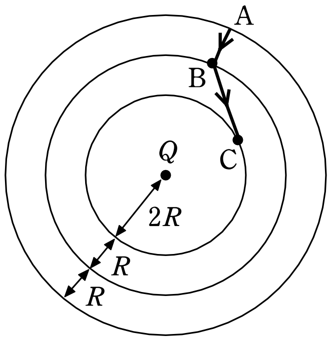
(7)　R_0' を R_1，R_2，R_3，R_5 を用いて表せ。

R_0' の値を調べたところ，(1) で求めた R_0 の $\frac{1}{2}$ 倍であった。次の (8) に答えよ。

(8)　R_5 を R_1，R_2，R_3 の中から必要な記号を用いて表せ。

7 ［1996 センター］

1図のように，正の電気量 Q をもつ点電荷が原点に固定されている。図の3つの同心円は，原点を中心とする半径 $2R$，$3R$，および $4R$ の等電位面が原点を含む平面と交わってできる等電位線を表している。



1図

(a) 電荷 Q からの距離が r の点における電界(電場)の強さを表す式はどれか。次の①〜④のうちから正しいものを1つ選べ。ただし，k_0 は定数である。 $\boxed{1}$

① $k_0\dfrac{Q}{r}$　② $k_0\dfrac{Q}{r^2}$　③ $k_0\dfrac{Q^2}{r}$　④ $k_0\dfrac{Q^2}{r^2}$

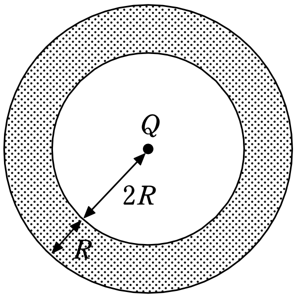
(b) 1図の点Aに電荷 q を置き，この電荷に外力を加えて原点に向かって点Bまでゆっくり動かした。次に，同様に点Bから点Cまで直線に沿って動かした。区間AB，BCで外力がこの電荷にした仕事 W_{AB}，W_{BC} はそれぞれいくらか。 $\boxed{2}$ と $\boxed{3}$ に入る正しい数値を，次の解答群のうちから1つずつ選べ。ただし，k_0 は(1)と同じ定数である。

$$W_{AB}=k_0\frac{qQ}{R}\times\boxed{2},\quad W_{BC}=k_0\frac{qQ}{R}\times\boxed{3}$$

$\boxed{2}$，$\boxed{3}$ の解答群

① $\dfrac{1}{24}$　② $\dfrac{1}{12}$　③ $\dfrac{1}{6}$　④ $\dfrac{1}{3}$　⑤ 1

(c) 2図のように，内側の半径が $2R$，厚さが R の帯電していない金属球殻で正電荷 Q を完全に囲んだ。金属球殻の中心は原点に一致している。このとき，金属球殻の電荷分布はどうなるか。下の解答群のうちから正しいものを1つ選べ。 $\boxed{4}$



2図

$\boxed{\ 4\ }$ の解答群

① 内側の表面に負電荷 $-Q$ が，外側の表面に正電荷 Q が一様に分布する。

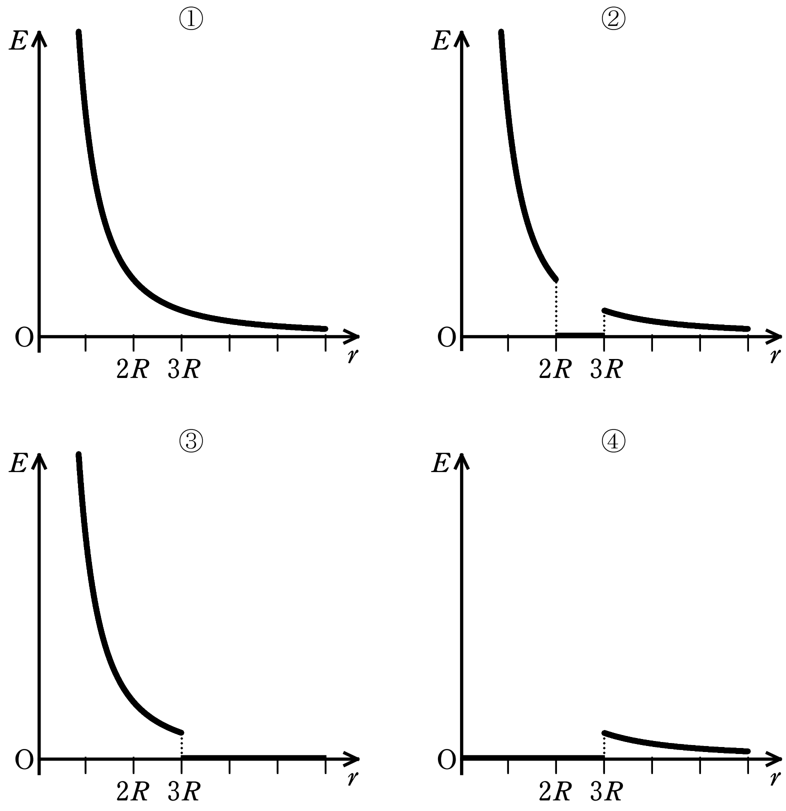
② 内側の表面に正電荷 Q が，外側の表面に負電荷 $-Q$ が一様に分布する。

③ 球殻全体に負電荷 $-Q$ が一様に分布する。

④ 球殻全体に正電荷 Q が一様に分布する。

⑤ 球殻のどこにも電荷は分布しない。

(d) 2図において，原点からの距離が r の点での電界の強さを E とする。E と r との関係を表すグラフはどれか。次の ①～④ のうちから正しいものを1つ選べ。$\boxed{\ 5\ }$



8 ［2015 センター］

図１のように，抵抗値 r の抵抗を接続した。以下の問いでは，電源および電流計の内部抵抗は無視できるものとする。

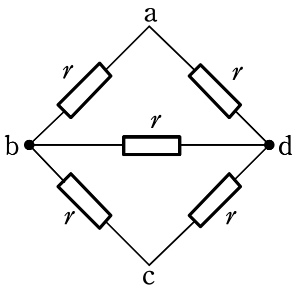


図１

(1)　図２のように，電圧 E を ac 間に加えたとき，電流計には I_1 の電流が流れた。I_1 は $\frac{E}{r}$ の何倍か。正しいものを，下の ①～⑧ のうちから１つ選べ。$\boxed{\ 1\ }$ 倍

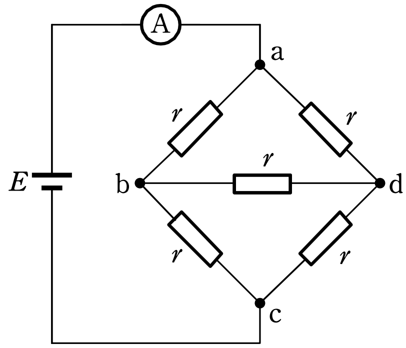


図２

① $\frac{1}{2}$　　② 1　　③ $\frac{3}{2}$　　④ 2

⑤ $\frac{5}{2}$　　⑥ 3　　⑦ $\frac{7}{2}$　　⑧ 4

(2)　図３のように，電圧 E を bd 間に加えたとき，電流計には I_2 の電流が流れた。I_2 は $\frac{E}{r}$ の何倍か。正しいものを，下の ①～⑧ のうちから１つ選べ。$\boxed{\ 2\ }$ 倍

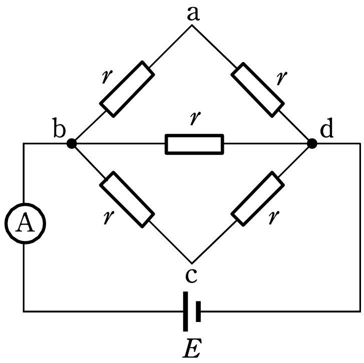


図３

① $\frac{1}{4}$　② $\frac{1}{2}$　③ 1　④ $\frac{3}{2}$

⑤ 2　⑥ $\frac{5}{2}$　⑦ 3　⑧ $\frac{7}{2}$

(3)　bd 間の抵抗を電気容量 C のコンデンサーにつなぎかえた。図４のように，電圧 E を cd 間に加え，十分に時間がたったとき，コンデンサーに蓄えられている電気量は，C と E の積 CE の何倍か。正しいものを，下の ①～⑧ のうちから１つ選べ。

$\boxed{\ \ 3\ \ }$ 倍

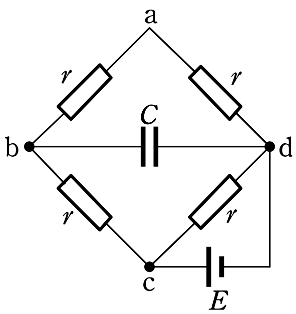


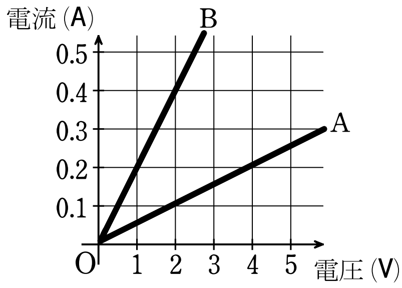
図４

① $\frac{1}{4}$　② $\frac{1}{3}$　③ $\frac{1}{2}$　④ $\frac{2}{3}$

⑤ $\frac{3}{4}$　⑥ 1　⑦ $\frac{5}{4}$　⑧ $\frac{5}{3}$

9 [2017 センター物理基礎（2015～　　）]

電気抵抗について考える。同じ材質で，長さの等しい円柱状の抵抗線 A，B がある。それぞれの抵抗線の両端に加える電圧を変化させ，電流を測定したところ，図のようなグラフが得られた。



(1)　抵抗線 A の断面積は，抵抗線 B の断面積の何倍か。最も適当な数値を，次の ①～⑦ のうちから 1 つ選べ。$\boxed{\ 1\ }$ 倍

①　0.063　②　0.25　③　0.50　④　1.0　⑤　2.0　⑥　4.0　⑦　16

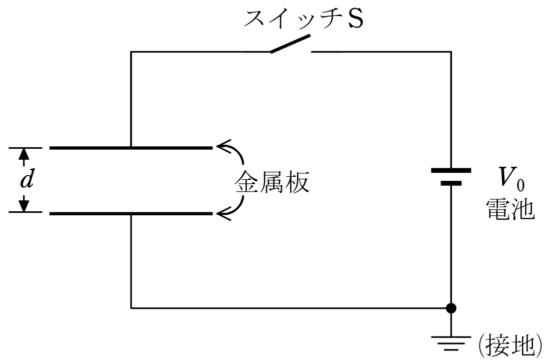
(2)　抵抗線 A と B を並列につなぎ，直流電源に接続した。抵抗線 A の単位時間当たりの発熱量は，抵抗線 B の発熱量の何倍か。最も適当な数値を，次の ①～⑦ のうちから 1 つ選べ。$\boxed{\ 2\ }$ 倍

①　0.063　②　0.25　③　0.50　④　1.0　⑤　2.0　⑥　4.0　⑦　16

夏期第6講　＜予習問題＞

$\boxed{1}$ [2002 センター]

　面積の等しい2枚の金属板を距離 d だけ離して平行板コンデンサーをつくった。このコンデンサーに起電力 V_0 の電池とスイッチSを下図のようにつないだ。スイッチSを閉じて十分に時間がたったとき，コンデンサーにたくわえられた電荷を Q_0，静電エネルギーを W_0 とする。以下の問いの $\boxed{1}$〜$\boxed{3}$ の解答として正しいものを，下の解答群の ①〜⑤ のうちから1つずつ選べ。ただし，同じものをくり返し選んでもよい。



(1)　スイッチSを閉じたまま，コンデンサーの極板間の距離を $2d$ に広げた。コンデンサーにたくわえられた電荷は Q_0 の何倍になったか。$\boxed{1}$ 倍

(2)　スイッチSを閉じたまま極板間の距離を d にもどし，十分に時間がたったあと，スイッチSを開いた。その後，極板間の距離を $2d$ に広げたとき，コンデンサーにたくわえられた静電エネルギーは W_0 の何倍になったか。$\boxed{2}$ 倍

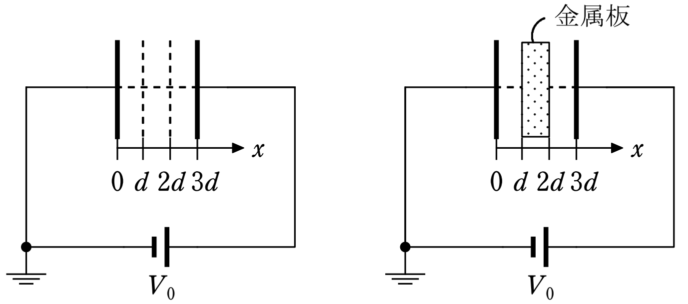
(3)　ふたたび極板間の距離を d にもどし，スイッチSを閉じて十分に時間がたったあと，スイッチSを開いた。その後，極板間に比誘電率2の誘電体をすき間なく入れると極板間の電位差は V_0 の何倍になったか。$\boxed{3}$ 倍

〔解答群〕

①　$\dfrac{1}{4}$　　②　$\dfrac{1}{2}$　　③　1　　④　2　　⑤　4

2 [2017 センター]

図(a)のように，極板間の距離が $3d$ の平行板コンデンサーに電圧 V_0 を加えた。次に，帯電していない厚さ d の金属板を，図(b)のように極板間の中央に，極板と平行となるように挿入した。極板と金属板の面は同じ大きさ同じ形である。また，図(a)および(b)のように，左の極板からの距離を x とする。図中には，両極板の中心を結ぶ線分，$x=d$ および $x=2d$ の位置を点線で示した。



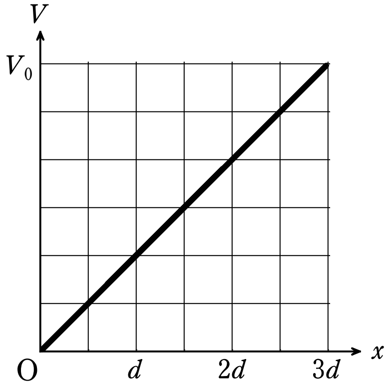
（a）　（b）

(1) 図(a)および(b)において，十分長い時間が経過した後の，両極板の中心を結ぶ線分上の電位 V と x の関係を表す最も適当なグラフを，次の ①～⑥ のうちから1つずつ選べ。ただし，同じものをくり返し選んでもよい。

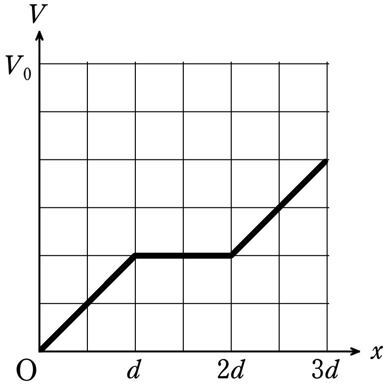
図(a)：$\boxed{1}$

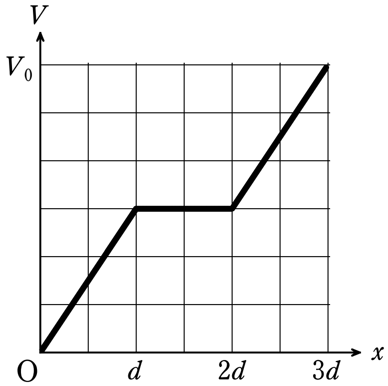
図(b)：$\boxed{2}$

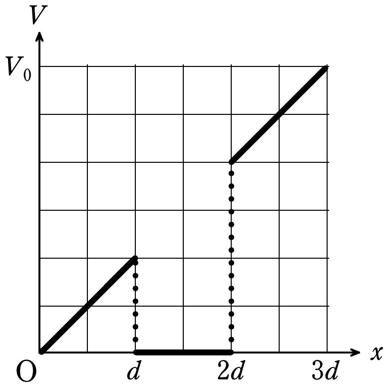
①

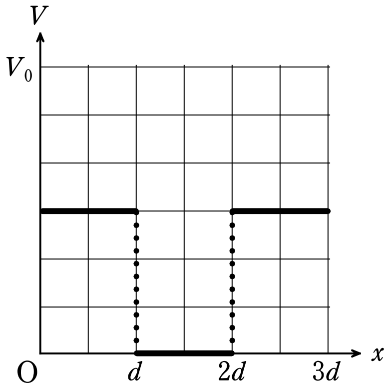


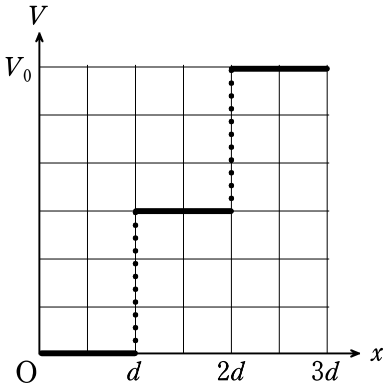
②



③


④


⑤


⑥


(2)　十分長い時間が経過した後の，図(a)のコンデンサーに蓄えられたエネルギーを U_a，図(b)の金属板が挿入されたコンデンサーに蓄えられたエネルギーを U_b とする。エネルギーの比 $\dfrac{U_b}{U_a}$ として正しいものを，次の ①～⑦ のうちから1つ選べ。

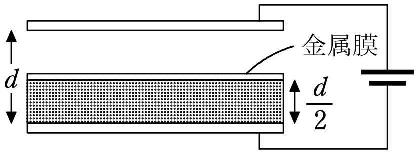
$\dfrac{U_b}{U_a} = \boxed{\ 3\ }$

①　$\dfrac{4}{9}$　　②　$\dfrac{1}{2}$　　③　$\dfrac{2}{3}$　　④　1

⑤　$\dfrac{3}{2}$　　⑥　2　　⑦　$\dfrac{9}{4}$

3 [2000 センター]

図のように，極板間隔 d の平行板コンデンサーに電池を接続し，極板と同じ大きさで，厚さ $\dfrac{d}{2}$，比誘電率 ε_r の誘電体を入れた。誘電体の上の表面には厚さの無視できる金属膜がついている。

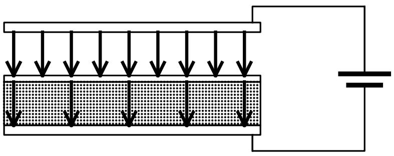


(1)　コンデンサーの電気容量は，誘電体を入れないときの何倍になるか。正しいものを，次の ①～⑥ のうちから1つ選べ。 $\boxed{\ 1\ }$ 倍

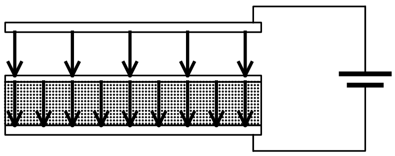
①　ε_r　　②　$2\varepsilon_r$　　③　$\dfrac{\varepsilon_r}{2}$　　④　$\dfrac{\varepsilon_r+1}{2}$　　⑤　$\dfrac{2}{\varepsilon_r+1}$　　⑥　$\dfrac{2\varepsilon_r}{\varepsilon_r+1}$

(2)　この誘電体を入れたコンデンサー内の電気力線はどうなっているか。最も適当なものを，次の ①～⑤ のうちから1つ選べ。 $\boxed{\ 2\ }$

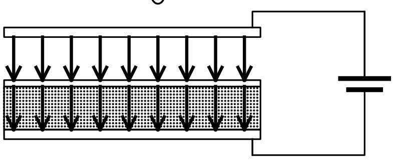
①



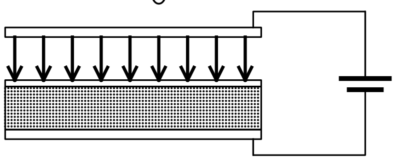
②



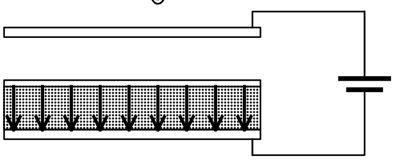
③



④

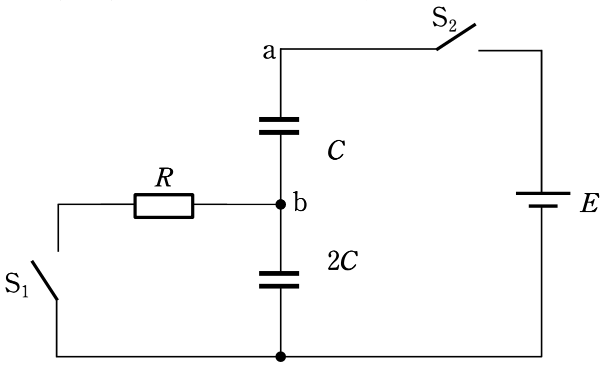


⑤



$\boxed{4}$ [2004 センター]

図 のような，起電力 E の電池，電気容量が C と $2C$ のコンデンサー，大きさ R の抵抗からなる回路がある。はじめスイッチ S_1 とスイッチ S_2 はともに開いており，コンデンサーに電荷は蓄えられていなかった。



(1) スイッチ S_1 が開いているとき，点 a と点 c の間のコンデンサーの合成容量はいくらか。正しいものを，次の ①～⑥ のうちから 1 つ選べ。 $\boxed{1}$

① $\dfrac{C}{2}$　② $\dfrac{2C}{3}$　③ C

④ $\dfrac{3C}{2}$　⑤ $2C$　⑥ $3C$

(2) 次にスイッチ S_1 を開いたまま，スイッチ S_2 を閉じた。このとき，点 b の点 c に対する電位はいくらか。正しいものを，次の ①～⑦ のうちから 1 つ選べ。 $\boxed{2}$

① $-\dfrac{2E}{3}$　② $-\dfrac{E}{2}$　③ $-\dfrac{E}{3}$　④ 0

⑤ $\dfrac{E}{3}$　⑥ $\dfrac{E}{2}$　⑦ $\dfrac{2E}{3}$

(3) 次に スイッチ S_2 を開き，その後スイッチ S_1 を閉じた。このとき，2 つのコンデンサーに蓄えられている静電エネルギーの和は，(2) の場合に比べてどうなるか。最も適当なものを，次の ①～⑤ のうちから 1 つ選べ。 $\boxed{3}$

① 抵抗 R に電流が流れ，静電エネルギーの和は減少する。

② 2 つのコンデンサーに蓄えられている電気量はどちらも変わらず，静電エネルギーの和は変わらない。

③ 回路が電源から切り離されたので，静電エネルギーの和は増加する。

④ 回路が電源から切り離されたので，静電エネルギーの和は変わらない。

⑤ エネルギー保存の法則により，静電エネルギーの和は変わらない。

$\boxed{5}$［2016 近畿大］

図1のような，スイッチ S_1，S_2，S_3，コンデンサー C_1，C_2，起電力 V_0〔V〕の電池 E_1，E_2，および抵抗 R からなる回路が真空中に置かれている。C_1 と C_2 はともに，極板間の距離 d〔m〕，極板の面積 S〔m^2〕の平行板コンデンサーであり，極板の周辺部の電場の乱れは無視できる。なお，コンデンサー C_1 には，厚さ $\dfrac{d}{2}$〔m〕で極板と同じ面積をもつ導体が極板に平行に挿入されている。スイッチ S_1，S_2，S_3 は，最初すべて開いており，C_1 と C_2 に電荷は蓄えられていなかった。ただし，回路の配線に用いる抵抗や回路の自己インダクタンスは無視でき，真空の誘電率を ε_0〔F/m〕とする。次の空欄に当てはまる最も適切な答えを各解答群から1つ選べ。ただし，同じ番号をくり返し選んでもよい。

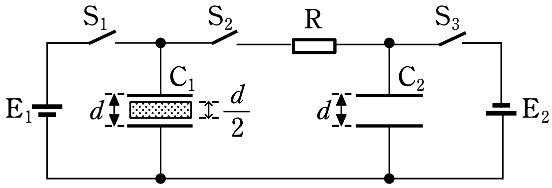


図1

(1) 図1の回路でスイッチ S_1 を閉じて十分時間が経過したのちにスイッチ S_1 を開いた。このときにコンデンサー C_1 に蓄えられた電気量は $\boxed{\text{ア}}$〔C〕であり，静電エネルギーは $\boxed{\text{イ}}$〔J〕である。

(2) 次に，スイッチ S_3 を閉じて十分時間が経過したのちにスイッチ S_3 を開いた。その後，図2のようにコンデンサー C_2 に，厚さ $\dfrac{d}{2}$〔m〕で電極と同じ面積をもつ導体を極板に平行に挿入した。このときにコンデンサー C_2 に蓄えられた電気量は $\boxed{\text{ウ}}$〔C〕であり，静電エネルギーは $\boxed{\text{エ}}$〔J〕である。

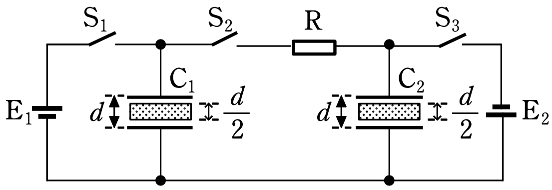


図2

(3) 次に，スイッチ S_2 を閉じた。十分時間が経過したのちに，コンデンサー C_1 に蓄えられた電気量は $\boxed{\text{オ}}$〔C〕であり，静電エネルギーは $\boxed{\text{カ}}$〔J〕である。また，このときにコンデンサー C_2 に蓄えられた電気量は $\boxed{\text{キ}}$〔C〕であり，静電エネルギーは $\boxed{\text{ク}}$〔J〕である。スイッチ S_2 を閉じてから抵抗 R で発生したジュール熱は $\boxed{\text{ケ}}$〔J〕である。

$\boxed{\text{ア}}$，$\boxed{\text{ウ}}$，$\boxed{\text{オ}}$，$\boxed{\text{キ}}$ の解答群

① $\dfrac{\varepsilon_0 SV_0}{8d}$	② $\dfrac{\varepsilon_0 SV_0}{4d}$	③ $\dfrac{\varepsilon_0 SV_0}{2d}$	④ $\dfrac{\varepsilon_0 SV_0}{d}$	⑤ $\dfrac{3\varepsilon_0 SV_0}{2d}$
⑥ $\dfrac{2\varepsilon_0 SV_0}{d}$	⑦ $\dfrac{5\varepsilon_0 SV_0}{2d}$	⑧ $\dfrac{3\varepsilon_0 SV_0}{d}$	⑨ $\dfrac{7\varepsilon_0 SV_0}{2d}$	⑩ $\dfrac{4\varepsilon_0 SV_0}{d}$
⑪ $\dfrac{5\varepsilon_0 SV_0}{d}$	⑫ $\dfrac{9\varepsilon_0 SV_0}{2d}$			

$\boxed{\text{イ}}$, $\boxed{\text{エ}}$, $\boxed{\text{カ}}$, $\boxed{\text{ク}}$, $\boxed{\text{ケ}}$ の解答群

① $\dfrac{\varepsilon_0 S{V_0}^2}{16d}$　② $\dfrac{\varepsilon_0 S{V_0}^2}{8d}$　③ $\dfrac{\varepsilon_0 S{V_0}^2}{4d}$　④ $\dfrac{3\varepsilon_0 S{V_0}^2}{8d}$　⑤ $\dfrac{\varepsilon_0 S{V_0}^2}{2d}$

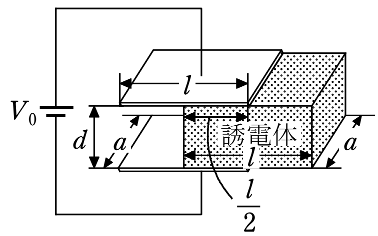
⑥ $\dfrac{9\varepsilon_0 S{V_0}^2}{16d}$　⑦ $\dfrac{7\varepsilon_0 S{V_0}^2}{8d}$　⑧ $\dfrac{\varepsilon_0 S{V_0}^2}{d}$　⑨ $\dfrac{9\varepsilon_0 S{V_0}^2}{8d}$　⑩ $\dfrac{2\varepsilon_0 S{V_0}^2}{d}$

⑪ $\dfrac{3\varepsilon_0 S{V_0}^2}{d}$　⑫ $\dfrac{4\varepsilon_0 S{V_0}^2}{d}$

6 ［2016 長崎大］

充電された平行板コンデンサーの中に誘電体の一部を挿入すると，誘電体はコンデンサー内に吸いこまれる力を受ける。誘電体とコンデンサーの間には摩擦がないものとして，誘電体が受ける力について考える。文中の空欄に l，a，d，V_0，ε，Δx のうち必要なものを用いた式を入れよ。

最初に，長さが l〔m〕で幅が a〔m〕の 2 枚の長方形金属板を空気中に l および a と比べて十分小さい距離 d〔m〕だけ離して向かいあわせた平行板コンデンサーを内部抵抗が無視できる起電力が V_0〔V〕の電池に接続した。空気の誘電率を ε〔F/m〕とすると，十分に時間が経過した後のコンデンサーに蓄えられている電気量は $Q_0=$ ア 〔C〕となる。



引き続き，図のように，誘電率が 4ε〔F/m〕，長さが l〔m〕，幅が a〔m〕，厚さが d〔m〕の誘電体を手で保ちながら，長さ $\frac{l}{2}$〔m〕だけコンデンサーの中に挿入し，引きこむ力に逆らって大きさが F〔N〕の外力を誘電体に加え，その位置を保った。この状態におけるコンデンサーの電気容量は $C_1=$ イ 〔F〕となる。その後，誘電体を挿入した向きと逆方向に微小距離 Δx〔m〕だけゆっくり引き出した。誘電体を引き出した後のコンデンサーの電気容量は $C_2=$ ウ 〔F〕となる。誘電体を引き出す前のコンデンサーに蓄えられていた電気量を Q_1〔C〕，静電エネルギーを U_1〔J〕，誘電体を Δx だけ引き出した後のコンデンサーに蓄えられる電気量を Q_2〔C〕，静電エネルギーを U_2〔J〕とすると，$\Delta Q=Q_2-Q_1=$ エ 〔C〕，$\Delta U=U_2-U_1=$ オ 〔J〕となる。この間に電池がする仕事は $W=$ カ 〔J〕である。静電気力は保存力であり，誘電体をゆっくり引き出すときに回路に発生するジュール熱は無視できるものとすると，コンデンサーの静電エネルギーの変化は，保存力以外がした仕事に一致するので，$F=$ キ 〔N〕となる。

$\boxed{7}$［2017 大阪府立大］

図１のようにコンデンサー C_1 と C_2，ダイオード D_1 と D_2，直流電源 E_1 と E_2，および接点 S_1 と S_2 の間をつなぎかえる切りかえスイッチを組み合わせた回路を作成した。この中で図２の記号によって表されるダイオードは，図に示した順方向にのみ電流を流して逆方向には電流を流さない，という整流作用をもつ電子部品である。図１の回路では，S_1 と S_2 の間でスイッチを何度も切りかえていくことによって，電源電圧よりも高い電圧を得ることができる。この回路において，スイッチを切りかえていった際の電荷の動きと，回路上の各点における電位の変化を考えていこう。

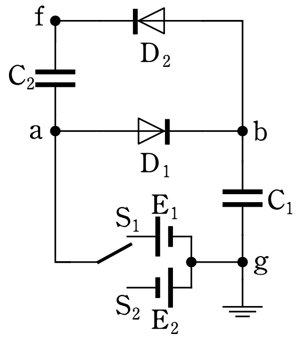


図１

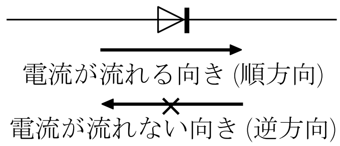


図２

図１の D_1 と D_2 は順方向には抵抗値が R〔Ω〕の抵抗とみなせるものとする。また，C_1 と C_2 の電気容量はともに C〔F〕，E_1 と E_2 の起電力はともに V_0〔V〕とし，点 g は接地されていて電位は 0 V になっているものとする。導線の電気抵抗および，電源の内部抵抗はないものとする。

初めの状態では，どちらのコンデンサーにも電荷は蓄えられておらず，スイッチは S_1，S_2 のどちらにもつながっていないものとする。まずスイッチを S_1 につないだ。

(1)　つないだ瞬間に回路上の点 a を流れる電流の大きさを答えよ。

S_1 につないだ後，電荷の移動が終わるまで待った。この状態を $\boxed{1,+}$ と表すことにする。

(2)　このとき，C_1 と C_2 に蓄えられている電気量をそれぞれ答えよ。

$\boxed{1,+}$ の状態から，スイッチを S_1 から切り離した。続いて S_2 につなぎ，電荷の移動が終わるまで待った。この状態を $\boxed{1,-}$ とする。

(3)　S_2 につないだ瞬間の点 a の電位を答えよ。また，S_2 につないでから $\boxed{1,-}$ の状態となるまでの間に，D_1 上に電流は流れるか。

(4)　$\boxed{1,-}$ の状態における点 b の電位を V〔V〕とするとき，C_2 に蓄えられた電気量を C，V，V_0 を使って答えよ。

(5)　C_1 の点 b 側の極板と C_2 の点 f 側の極板に蓄えられる電気量の合計は，$\boxed{1,+}$ と $\boxed{1,-}$ の状態の間で保存される。この２つの状態の間で成りたつ電気量保存の式を C，V，V_0 を使って書け。また，この式から V の値を求めよ。

$\boxed{1,-}$ の状態からスイッチを S_2 から切り離し，再びスイッチを S_1 につないだ。その後，電荷の移動が終わるまで待った。この状態を $\boxed{2,+}$ とする。

(6)　S_1 につないだ瞬間の点 f の電位を求めよ。

(7)　$\boxed{2,+}$ の状態で，C_1 および C_2 に蓄えられている電気量を求めよ。

$\boxed{2,+}$ の状態からスイッチを S_2 に切りかえ，電荷の移動が終わるまで待った。この状

態を $\boxed{2,-}$ とする。

(8)　(5) と同様に，$\boxed{2,+}$ と $\boxed{2,-}$ の状態の間で成りたつ電気量保存の法則を使って，$\boxed{2,-}$ の状態で C_1 および C_2 に蓄えられている電気量を求めよ。