# 令和3年度入学者選抜学力検査問題

## (前期日程)

# 物　　理

**学類によって解答する問題が異なります。**

**指定された問題だけに解答しなさい。**

| 学　域 | 学　類 | 解答する問題 |
|---|---|---|
| 融合学域 | 先導学類(理系傾斜) | Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ　(5問) |
| 人間社会学域 | 学校教育学類 | Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ　(3問) |
| 理工学域 | 数物科学類<br>地球社会基盤学類<br>生命理工学類<br>理工3学類 | Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ　(5問) |
| 医薬保健学域 | 医学類<br>薬学類<br>医薬科学類 | Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ　(3問) |
| | 保健学類 | Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ　(3問) |
| 理系一括入試 | | Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ, Ⅴ, Ⅵ　(6問) |

(注　意)

1　問題紙は指示があるまで開いてはいけません。

2　問題紙は本文20ページです。答案用紙は，学校教育学類，保健学類は3枚，先導学類(理系傾斜)，数物科学類，地球社会基盤学類，生命理工学類，理工3学類は5枚，医学類，薬学類，医薬科学類は3枚，理系一括入試は6枚あります。

3　答えはすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。

4　問題紙と下書き用紙は持ち帰ってください。

**I** ［先導学類(理系傾斜)，学校教育学類，数物科学類，地球社会基盤学類，生命理工学類，理工3学類，保健学類，理系一括入試］

物質にはその圧力・温度によって固体，液体，気体という3つの状態があり，物質の三態と呼ばれている。図1aはある単原子分子からなる物質が温度と圧力に応じてどのような状態をとるかを示した図である。中央の曲線は気液共存曲線と呼ばれ，この曲線上の温度と圧力では気体と液体が共存する。また，この曲線で分けられた左上と右下の領域では，それぞれ液体のみ，気体のみの状態をとる。これをふまえて，図1bに示すようにこの単原子分子 $n$[mol]からなる液体を，内部の断面積 $S$[m$^2$]，内部の長さ $\frac{11}{10}L$[m]の円筒容器と，滑らかに動くことができる質量 $m$[kg]，厚さ $\frac{1}{10}L$[m]のピストンで密封した。円筒容器は栓により閉じられており，ピストンより上の部分は真空になっている。また，この容器には閉じ込めた液体，気体を加熱できるようにヒーターが設けてある。容器，ピストン，栓はすべて断熱材でできており，それらの熱容量は無視できるものとする。重力加速度の大きさを $g$[m/s$^2$]，気体定数を $R$[J/(mol・K)]とし，容器内部の気体は理想気体とする。容器内に閉じ込められた液体と気体の圧力は場所によらず一様とする。断熱過程においては，圧力 $p$[Pa]と体積 $V$[m$^3$]について，$pV^{\frac{5}{3}}=$ 一定となる性質を用いてもよい。図1bの状態0を初期状態とし，ヒーターによって熱を加えることによる物質の状態の変化を調べた。図1aの点0，A–Fは，図1bの状態0，A–Fに対応している。以下の問いに答えなさい。

問 1　過程1(状態0から状態Aへの変化)

状態0において，液体の温度と圧力はそれぞれ $T_0$[K]，$p_0$[Pa]に保たれピストンは静止していた。この状態からヒーターを用いて容器内をゆっくり加熱し，液体の温度が $T_1$[K]なったところで加熱をやめた。この状態をAとする。温度 $T_0$ から $T_1$ までの間で液体の定圧モル比熱は温度によらず $c$[J/(mol・K)]であるとして，この過程においてヒーターが加えた熱量 $Q_1$[J]を求めなさい。ただし，この過程における液体の体積変化は無視できるとする。

問 2　過程2(状態Aから状態Bへの変化)

状態Aにおいて液体を加熱し，温度 $T_2$[K]で液体と気体が共存し始めたところで加熱を止めた。ピストンは容器の底から，$\frac{1}{3}L$ の位置で静止した。この状態をBとする。ピストンが気体に加える圧力 $p_0$ を求めなさい。

問 3　状態Bにおける液体，気体の1モルあたりの体積を$v_L$[m$^3$/mol]，$v_G$[m$^3$/mol]としてこのときの液体の物質量を求めなさい。

問 4　過程3(状態Bから状態Cへの変化)

状態Bから圧力と温度一定のままゆっくりと熱を加えていくと，液体が気体に変わって体積が増加していった。液体が完全になくなる瞬間にピストンは容器の底から$\frac{4}{5}L$の高さにあった。この状態をCとする。温度$T_2$[K]を$p_0$を用いずに求めなさい。

問 5　液体の1モルあたりの蒸発熱を$q$[J/mol]として，過程3でヒーターが加えた熱量$Q_2$[J]を求めなさい。ただし，蒸発熱の一部は物質の状態変化の際の体積変化にともなう仕事に費やされる。

問 6　過程4(状態Cから状態Dへの変化)

状態Cから加熱し，ピストンが容器内部の上面に接したところで加熱をやめた。このときに気体の温度は$T_3$[K]であった。この状態をDとする。$T_3$は$T_2$の何倍かを分数で答えなさい。

問 7　過程4で気体に加えられた熱量$Q_3$[J]を，$m$，$g$，$L$，$n$，$S$，$R$から必要なものを用いて求めなさい。

問 8　過程5(状態Dから状態Eへの変化)

気体の圧力が状態Dの圧力の$a$倍になるまで加熱した。この状態をEとする。状態Eでの気体の温度$T_4$[K]は$T_3$の何倍かを答えなさい。

最後に，状態Eから容器の栓をゆっくりと開放すると，外部の空気が容器のピストン上部に流れ込み，ピストンはゆっくりと降下した。栓が完全に開放されたとき，ピストンは容器の底から$\frac{1}{2}L$の高さで静止し，容器内のピストンより下の空間はすべて気体のままであった。この状態をFとする(過程6：状態Eから状態Fへの変化)。以下の問いに答えなさい。ただし，問8で用いた$a$倍は$2^{\frac{1}{3}}$倍とする。

問 9　状態Fにおける気体の圧力$p_2$[Pa]が$p_0$の何倍かを求めなさい。

問10　外部の空気の圧力が$p_0$の何倍かを求めなさい。

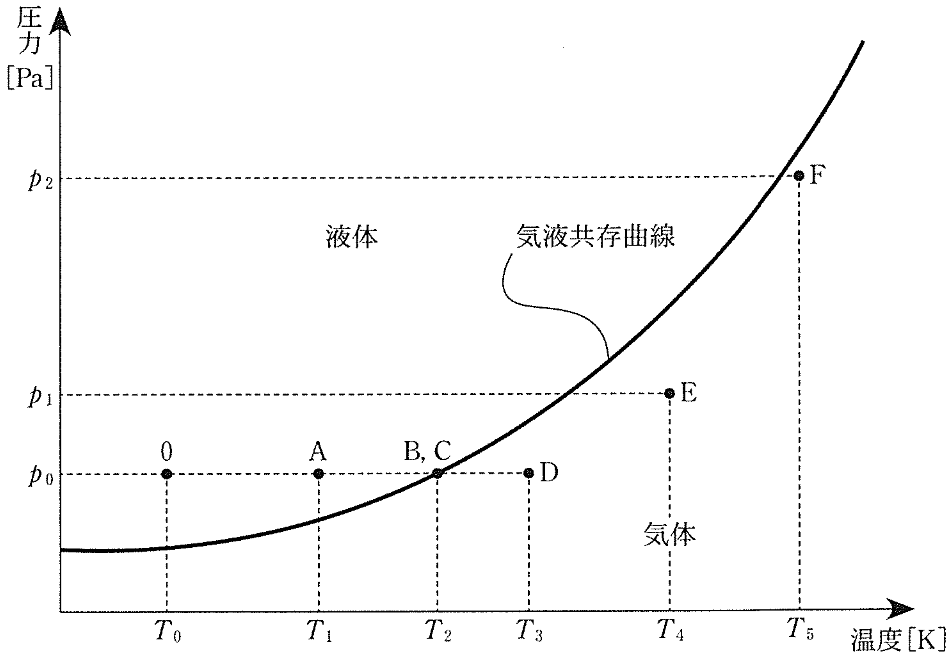



図 1 a

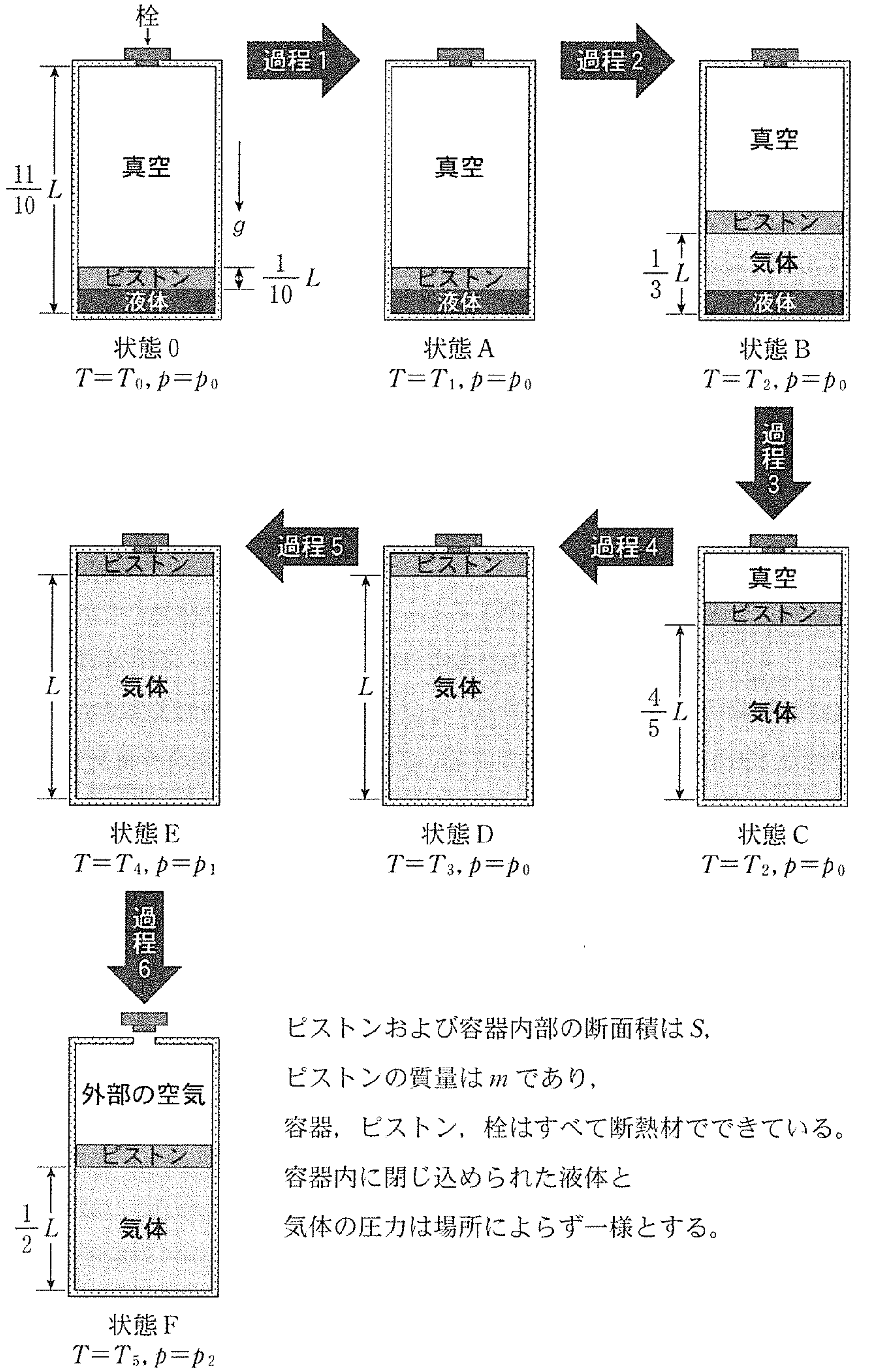

栓
過程 1
過程 2
過程 3
過程 4
過程 5
過程 6
真空
ピストン
液体
気体
外部の空気
$g$
$\frac{11}{10}L$
$\frac{1}{10}L$
$\frac{1}{3}L$
$\frac{4}{5}L$
$L$
$\frac{1}{2}L$
状態 0
$T=T_0,\ p=p_0$
状態 A
$T=T_1,\ p=p_0$
状態 B
$T=T_2,\ p=p_0$
状態 C
$T=T_2,\ p=p_0$
状態 D
$T=T_3,\ p=p_0$
状態 E
$T=T_4,\ p=p_1$
状態 F
$T=T_5,\ p=p_2$
ピストンおよび容器内部の断面積は $S$,
ピストンの質量は $m$ であり,
容器，ピストン，栓はすべて断熱材でできている。
容器内に閉じ込められた液体と
気体の圧力は場所によらず一様とする。

図 1 b

**II** ［先導学類(理系傾斜)，学校教育学類，数物科学類，地球社会基盤学類，生命理工学類，理工3学類，保健学類，理系一括入試］

p型半導体とn型半導体を接合したものを半導体ダイオードという。半導体ダイオードの一種である発光ダイオードに関する以下の問いに答えなさい。

問1 以下の発光ダイオードに関する文章が正しい記述となるように，$\boxed{(1)}$，$\boxed{(2)}$，$\boxed{(3)}$，$\boxed{(4)}$，$\boxed{(6)}$ の｛ ｝内の選択肢の正しいものを1つ選び，解答欄の選択肢に○をつけなさい。また，$\boxed{(5)}$ に入る適切な式を答えなさい。ただし，光の速さを $3.0 \times 10^{8}$ m/s，プランク定数を $6.6 \times 10^{-34}$ J·s としてよい。

発光ダイオードを順方向となるように $\boxed{(1)\{\mathrm{p}\cdot\mathrm{n}\}}$ 型側を電池の正極に，$\boxed{(2)\{\mathrm{p}\cdot\mathrm{n}\}}$ 型側を負極に接続すると，$\boxed{(3)\{\mathrm{p}\cdot\mathrm{n}\}}$ 型半導体中のホールが負極側に，$\boxed{(4)\{\mathrm{p}\cdot\mathrm{n}\}}$ 型半導体中の自由電子が正極側に移動し，接合部付近でホールと電子が再結合して，電流が流れる。このとき，再結合する前後のエネルギー差に相当する振動数の光子が1個発生する。発光ダイオードに流れる電流を $I$[A]，電気素量を $e$[C]とすると，再結合する電子数は1秒間あたり $\boxed{(5)}$ 個である。再結合の際のエネルギーの差は半導体の材料によって異なるため，材料の組成やその比率を変えることにより，様々な色の光を発光させることができる。例えば，再結合の際のエネルギーの差が $4.0 \times 10^{-19}$ J の材料を用いて発生する光の波長は有効数字1桁の数値で表わすと $\boxed{(6)\{0.5\cdot 0.6\cdot 0.7\}}$ $\times 10^{-6}$ m である。

図2aは，ある発光ダイオードの順方向電圧 $V$[V]と順方向電流 $I$[A]の関係を示したグラフである。図中の点Qより高電圧側の部分は，点Pと点Qを通る半直線になっている。点Pと点Qの電流，電圧をそれぞれ $I_{\mathrm{P}}$[A]，$I_{\mathrm{Q}}$[A]，$V_{\mathrm{P}}$[V]，$V_{\mathrm{Q}}$[V]とし，点Pと点Qを通る直線が $I = 0$ の直線と交差する電圧を $V_0$[V]とする。発光ダイオードが点Qよりも高電圧側($V > V_{\mathrm{Q}}$)で動作しているとして，以下の問いに答えなさい。

問 2　図2aの発光ダイオードの$V$と$I$の関係は，$a$[A/V]を比例定数として，$I = a(V - V_0)$の関係式で表すことができる。$I_P$，$I_Q$，$V_P$，$V_Q$を用いて，$a$および$V_0$を求めなさい。

問 3　図2bはこの発光ダイオードを発光させるための電気回路であり，Dは発光ダイオード，Rは抵抗値が$R$[Ω]の抵抗，Eは起電力が$E$[V]の電池である。電池の内部抵抗は無視できるとし，ダイオードにかかる電圧$V_1$[V]およびダイオードに流れる電流$I_1$[A]を，$a$，$V_0$，$R$，$E$を用いてそれぞれ答えなさい。

問 4　発光ダイオードの消費電力に対する単位時間に発生した光のエネルギーの比をエネルギー変換効率と定義する。発光ダイオードに流れる電流が$I(I > I_Q)$のとき，再結合するすべての電子から振動数$\nu$[Hz]の光が放出されるとして，発光ダイオードのエネルギー変換効率を求めなさい。ただし，プランク定数を$h$とし，解答には$h$，$\nu$，$e$，$a$，$I$，$V_0$を用いること。

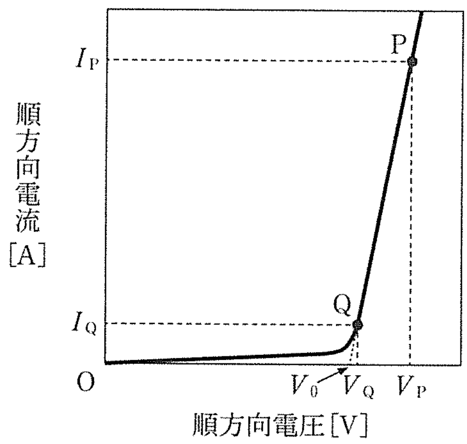



図2a

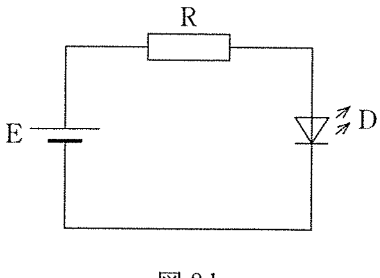



図2b

問 5　図 2 c に示す特性を持つ発光ダイオード D と白熱電球 L を用い，図 2 d，図 2 e に示す回路を作った。E は起電力 5.0 V の電池であり，内部抵抗は無視できる。D に 6.0 mA の電流を流すためには，$R$ をそれぞれいくらにすればよいか，有効数字 2 桁の数値で答えなさい。

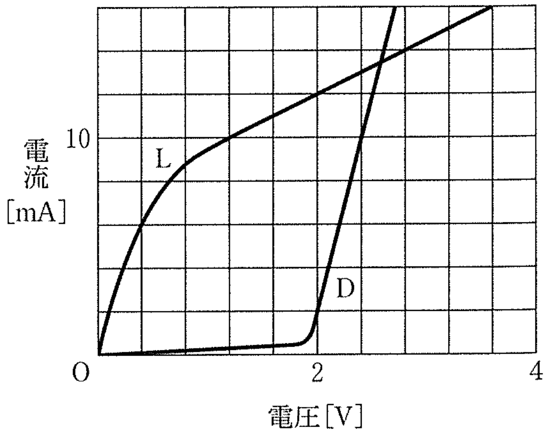



図 2 c

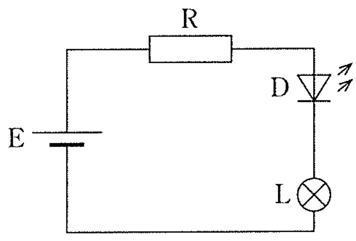



図 2 d

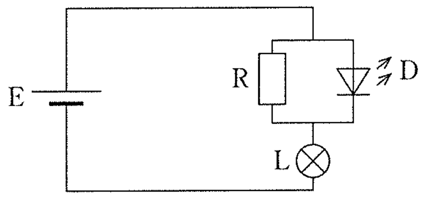



図 2 e

## Ⅲ ［先導学類(理系傾斜)，学校教育学類，数物科学類，地球社会基盤学類，生命理工学類，理工３学類，医学類，薬学類，医薬科学類，保健学類，理系一括入試］

質量 $4m$[kg] で長さ $L$[m] のまっすぐで一様な剛体棒 A と，質量 $m$[kg] で半径 $\dfrac{L}{3}$[m] の一様な剛体球をこの棒 A の延長軸上に球の中心が一致するように固定した物体 F がある。水平面に原点をとり，鉛直方向上向きを正とする $z$ 軸を定める。重力加速度の大きさは $g$[m/s$^2$] として以下の問いに答えなさい。

問 1　棒 A を水平面に置くと，棒 A は図 3 a(i)のように $z$ 軸方向と平行な向きで静止した。棒 A の重心の $z$ 座標を求めなさい。

問 2　物体 F を水平面に置くと，物体 F は図 3 a(ii)のように $z$ 軸方向と平行な向きで静止した。物体 F の重心の $z$ 座標を求めなさい。

問 3　図 3 a(iii)のように物体 F を水平面に置いて傾け，棒 A の下端から距離 $\dfrac{5L}{6}$[m] のところに質量が無視できる糸を取り付けて $z$ 軸方向上向きに引っ張ると，棒 A の下端が水平面に接した状態で $z$ 軸から角度 $\theta$[rad] $\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$ 傾いて物体 F は静止した。このとき，糸にかかる張力を求めなさい。ただし棒 A の太さは無視できるとし，糸はのびないとする。

問 4　問 3 の状態から角度 $\theta$ を保ったまま糸を取り付ける位置を棒 A の下端へ移動させていく。ただし糸の向きは常に $z$ 軸と平行であるとする。すると糸を取り付ける位置が棒 A の下端から測って距離 $\ell$[m] となったとき，水平面から受ける垂直抗力が 0 になった。$\ell$ を求めなさい。

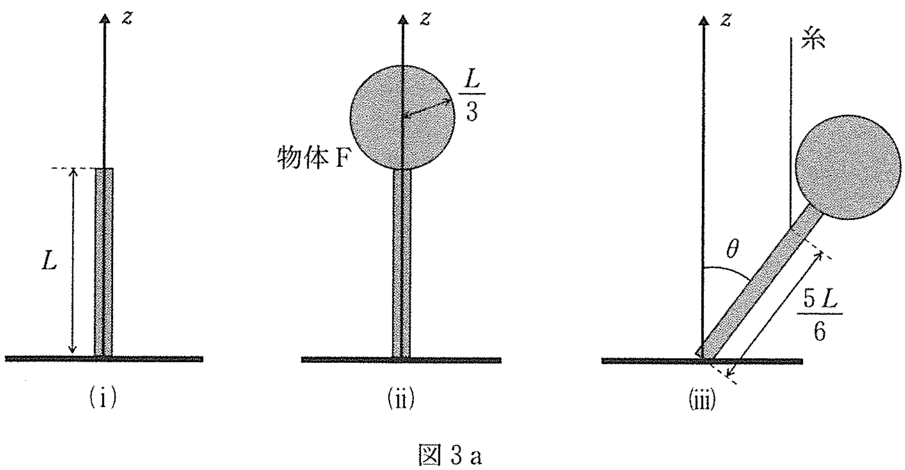
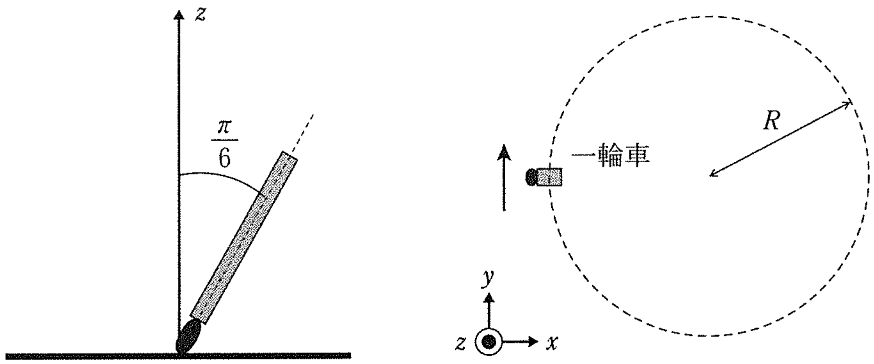



図 3 a

次に，球のついていない棒Aの下端に大きさと質量の無視できる車輪を取り付けた一輪車を作り，これを粗い水平面上で走らせる実験を行う。このとき一輪車の重心の速さは$v$[m/s]とする。ただし水平面からの摩擦力は進行方向にははたらかないとし，進行方向と直交する方向にのみはたらくとする。その静止摩擦係数を$\mu(\mu > 0.75)$とする。すると一輪車は図3bのように進行方向後ろから見て$z$軸正方向から角度$\frac{\pi}{6}$rad傾いた状態で倒れることなくつりあい，この運動を$z$軸正方向から見たとき，一輪車の重心の軌道は半径を$R$[m]とする円を描いた。ただし一輪車は常に円の中心方向へ傾いているとし，$R$は$L$よりもじゅうぶん大きく，一輪車にはたらく遠心力の作用点が重心の位置に一致するとして，以下の問いに答えなさい。

問 5　一輪車が水平面から受ける垂直抗力を求めなさい。

問 6　$R$を$v$，$g$，$\mu$の中から必要なものを用いて求めなさい。




一輪車を進行方向後ろから見た図　　一輪車の運動を$z$軸正方向から見た図

図3b

$z$ 軸正方向からの角度を $\frac{\pi}{6}$ rad からわずかずつ増やしながら，速さ $v$ で走らせる同様の実験をくり返した。

問 7　実験のたび，運動中一輪車は進行方向後ろから見ると $z$ 軸正方向からの角度が変わることなくつりあい，$z$ 軸正方向から見たとき一輪車の重心の軌道は円を描いた。しかし角度がある値 $\theta_1$[rad] を越えると，進行方向と直交する方向へ車輪が滑った。$\tan\theta_1$ を求めなさい。

次に物体Fの棒の下端に同じ車輪を取り付け，速さ $v$ で走らせる同様の実験を行う。

問 8　問 7 と同様に，$z$ 軸正方向からの角度を $\frac{\pi}{6}$ rad からわずかずつ増やしながら同様の実験をくりかえし行ったところ，角度がある値 $\theta_2$[rad] を越えると，進行方向と直交する方向へ車輪が滑った。$\tan\theta_2$ を求めなさい。

**IV** [先導学類(理系傾斜), 数物科学類, 地球社会基盤学類, 生命理工学類, 理工3学類, 医学類, 薬学類, 医薬科学類, 理系一括入試]

図4aのように, 幅が$D$[m], 高さが$H$[m], 長さが$L$[m]の直方体の導体に一定の電流$I$[A]を流したときの導体内の自由電子の運動を考える。導体内の電流は均一で, 導体内の単位体積あたりの自由電子の個数を$n$[$1/m^3$], 電子の電気量を$-e$[C]($e > 0$), 自由電子が導体内を移動する速さを$v$[m/s]として, 以下の問いに答えなさい。ただし, 電流が流れる向きを$y$軸の正の向きとし, $x$軸と$z$軸を図の向きにとる。

問1 電流の大きさは電流の向きに垂直な導体断面を単位時間に通過する電気量の大きさに等しい。電流$I$の大きさを, $e$, $n$, $v$, $L$, $D$, $H$のうちで必要なものを用いて表しなさい。

問2 $v$は導体内の電場$E$[V/m]の大きさに比例することが知られている。その比例定数を$\mu$[$m^2/(V \cdot s)$]とし, $v = \mu E$と表されるとして, 導体の抵抗率$\rho$[$\Omega \cdot m$]を, $e$, $n$, $\mu$のうちで必要なものを用いて表しなさい。

問3 図4aの導体が銅であるとして, 以下の小問に答えなさい。

(1) 銅は1原子あたり1個の自由電子を持つ。銅の原子量を64, 密度を$9.0 \times 10^3$ kg/m$^3$として, 銅の単位体積あたりの自由電子の個数$n$の値を有効数字2桁の数値で求めなさい。必要があれば, アボガドロ定数を$6.0 \times 10^{23}$/molとするか, または統一原子質量単位を$1.7 \times 10^{-27}$ kgとしなさい。

(2) 図4aの$D$, $H$がそれぞれ$2.0 \times 10^{-3}$ m, $5.0 \times 10^{-4}$ mであるとする。図4aの導体(銅とする)に2.4 Aの電流が流れたとき, 自由電子が導体内を移動する速さ$v$の値を有効数字2桁の数値で求めなさい。ただし, 電子の電気量の大きさを$1.6 \times 10^{-19}$ Cとする。

次に, 図4aの導体に対して, $z$軸の正の向きに磁束密度の大きさが$B$[T]の一様な磁場を加えた。$x$軸に垂直な2つの面をP面及びQ面として, 以下の問いに答えなさい。

問 4　電流は磁場から力を受ける。導体内の自由電子 1 個あたりにはたらく磁場からの力の大きさを，$e$，$n$，$I$，$L$，$D$，$H$，$B$ のうちで必要なものを用いて表しなさい。

問 5　磁場からの力により，自由電子は P 面または Q 面のいずれかに集まり，その反対側の面との間に電場が発生する。じゅうぶんに時間が経過すると，この電場からの力と磁場からの力とがつり合う。このときの電場 $E_x$[V/m] の強さを，$e$，$n$，$I$，$L$，$D$，$H$，$B$ のうちで必要なものを用いて表しなさい。

問 6　問 5 の現象を利用すると，導体や半導体内のキャリアの密度や種類を知ることができる。以下の文章が正しい記述となるように，$\boxed{\text{(1)}}$ に入る適切な式を答えなさい。また，$\boxed{\text{(2)}}$，$\boxed{\text{(3)}}$，$\boxed{\text{(4)}}$ の｛　｝内の選択肢から正しいものを選んで解答欄の選択肢に○をつけなさい。

電場からの力と磁場からの力とがつり合った状態で，P 面と Q 面の間には起電力 $V_x$[V] が発生する。$E_x$ を用いると，$V_x = E_x D$ となるので，単位体積あたりのキャリアの個数 $n$ を，$e$，$I$，$L$，$D$，$H$，$B$，$V_x$ のうちで必要なものを用いて表すと，$n = \boxed{\text{(1)}}$ であり，$n$ と $V_x$ は $\boxed{\text{(2)｛比例・反比例｝}}$ の関係になっている。磁場からの力によって自由電子は図 4 a の $\boxed{\text{(3)｛P 面・Q 面｝}}$ に集まる。キャリアがホール(正孔)で，他の条件は同じだった場合は，P 面は $\boxed{\text{(4)｛正・負｝}}$ に帯電する。よって，$V_x$ の正負を調べればキャリアの種類がわかる。

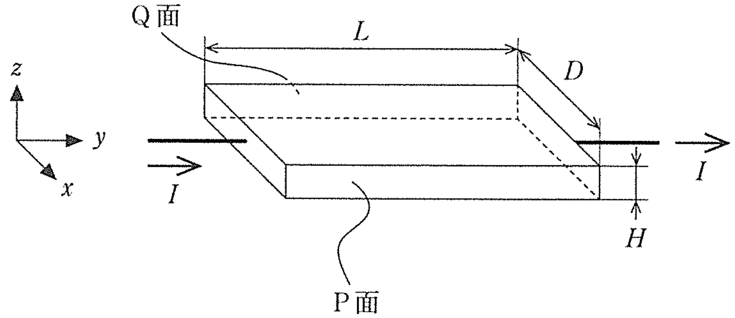



図 4 a

問 7　電場からの力と磁場からの力とがつり合った状態で，図４ｂのように，導体のＰ面とＱ面の間を導線と平行板コンデンサーで接続したところ，コンデンサーに電荷が蓄えられた。平行板コンデンサーの極板面積を$S$[m$^2$]，極板間隔を$d$[m]，極板間の誘電率を$\varepsilon$[F/m]として，じゅうぶんに時間が経過したのちにコンデンサーに蓄えられた電気量の大きさを，$V_x$，$\varepsilon$，$S$，$d$のうちで必要なものを用いて表しなさい。

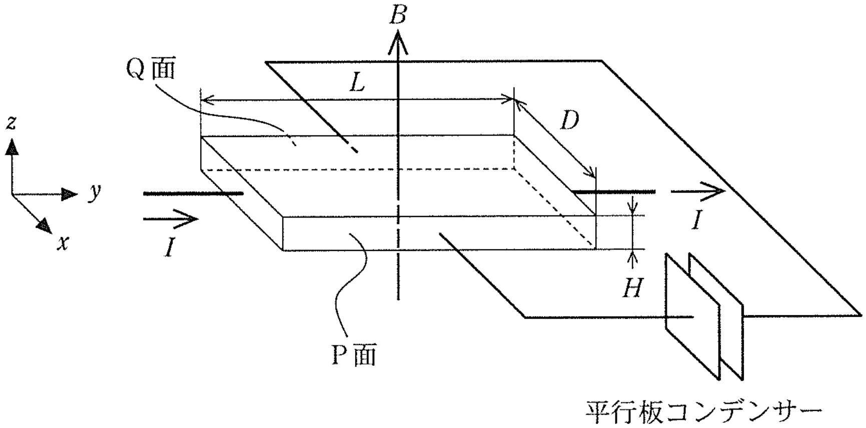



図４ｂ

問 8　コンデンサーを取り外し，図4cのように，導体のP面とQ面の間を抵抗が無視できる導線と電流計でつないだところ，電流計の針が振れた。この電流の大きさは$I$よりもじゅうぶんに小さく$V_x$を導体の抵抗で割った値に等しかった。この電流の大きさを，$V_x$，$\rho$，$L$，$D$，$H$，のうちで必要なものを用いて表しなさい。

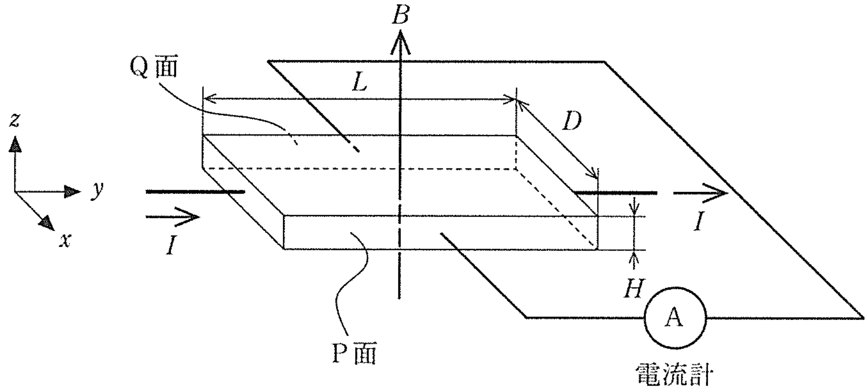



図4c

**V** ［先導学類(理系傾斜)，数物科学類，地球社会基盤学類，生命理工学類，理工3学類，医学類，薬学類，医薬科学類，理系一括入試］

図5aに示すように2つのスリット(複スリット)$S_1$，$S_2$が刻まれた板(スリット板)と，スリット板に平行なスクリーンが屈折率1の空気中に設置されている。複スリットの間隔$d$[m]は，スリット板からスクリーンまでの距離$L$[m]に比べて十分に短いものとする。$S_1$，$S_2$から等距離にあるスクリーン上の点を原点Oとし，図のように$X$軸，$Y$軸を定める。十分に遠方の単一光源から発した波長$\lambda$[m]の平面波が図のスリット板に対して入射角$\theta$[rad]$\left(0 \leqq \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$で入射する。以下の問いに答えなさい。

問1　図5bの左図に示すように，平面波を入射角$\theta = 0$で入射させたとき，スクリーン上に干渉縞が現れた。任意の明線上に点Pをとる。$S_1$，$S_2$からスクリーン上の点Pまでの距離をそれぞれ，$L_1$[m]，$L_2$[m]とする。$|L_2 - L_1|$が満たす条件を，$m(= 0, 1, 2, \cdots)$を使って表しなさい。

問2　点Oと点Pの距離を$x$[m]$(x \ll L)$とする。図5bの右図は左図の円の部分を拡大したものである。$d$は$L$に比べて十分に小さいので直線$S_1P$および直線$S_2P$は平行と見なすことができる。右図に示すように直線$S_1P$と$Y$軸に平行な直線とのなす角の大きさを$\varphi$[rad]$\left(0 \leqq \varphi \ll \dfrac{\pi}{2}\right)$とし，点$S_1$から直線$S_2P$に引いた垂線の足と点$S_2$の距離を$\varDelta L$[m]とする。以下の小問に答えなさい。

(1)　$\sin\varphi \fallingdotseq \dfrac{x}{L}$の近似を用いて，$\varDelta L$を$d$，$x$，$L$で表しなさい。

(2)　$x$を$L$，$d$，$\lambda$，および，$m(= 0, 1, 2, \cdots)$を用いて表しなさい。

(3)　明線の間隔を求めなさい。

問3　図5cに示すように，平面波を入射角$\theta$で入射させる。$\theta = 0$のとき点O上に前問の$m = 0$に該当する明線があったが，$\theta$が増えるにつれ，その明線は点O′上に移動した。点O′と点Oの距離を$\varDelta x$[m]とする。以下の小問に答えなさい。

(1)　光源から$S_1$および$S_2$までの光路長の差を求めなさい。

(2)　$\varDelta x$を求めなさい。

(3)　明線の間隔を求めなさい。

問4　図5dに示すように，$S_2$の左側に屈折率$n(n > 1)$，厚さ$t$[m]の透明な板を光路に垂直に置いたところ，干渉縞の位置がずれて明線が点Oと重なった。透明な板の最小の厚さを求めなさい。ただし，$d\sin\theta \ll \lambda$とし，また，透明な板での光の反射は考えないとする。

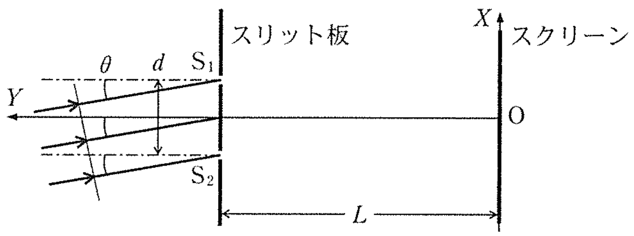



図 5 a

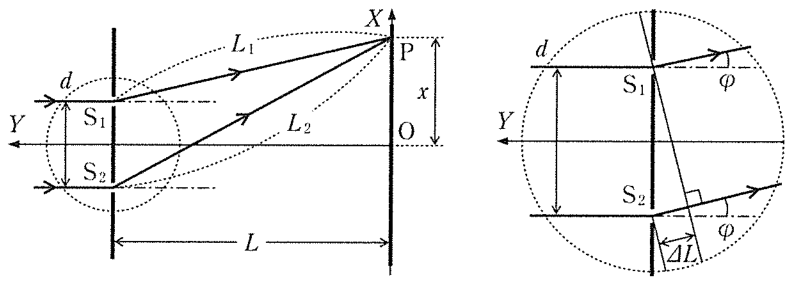



図 5 b

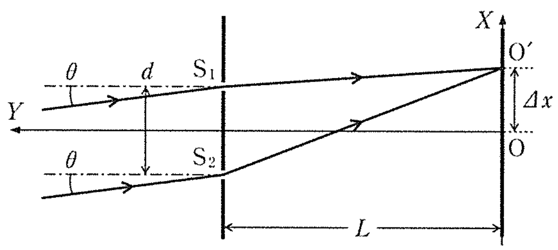



図 5 c

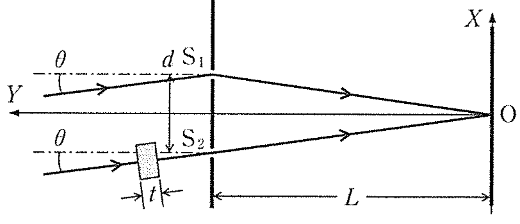



図 5 d

これまでの問いでは，１つの光源の光を複スリットで２つに分けてスクリーンに照射すると干渉縞が現れた。しかし，同じ波長，同じ明るさの光源をもう１つ用意し，２つの光源を距離 $d$ 離して置いて光を同時にスクリーンに照射しても，干渉縞は現れなかった。

次に，図５ｅのように，これら波長 $\lambda$ の２つの光源からの平面波をそれぞれ入射角０と入射角 $\theta$ で複スリットに入射させた。スクリーンには，２つの光源の光がそれぞれ作る干渉縞が足し合わされた光の縞が現れた。$\theta$ が０のとき，２つの光源からの明線と明線，暗線と暗線が重なり縞は明瞭であったが，$\theta$ を大きくしていくと，ある $\theta$ のときに明線と暗線が重なりスクリーンは一様な明るさになった。

問５　スクリーンが一様な明るさになる最小の $\sin\theta$ を求めなさい。

図５ｆの概念図に描かれている連星の視野角 $\alpha$[rad]は非常に小さく，肉眼では２つの星はほぼ１つの光点にしか見えないが，前問の現象を応用すれば $\alpha$ を測定できる。図５ｇは $\alpha$ を測定する装置の概略図である。$M_1$～$M_4$ は全反射鏡であり，スリット板に対して正確に45°傾けて設置され，任意の入射角に対して光学距離 $M_1M_3S_1$ と光学距離 $M_2M_4S_2$ が正確に一致するとしてよい。連星の１つの星からの光が入射角０で装置に入るように設置すると，もう１つの星からの光の入射角は視野角 $\alpha$ に等しくなる。$M_1$，$M_2$ の間隔を $D$[m]，$M_3$，$M_4$ の間隔は複スリット間隔と同じ $d$ とする。スリット板からスクリーンまでの距離は前問と同様に $L$ である。ここで，連星は同じ明るさで同じ波長 $\lambda$ の単色光を発する２つの光源とし，連星からの光は装置にそれぞれ平面波として届くが，連星以外の光は遮断されているとする。なお，連星は図５ｇのXY平面内にあるとする。

問６　入射角 $\alpha$ で入射する光について，光源から $S_1$ および $S_2$ までの光路長の差を求めなさい。

次に，$M_3$，$M_4$ を固定したまま，$M_1$，$M_2$ の間隔 $D$ を $d$ に十分近い値から徐々に広げながらスクリーン上の光の縞を観察した。$D$ が小さいときはスクリーン上に明瞭な光の縞が現れたが，間隔を広げていき $D$ が $D_1$[m]に達したときに初めてスクリーンが一様な明るさになった。ただし，$d\sin\alpha \ll \lambda$ とする。

問７　$\sin\alpha$ を求めなさい。

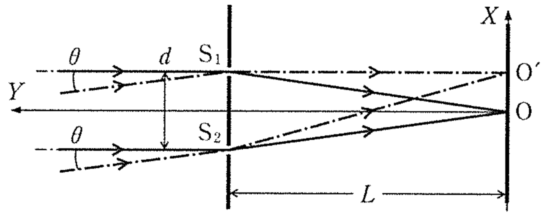



図 5 e

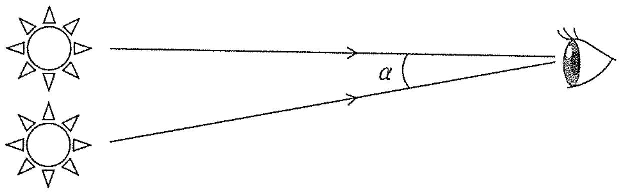



図 5 f

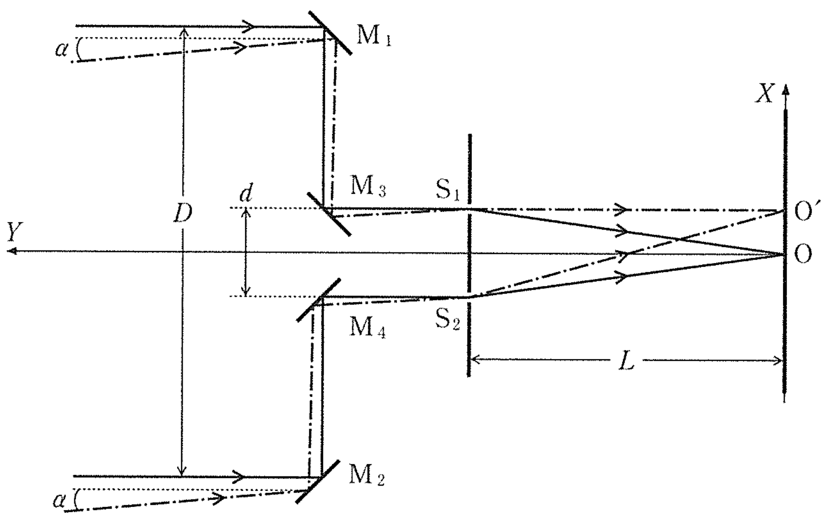



図 5 g

## Ⅵ ［理系一括入試］

以下の文章が正しい記述になるように，$\boxed{\phantom{xx}}$ には式を，～～～には数値を答えなさい。また，｛　　｝内の選択肢の正しいものを選び，解答欄の選択肢に○をつけなさい。

ただし，万有引力定数を $G$[N·m$^2$/kg$^2$]，重力加速度の大きさを $g$[m/s$^2$]，クーロンの法則の比例定数を $k_0$[N·m$^2$/C$^2$]，電気素量を $e$[C]，電子の質量を $m_e$[kg]とし，$\boxed{\phantom{xx}}$ に記入する式に用いる記号は，$G$，$g$，$k_0$，$e$，$m_e$ および以下の文章中の記号($r$，$m_1$，$m_2$，$q_1$，$q_2$，$V$，$B$，$L$，$v$)とする。また，～～～に記入する数値を求める際は，$G = 6.7 \times 10^{-11}$ N·m$^2$/kg$^2$，$g = 9.8$ m/s$^2$，$k_0 = 9.0 \times 10^{9}$ N·m$^2$/C$^2$，$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C，$m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg を用い，有効数字 1 桁で答えなさい。必要であれば，$\sqrt{\dfrac{16}{9.1}} \fallingdotseq \dfrac{4}{3}$ を用いなさい。

自然界には 4 つの基本的な力が存在することがわかっている。それらのうち，重力(万有引力)と電磁気力(静電気力や磁力など)は最も身近に感じることができる力である。これらの力の性質を比べてみよう。

まず，万有引力について考えてみよう。質量 $m_1$[kg]，$m_2$[kg]の 2 つの粒子が距離 $r$[m]を隔てて存在していたとする。これらの粒子の間にはたらく万有引力の大きさ $F_g$[N]は，$m_1$，$m_2$ にそれぞれ(1)｛比例・反比例｝し，$F_g = \boxed{(2)}$ と表される。例えば，$r = 1$ m，$m_1 = m_2 = 10$ kg のとき，これら 2 つの粒子の間にはたらく万有引力の大きさを有効数字 1 桁で求めると (3) N となる。

次に，静電気力について考えてみよう。電気量 $q_1$[C]，$q_2$[C]を持つ 2 つの荷電粒子が距離 $r$ を隔てて存在していたとする。これらの粒子の間にはたらく静電気力 $F_c$[N]は，$q_1$，$q_2$ にそれぞれ(4)｛比例・反比例｝し，$F_c = \boxed{(5)}$ と表される。例えば，$r = 1$ m のとき，日常で感じることができる典型的な電気量の値として $q_1 = q_2 = 10^{-5}$ C を代入し，これら 2 つの粒子の間にはたらく静電気力の大きさを有効数字 1 桁で求めると (6) N となる。なお，電気量 $q_1$，$q_2$ が同符号の場合，静電気力は(7)｛引力・斥力｝となる。万有引力の値 (3) N と静電気力の値 (6) N を比べると，万有引力の方が極めて(8)｛強い・弱い｝ことがわかる。

電子の運動を例にして，違う視点から万有引力と電磁気力を比べてみよう。図6のように，電位差$V$[V]で$x$軸の正の向きに加速された電子が，$z$軸の正の向きに生じている磁束密度$B$[T]の一様な磁場へ入射したとする。ただし，磁場が生じている領域の1辺の長さは$L$[m]とする。電子が一様な磁場へ入射するまでは電子の軌道に変化はなく，軌道は$x$軸に平行として考える。

磁場中へ入射する直前の電子の速さは$v=$ $\boxed{(9)}$ [m/s]であり，電子が一様磁場に入射しはじめると，磁場から受ける力により，電子の軌道は(10){$y$軸，$z$軸}の(11){正，負}の向きに曲がりはじめる。この軌道の変化は，磁場の領域の長さ$L$に対して十分に小さく，電子が磁場から受ける力は常に(10){$y$軸，$z$軸}の(11){正，負}の向きに向いていると考えると，磁場から受ける力の大きさは$F_B=$ $\boxed{(12)}$ [N]である。このとき，磁場が生じている領域を出るまでに電子に生じる(10){$y$軸，$z$軸}方向の変位の大きさ$\Delta u_B$[m]は，$v$を用いて表すと$\Delta u_B=$ $\boxed{(13)}$ となる。

また，電子には，$z$軸の負の向きに重力加速度の大きさ$g$の重力が作用しているとする。電子が一様磁場を通過する際に，重力により電子に生じる$z$軸方向の変位の大きさ$\Delta u_g$[m]は，$v$を用いて表すと$\Delta u_g=$ $\boxed{(14)}$ となる。例えば，$V=500$ V，$L=1$ mのとき，地磁気の磁束密度の典型的な大きさ$B=10^{-5}$ Tを用いて，$\dfrac{\Delta u_g}{\Delta u_B}$を有効数字1桁で求めると (15) となる。したがって，この場合でも電磁気力と比べて万有引力の方が極めて(8){強い・弱い}ことがわかる。

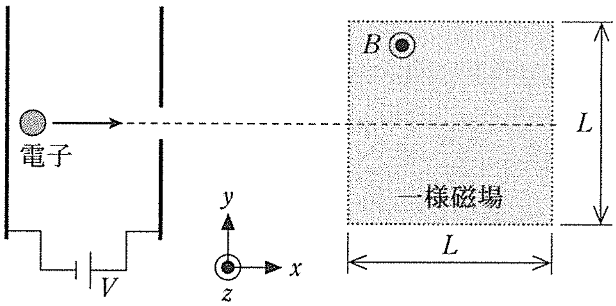



図6