令和５年度採用

群馬県公立高等学校教員選考試験問題

物　　理

受験番号		氏名	

注　意　事　項

1　「開始」の指示があるまでは、問題用紙を開かないでください。

2　問題は、１ページから１２ページまであります。「開始」の指示後、すぐに確認してください。

3　解答は、すべて解答用紙に記入してください。

4　「終了」の指示があったら、直ちに筆記具を置き、問題用紙と番号順に重ねた解答用紙を机の上に置いてください。

5　退席の指示があるまで、その場でお待ちください。

6　この問題用紙は、持ち帰ってください。

1．単振動について，以下の〔Ⅰ〕～〔Ⅲ〕の問いに答えなさい。

〔Ⅰ〕　図１のように，ばね定数 k のばねの先端に質量 m の小球を付け，他端を天井につるす。まず，小球にはたらく力がつり合う位置で静かに小球をはなすと小球は静止し続けた。次に，図２のように小球を力のつり合いの位置から A $(A > 0)$ だけ鉛直上向きに持ち上げて静かにはなしたところ，小球は鉛直線上で単振動をした。ただし，重力加速度の大きさを g，円周率を π とし，空気抵抗は無視できるものとする。次の(1)～(4)の問いに答えなさい。

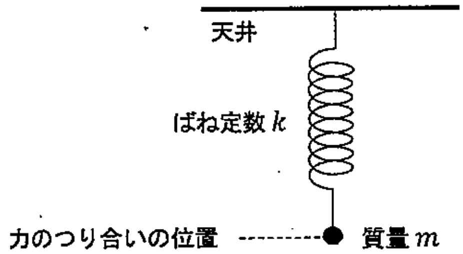


図１

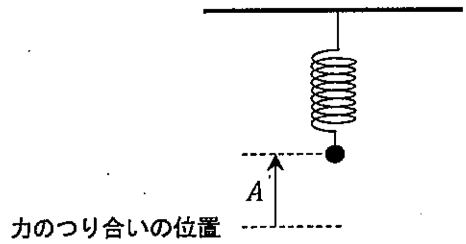


図２

(1)　図１で，小球にはたらく力がつり合う位置におけるばねの伸びを m，g，k を用いて表せ。

(2)　図２で，小球を力のつり合いの位置から A だけ鉛直上向きに持ち上げて静かにはなした瞬間の小球にはたらく合力の大きさを A，k を用いて表せ。

(3)　小球の単振動の周期を m，k を用いて表せ。

(4)　小球が力のつり合いの位置を通過する瞬間の速さを A，m，k を用いて表せ。

〔II〕 図３のように２つのばね振り子を用意する。ばね振り子１は先端に質量 m の小球１を付け，他端は天井につるした。ばね振り子２は先端に質量 $4m$ の小球２を付け，他端は床に固定した。ばね振り子のばねはどちらもばね定数 k である。各ばね振り子が静止して力のつり合いの状態にあるとき，小球１と小球２は同じ位置にあった。次に，図３のように小球１を鉛直上向きに A だけ持ち上げて静かにはなすと，小球１と小球２が弾性衝突をした。小球１と小球２は同一鉛直線上を運動する。また，各小球のつり合いの位置を原点 O として x 軸をとり，鉛直下向きを正とする。ただし，重力加速度の大きさを g とし，空気抵抗は無視できるものとする。次の(5)，(6)の問いに答えなさい。

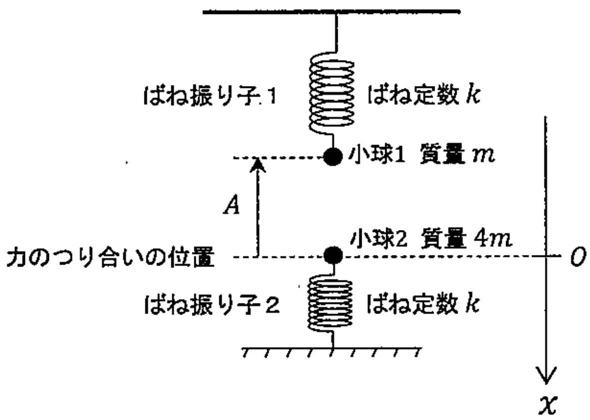


図３

(5)　小球１と小球２が初めて弾性衝突をした直後の小球２の速度 v_2 を，A，m，k を用いて表せ。ただし，解答に至る過程も記述せよ。なお，小球の速度は鉛直下向きを正とする。

(6)　小球１と小球２が２回目の弾性衝突をするときの位置 X を，A を用いて表せ。ただし，解答に至る過程も記述せよ。必要ならば，$\sin 2\theta = 2\sin\theta\cos\theta$ を用いよ。

〔Ⅲ〕　単振動をする物体の変位，速度，加速度の表し方を等速円運動と関連付けて指導する授業について考える。次の(7)，(8)の問いに答えなさい。

(7)　以下の文中の ① ，② に当てはまるものを図４中の矢印ア～エのいずれかから選び，③ ～ ⑥ には当てはまる適切な文字式を答えよ。

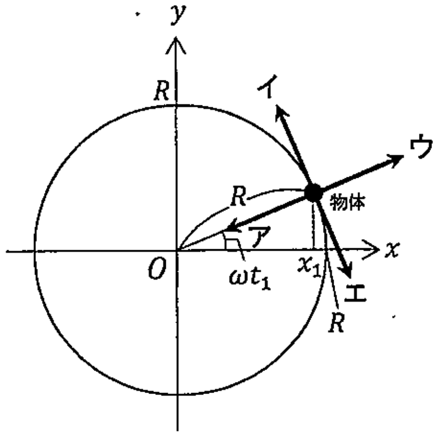


図４

図４のように，平面上で物体が半径 R の円周上を角速度 ω で反時計回りに等速円運動をしている。円の中心を原点 O として，x 軸と y 軸を定める。物体は時刻 $t=0$ において，$x=R$ の位置にあり，図４は，時刻 $t=t_1$ の瞬間を示す。ここで，時刻 $t=t_1$ において，等速円運動をしている物体の速度の向きは ① ，加速度の向きは ② である。また，等速円運動をしている物体の速度の大きさは R，ω，t_1 のうちから必要なもので表すと ③ であり，加速度の大きさは R，ω，t_1 のうちから必要なもので表すと ④ である。

単振動は物体の等速円運動を x 軸上に正射影することで表現できる。時刻 $t=t_1$ において，x 軸上に正射影した物体の位置 x_1 は R，ω，t_1 のうちから必要なもので表すと ⑤ と表現でき，x 軸上に正射影した物体の加速度 a_1 は ω，x_1 で表すと ⑥ と表現できる。

(8)　高等学校学習指導要領（平成３０年３月告示）の第２章第５節理科第２款各科目第３物理において，「様々な物体の運動について，（中略）規則性や関係性を見いだして表現すること。」とある。単振動をする物体の変位，速度，加速度の規則性や関係性を生徒が見いだすためには，ICT 機器の活用が考えられる。どのように活用すると効果的と考えるか。「単振動を等速円運動と関連付けて指導する」授業における具体的な活用例を１つ示せ。

2　光の波動性について，以下の〔I〕，〔II〕の問いに答えなさい。

〔I〕　図1のように，波長λのレーザー光をスリットの間隔をdとした複スリットS_1，S_2を通して，観察用のスクリーンにあてると，(a)明暗の縞模様を観察することができる。この実験を「ヤングの実験」という。複スリットとスクリーンとの間の距離はLとし，複スリットS_1，S_2から等距離にあるスクリーン上の点をOとする。また，点Oからスクリーン上の任意の点Pまでの距離をxとする。なお，複スリットの間隔dは距離Lに対して十分に小さいものとする。また，スクリーンはS_1，S_2を含む面に平行に設置してある。次の(1)～(3)の問いに答えなさい。

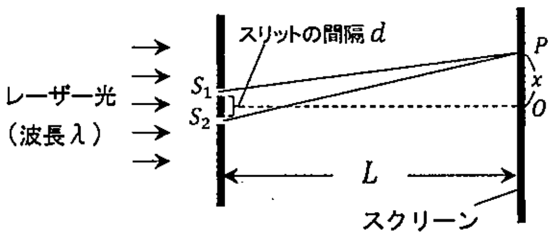


図1

(1)　下線部(a)に関して，この現象を表す光の性質の名称として適切なものを以下の選択肢ア～オから１つ選べ。

ア　反射　　イ　屈折　　ウ　分散　　エ　散乱　　オ　干渉

(2)　点Pで光が弱めあって暗くなる場合，xを整数m（$m = 0, 1, 2, \cdots$）とλ，d，Lを用いて表せ。

(3)　波長 5×10^2〔nm〕のレーザー光を用いてヤングの実験を行い，スクリーン上の暗い点の間隔Δxを１〔cm〕にしたい。複スリットの間隔dが0.50〔mm〕のとき，複スリットとスクリーンとの間の距離Lを求めよ。

〔II〕　図２のように，波長λのレーザー光を格子定数Dの回折格子に入射させ，回折格子とスクリーンの間の距離をLとすると，スクリーン上には等間隔で複数の明るい点が観察できた。次の(4)〜(6)の問いに答えなさい。

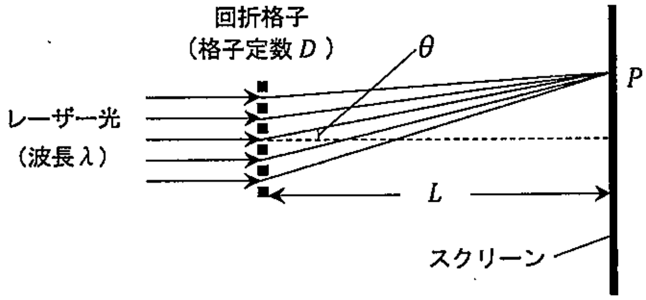


図２

(4)　レーザー光の入射方向に対して角度θの方向にあるスクリーン上の任意の点Pがm次の明点となるとき，$\sin\theta$をD，m，λを用いて表せ。ただし，回折格子とスクリーンの間の距離Lは十分に長いものとする。また，mは整数である。

(5)　1cm あたり10^3〔本〕の溝がつけられた回折格子に波長5×10^2〔nm〕のレーザー光を入射させ，スクリーン上の明るい点の間隔Δxを１〔cm〕にしたい。このとき，回折格子とスクリーンの間の距離Lを求めよ。

(6)　CD や DVD は，(4)の現象を生徒が観察する際の簡易分光器として活用できる。CD や DVD で分光することができる理由を簡潔に説明せよ。

3　光の粒子性に関して以下の問いに答えなさい。

光の粒子性を示す代表的な現象に光電効果がある。光電効果はアインシュタインの光量子仮説によって説明ができる。光電効果について考察するために，図１のような実験装置を考える。図１で，光電効果が生じているとき，光電管の陰極に光を当てると光電子が飛び出し，陽極に流れ込む。また，この実験では，陰極に対する陽極の電位 V と，光電子によって生じる電流（光電流）の大きさ I を測定でき，電源は陽極の電位 V を調整できる。振動数 ν の光を実験系の光電管に入射し，陽極の電位を変えていくと，図２のように光電流が変化した。ただし，プランク定数を h，電気素量を e とし，陰極と陽極は同じ金属を用いるものとする。次の(1)～(5)の問いに答えなさい。

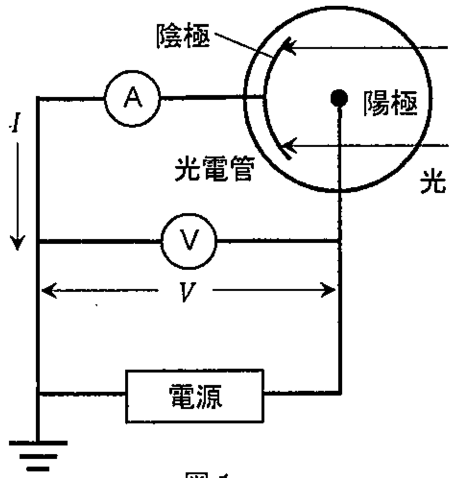


図１

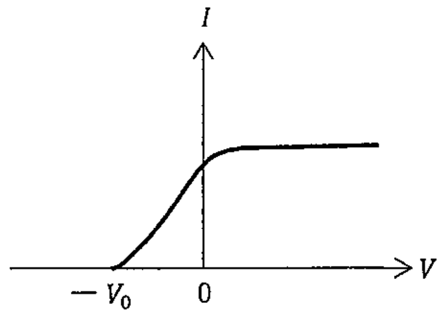


図２

(1)　振動数 ν の光子１個あたりのもつエネルギーを e，ν，h のうちから必要なものを用いて表せ。

(2)　光電流が 0 となった瞬間の陽極の電位の大きさ（阻止電圧）を V_0 とする。振動数 ν の光を陰極にあてたときに飛び出てくる光電子の運動エネルギーの最大値を e，ν，h, V_0 のうちから必要なものを用いて表せ。

(3)　光の振動数を大きくすると阻止電圧はどのように変化するか，理由も含めて簡潔に説明せよ。

光の振動数を様々に変化させた結果，横軸を光の振動数ν，縦軸を光電子の運動エネルギーの最大値 Kとすると，図３のような結果が得られ，ν_0よりも小さな振動数の光では光電管の金属からは光電子は飛び出ないことがわかった。また，図３のグラフの直線の傾きはプランク定数hであることが確かめられた。

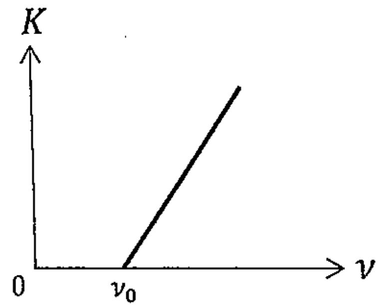


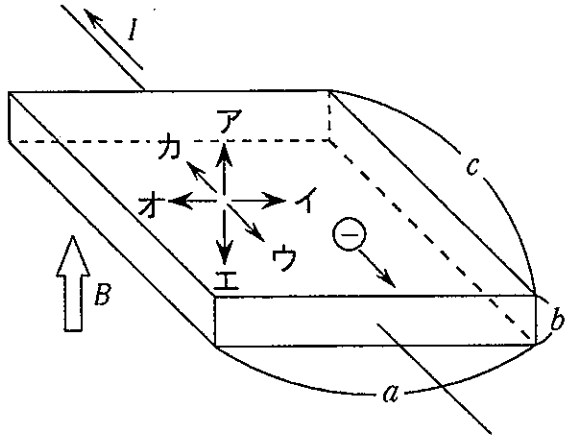
図３

(4)　光電管の陰極の金属の仕事関数を，e，ν_0，hのうちから必要なものを用いて表せ。

(5)　光電効果を説明するには，光の波動性を仮定すると矛盾が生じるが，光の粒子性を仮定すると矛盾が生じずに説明できる。なぜ光の粒子性を仮定すると矛盾が生じないのか，簡潔に説明せよ。

4　ホール効果について，以下の問いに答えなさい。

図のように，各辺の長さが a，b，c の直方体の導体の両端に電圧を加えて電流 I を流す。導体中には単位体積あたり n 個の自由電子（質量 m，電荷 $-e$）が含まれており，自由電子は一定の速さ v で動いている。そこに，電流に対して垂直に磁束密度 B の磁場を加えた。次の(1)～(6)の問いに答えなさい。



図

(1)　自由電子が磁場から受ける力の名称と向きを答えよ。ただし，向きは図中のア～カのうちいずれか一つを選び答えよ。

(2)　しばらく時間が経過して定常状態となったとき，導体内部には一様な電場が生じた。この現象をホール効果という。この電場の大きさと向きを求めよ。ただし，電場の大きさは v，B，I，a，b，c の中から必要なものを用いて表せ。電場の向きは図中のア～カのうちいずれか一つを選び答えよ。

(3)　ホール効果が生じたときに発生する電位差をホール電圧という。定常状態となったときに導体内部に生じるホール電圧を v，B，I，a，b，c の中から必要なものを用いて表せ。

(4)　$a = 2.0 \times 10^{-3}$〔m〕，$b = 5.0 \times 10^{-4}$〔m〕，$c = 2.5 \times 10^{-3}$〔m〕の導体に $I = 2.0 \times 10^{-2}$〔A〕の電流を流し，$B = 4.0 \times 10^{-4}$〔T〕の磁場を加えたところ，$V = 5.0 \times 10^{-3}$〔V〕のホール電圧が得られた。このとき，導体中の単位体積当たりの自由電子の個数 n〔個/m³〕を求めよ。ただし，$e = 1.6 \times 10^{-19}$〔C〕とする。

(5)　電流や磁場の向きを変えずに，導体の代わりにｐ型半導体を用いた場合，ホール効果によって内部に生じる電場の向きは，導体のときと比較して同じ向きか，逆向きか。理由も含めて簡潔に説明せよ。

(6)　ホール効果が使われている例を一つ挙げよ。

5　静電気に関して，次の(1)～(3)の問いに答えなさい。ただし，円周率をπ，クーロンの法則の比例定数をk〔$N \cdot m^2/C^2$〕とする。

(1)　帯電体から出る電気力線に関して，以下の文章の $\boxed{①}$ ～ $\boxed{③}$ に当てはまる文字式を答えよ。

図１のように，Q〔C〕の正電荷を中心とする半径r〔m〕の球面S上の各点において，電場の方向は球面Sに対して垂直であり，クーロンの法則よりQ，k，rを用いて，電場の強さは，$E = \boxed{①}$〔N/C〕である。球面Sを貫く電気力線の数は$1\,m^2$当たりE〔本〕で，球面Sの面積はrを用いて，$\boxed{②}$〔m^2〕であるから，球面Sを貫く電気力線の総数はQ，kを用いて，$N = \boxed{③}$〔本〕となる。一般に，Q〔C〕の帯電体から出る電気力線の総数は $\boxed{③}$〔本〕であるといえる。

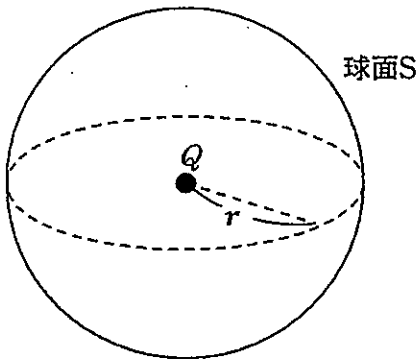


図１

(2)　図２は，周辺部の影響が無視できる広い金属板に，1〔m^2〕当たりq〔C〕の正電荷が一様に分布している様子を表している。この金属板からr〔m〕はなれた点の電場の強さをk，q，rから必要なものを用いて表せ。

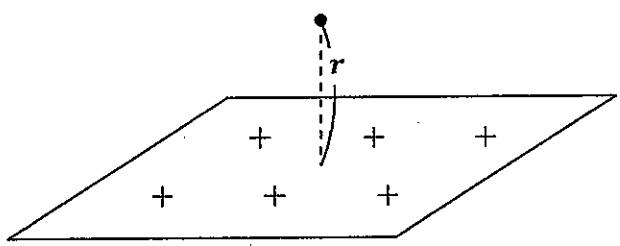


図２

(3)　図３のように，質量 M〔kg〕，電気量 Q〔C〕の荷電粒子Ａが固定されており，そこから距離 r〔m〕はなれた位置に，質量 m〔kg〕，電気量 q〔C〕の荷電粒子Ｂが固定されている。ただし，重力の影響は無視する。次の①～③の問いに答えよ。

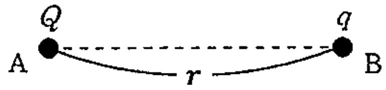


図３

①　粒子Ｂが粒子Ａから受ける静電気力の大きさを Q, q, k, r を用いて表せ。

②　粒子Ｂの固定を外すと，粒子Ｂは粒子Ａから離れていった。無限遠まで離れたときの粒子Ｂの速さを Q, q, k, r, m を用いて表せ。

③　粒子Ａと粒子Ｂの固定を同時に外すと，粒子Ａと粒子Ｂは互いに逆向きに一直線上を進んでいった。粒子Ａと粒子Ｂが互いに無限遠まで離れたときの粒子Ｂの速さ v を Q, q, k, r, m, M を用いて表せ。ただし，解答に至る過程も記述せよ。

6　理想気体の状態変化について，以下の〔Ⅰ〕，〔Ⅱ〕の問いに答えなさい。

〔Ⅰ〕　図１のように，なめらかに動くピストン付きのシリンダーAとシリンダーB（以下，A，B）を大気中で水平に固定し，ばね定数kの軽いばねで連結する。ばねはちょうど自然長である$3L$の長さとなっている。AとBは一定の断面積Sをもち，それぞれに絶対温度T，体積SLで圧力が大気圧P_0と等しい単原子分子理想気体（以下，理想気体）が入っている。また，Aは断熱材でできており，Aの左側にはヒーターが取り付けられており，気体を加熱することができる。Bは大気と熱のやり取りをすることができ，Bの内部は常に温度Tに保たれている。Aに入っている理想気体をゆっくりと熱していくと，図２のようにばねの長さが$2L$になった。このときの状態変化について，次の(1)～(4)の問いに答えなさい。

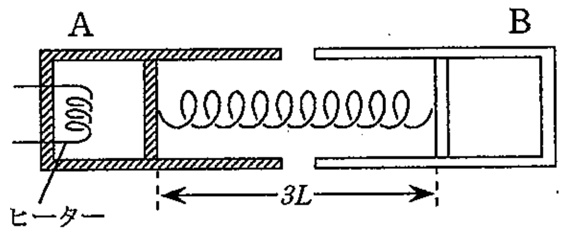


図１

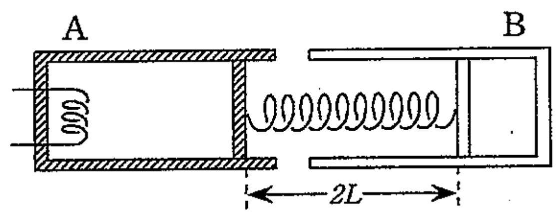


図２

(1)　ばねに蓄えられたエネルギーをk，Lを用いて表せ。

(2)　シリンダーBの中の理想気体の圧力をP_0，k，L，Sを用いて表せ。

(3)　シリンダーBの中の理想気体の体積をP_0，k，L，Sを用いて表せ。

(4)　シリンダーAの中の理想気体の絶対温度をP_0，k，L，S，Tを用いて表せ。

〔II〕　図３のように，断熱材でできたシリンダーCがあり，内部は断熱材でできた断面積Sのピストンで仕切られており，ピストンはなめらかに移動できる。シリンダーC の左側にはヒーターが取り付けられており，気体を加熱することができる。ピストンの右側には，ばね定数kのばねが取り付けられている。今，ピストンの左側の部分に単原子分子理想気体を入れて，右側の部分を真空にしたところ，ばねは自然長からLだけ縮んだ状態となった。このときの理想気体の体積は$4SL$であった。次の(5)，(6)の問いに答えなさい。ただし，気体定数をRとする。

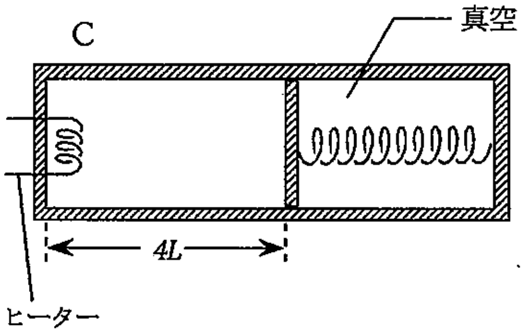


図３

(5)　ヒーターで理想気体を加熱したところ，理想気体の体積は$5SL$になった。このとき，理想気体が外部にした仕事をk，Lを用いて表せ。

(6)　ヒーターによる加熱をやめ，ピストンの右側を真空に保ったまま，ばねを取り除いた。生徒に説明する場面を想定し，このあとの理想気体の温度変化がどのようになるか記述せよ。

物　理　　解答用紙	２枚中の１	受験番号		氏名	

（５年）

1 (1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)①

②

③

④

⑤

⑥

(8)

2 (1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

3 (1)

(2)

(3)

(4)

(5)

物　理　　解答用紙	２枚中の２	受験番号		氏名	

（５年）

4 (1) 名称　　　　向き

(2) 大きさ　　　　向き

(3)

(4)

(5) 向き

理由

(6)

5 (1)①　　②

③

(2)

(3)①

②

③

6 (1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

以下はあくまでも解答の一例です。

物　理　　解答用紙	2枚中の1	受験番号		氏名	

（5年）

1

(1) $\dfrac{mg}{k}$　5点

(2) kA　5点

(3) $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$　5点

(4) $A\sqrt{\dfrac{k}{m}}$　5点

(5) 衝突直前の小球1の速度を v，衝突直後の小球1の速度を v_1，小球2の速度を v_2 とおく。弾性衝突をするから，

$$1=\frac{v_2-v_1}{v}$$

また，運動量保存則より　$mv=mv_1+4mv_2$

以上2式より，　$v_2=\frac{2}{5}v=\frac{2}{5}A\sqrt{\frac{k}{m}}$

6点

(6) (5)で1回目の衝突直後の小球1及び小球2の速度はそれぞれ　$v_1=-\frac{3}{5}v$，$v_2=\frac{2}{5}v$

各小球の位置を x_1, x_2 とし，小球1の角振動数を $\omega_1=\sqrt{\frac{k}{m}}$，1回目の衝突からの時間を t とおくと，

$x_1=-\frac{3v}{5\omega_1}\sin\omega_1 t$，$x_2=\frac{4v}{5\omega_1}\sin\left(\frac{\omega_1}{2}t\right)$

$x_1=x_2=X$ 及び2式より，　$X=\frac{4\sqrt{5}}{15}A$

6点

(7) ① イ　1点

② ア　1点

③ $R\omega$　1点

④ $R\omega^2$　1点

⑤ $R\cos\omega t_1$　2点

⑥ $-\omega^2 x_1$　2点

(8) (例)生徒のもつ端末から等速円運動と単振動の関係性を図やグラフで示したアプリケーションへアクセスできるようにし，生徒が繰り返して単振動と等速円運動の様子を観察できるようにする。

6点

2

(1) オ　4点

(2) $\dfrac{L}{d}\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\lambda$　5点

(3) $1\times10\mathrm{m}$　5点

(4) $\dfrac{m\lambda}{D}$　5点

(5) 0.2 m　6点

(6) CD や DVD は規則正しく並んだ凹凸があり，反射型回折格子とみなせるから。

5点

3

(1) $h\nu$　5点

(2) eV_0　5点

(3) 振動数が大きくなると，光子1個のもつエネルギーが大きくなり，光電子の最大運動エネルギーも大きくなる。したがって，阻止電圧は大きくなる。

6点

(4) $h\nu_0$　5点

(5) 光の波動性を仮定すると，光のエネルギーは明るい光であれば大きくなるため，光の振動数にかかわらず光電子が飛び出るはずである。しかし，光の振動数が限界振動数よりも小さいと，光が明るくても光電子は飛び出ない。光の粒子性を仮定すると，光子1個のエネルギーは振動数に比例するため，光の振動数により光電子のふるまいが変わる光電効果を矛盾なく説明できる。

6点

物　理　　解答用紙	２枚中の２	受験番号		氏名	

（５年）

4 (1) 名称 ローレンツカ　3点　　向き イ　2点

(2) 大きさ vB　3点　　向き イ　2点

(3) vBa　5点

(4) 2.0×10^{19}　〔個/m³〕　5点

(5) 向き 逆向き　2点

理由

p 型半導体のキャリアは正の電荷とみなすことができるホールであるから。

4点

(6) 冷蔵庫の扉やノート PC の開閉検知，磁束密度の測定，など

6点

5 (1)① $k\dfrac{Q}{r^2}$　3点　　② $4\pi r^2$　3点

③ $4\pi kQ$　3点

(2) $2\pi kq$　〔N/C〕　6点

(3)① $k\dfrac{Qq}{r^2}$　〔N〕　4点

② $\sqrt{\dfrac{2kQq}{mr}}$　〔m/s〕　6点

③ A，B の物体系において，運動量は保存される。無限遠での A の速度を V とすると，

$$MV+mv=0$$

また，力学的エネルギーも保存される。

$$\frac{1}{2}MV^2+\frac{1}{2}mv^2+0=0+0+k\frac{Qq}{r}$$

以上２式より，

$$v=\sqrt{\frac{2MkQq}{mr(M+m)}}\quad〔\mathrm{m/s}〕$$

8点

6 (1) $\dfrac{1}{2}kL^2$　3点

(2) $P_0+\dfrac{kL}{S}$　3点

(3) $\dfrac{P_0S^2L}{P_0S+kL}$　6点

(4) $\dfrac{2P_0S+3kL}{P_0S}T$　6点

(5) $\dfrac{3}{2}kL^2$　6点

(6) 理想気体がピストンを押して右側に広がるとき，断熱変化であるので，気体の熱量変化 $Q=0$ となる。また，気体は外部（真空）からまったく圧力を受けていないので，広がるときに外部へ仕事 W をしなくても体積が増加できる。すなわち，$W=0$ となる。熱力学第一法則より，$\Delta U=Q-W=0$ また，単原子分子理想気体であるから内部エネルギー $\Delta U=\frac{3}{2}nR\Delta T$ より，$\Delta T=0$ となる。よって気体の温度は変化しない。　8点