

令和6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13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 波に関して、以下の〔I〕,〔II〕の問いに答えなさい。

〔I〕 波の基本事項に関して、以下の(1), (2)の問いに答えなさい。

(1) 次の①～③の現象と最も関係が深い波の性質を、後のア～カから1つ選べ。

- ① 海を伝わる波の波面は、沖から海岸に近づくにつれて海岸線に対して平行になる。
- ② ノイズキャンセリングヘッドフォンでは、周囲の雑音と逆位相の音をスピーカーから発生させ、雑音による影響を軽減させている。
- ③ FM放送(超短波)に比べて、AM放送(中波)は、建物や山かげに電波が届きやすい。

ア 反射 イ 屈折 ウ 回折 エ 分散 オ 散乱 カ 干渉

(2) ドップラー効果の公式を用いると、音源と観測者が同じ向きに同じ速さで動いているとき、観測者が聞く音の振動数は、音源の振動数と変わらない。そのため生徒の中には、「このとき、音波には何も変化は起きていない」と勘違いしてしまう生徒もいる。実際にはそうではないことを、以下の【説明】のように、現象の途中過程を考えることで気付かせようとした。【説明】の中の①～④に当てはまる適切な語句を答えよ。

【説明】

音源が観測者に近づくことによって、音波の波長は(①)。これを静止した観測者が聞くと、音波の波形の山が届く時間間隔が(②)なので振動数は(③)。しかし、いま観測者は音源から遠ざかろうとする向きに移動しているので、音波の波形の山が届く時間間隔は、静止している場合よりも(④)。その結果、音源の運動による効果と観測者の運動による効果が相殺されて、振動数の変化が無くなる。よって、移動している観測者が聞く振動数は結果的に変わらなかったが、音波には変化が起こっているのである。

- (II) 図1のように、 x 軸上にある静止した音源と、音源から発生する波を観測しながら一定の速さ v_0 ($v_0 > 0$) で遠ざかっている観測者を考える。音源は、任意の時刻 t において、媒質の x 軸方向の変位 X が $X = A \sin(2\pi ft)$ になるような波を発生させている。 A は振幅、 f は振動数であり、音が伝わる速さを V とする。



図1

観測者が、時刻 t_0 で位置 x_0 を通過した。以下の(3)~(6)の問いに答えなさい。ただし、音波の減衰は考えないものとする。

- (3) 時刻 t_0 において観測者が観測する音波による媒質の変位 X_0 を、 A , f , t_0 , V , x_0 を用いて表せ。
- (4) 時刻 t_0 から微小時間 Δt だけ進んだ時刻 $t_0 + \Delta t$ における観測者の位置 x' を、 Δt , v_0 , x_0 を用いて表せ。
- (5) (4)の時刻 $t_0 + \Delta t$ において観測者が観測する音波による媒質の変位 X' を、 A , f , t_0 , Δt , v_0 , V , x_0 を用いて表せ。
- (6) 時刻 t_0 から時刻 $t_0 + \Delta t$ において、観測者が観測する波の位相が 2π 変化したとする。このとき、 Δt の逆数は観測者が観測する振動数 f' を表す。このことを利用して、 f' を V , v_0 , f を用いて表せ。

2 熱と温度に関して、以下の問いに答えなさい。

熱容量 C の銅製容器に、質量 m 、比熱 c の水をいれた。
 このときの容器と水はともに温度 t である。図1のよう
 に、水の中へあらかじめ温めておいた温度 T ($T > t$)、質
 量 M で比熱が未知の金属球を入れて水をかき混ぜたと
 ころ、水の温度は T_h になって熱平衡に達した。水の温度
 は温度センサーを用いて時間経過とともに測定できる。
 また、銅製容器は断熱材で囲まれており、水をかき混ぜ
 る道具やセンサーの熱容量は無視できるものとする。

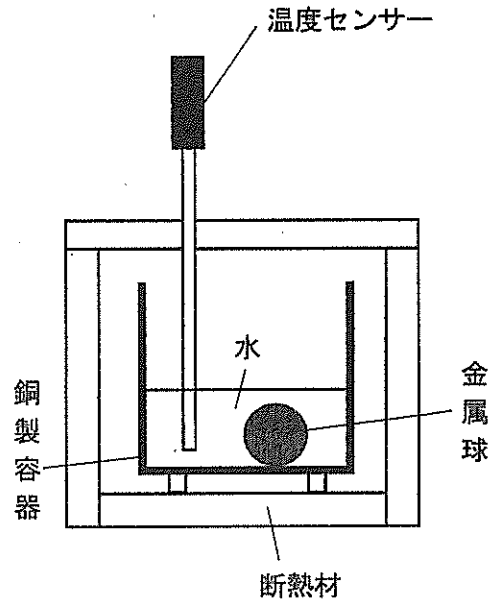
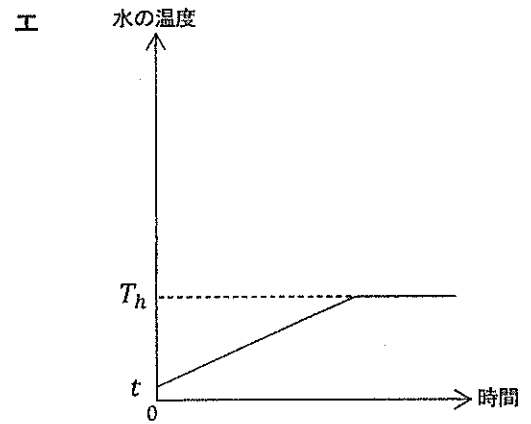
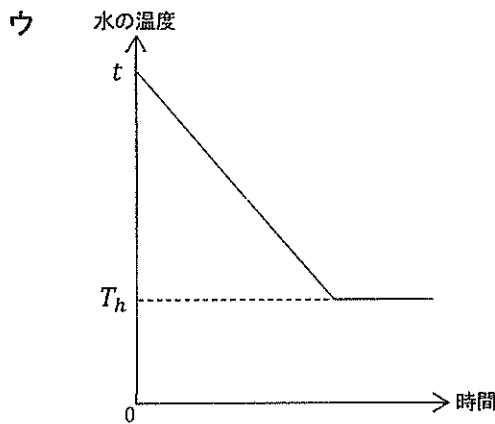
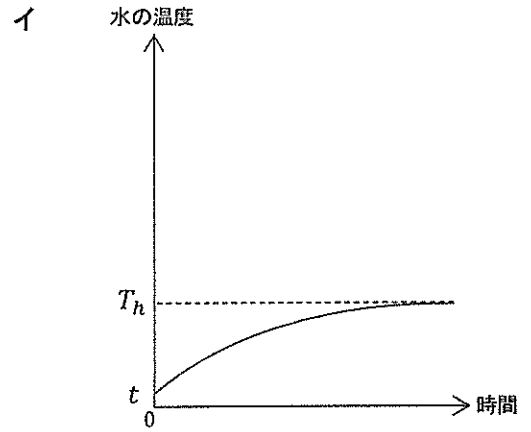
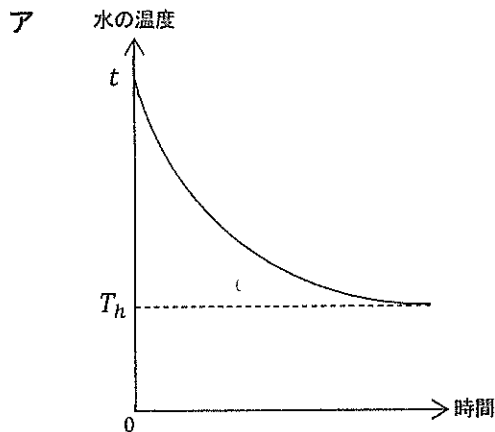


図1

(1) 温度センサーの測定によって得られた水の温度と時間のグラフの概形として最も適切なものを
 ア～エの中から1つ選べ。ただし、温度の測定は金属球を水に入れた瞬間から開始し、測定中は水
 と銅製容器、金属球のみで熱が移動するものとする。



- (2) 水が金属球から得た熱量を, m, c, t, T_h を用いて表せ。
- (3) 金属球の比熱を, m, M, c, C, t, T, T_h を用いて表せ。
- (4) 生徒が金属球の比熱を測定する実験において以下の①～③のような操作・考察をした場合, 金属球の比熱の計算結果は金属球の真の比熱の値に対して大きくなるか, 小さくなるか, それぞれ答えよ。
- ① 温めた後にしばらく空気中に放置して温度が T' ($t < T' < T$) に下がった金属球を水に入れた。
- ② 水と金属球のみで熱が移動したと考えた。
- ③ 金属球を水に入れた後, 熱平衡に達する前の水の温度を T_h とした。

3 万有引力に関して、以下の〔I〕～〔III〕の問いに答えなさい。

〔I〕 図1のように、地上の1点から鉛直上方へ質量 m_1 [kg] の小物体を打ち上げる。地球は半径 R [m]、質量 m_2 [kg] の一様な球で、小物体は地球から万有引力の法則に従う力を受けるものとする。ただし、地上での重力加速度の大きさを g [m/s²]、万有引力定数を G [N·m²/kg²] とする。また、地球の自転および公転による影響は無視できるものとする。

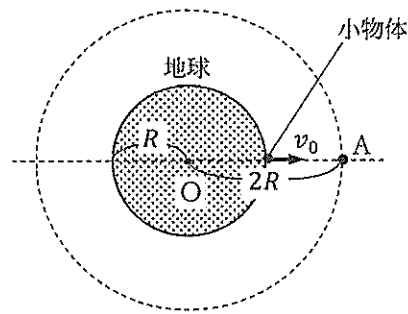


図1

- (1) 地上での重力加速度の大きさ g を R, m_2, G を用いて表せ。
- (2) 小物体の速度が地球の中心 O から $2R$ の距離にある点 A で 0 になるためには、小物体の初速度の大きさ v_0 [m/s] をいくらにすればよいか。 g, R を用いて表せ。

- 〔II〕 図2のように、地上から打ち上げられた小物体の速度が点Aで0になった瞬間、小物体に大きさが v [m/s] でOAに垂直な方向の速度を与える。

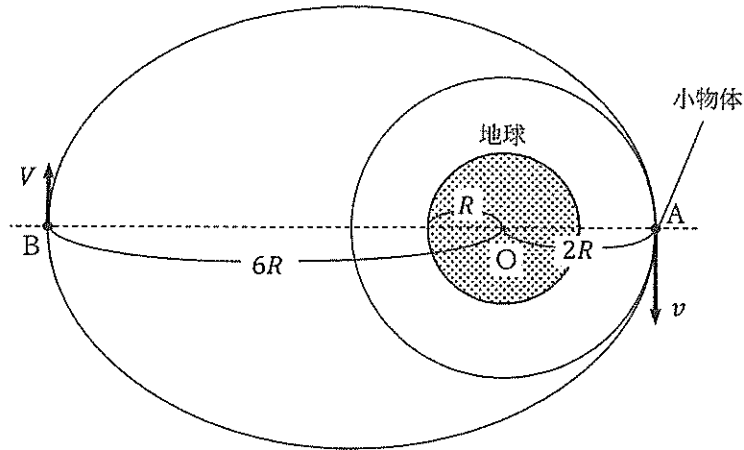


図2

- (3) 小物体が地球の中心Oを中心とする等速円運動をするためには、 v をいくらにすればよいか。
 g, R を用いて表せ。また、この円運動の周期 T_1 [s] を g, R を用いて表せ。
- (4) 点Aで小物体に与える速さ v が (3) で求めた値からずれると、物体の軌道は、地球の中心を1つの焦点とするだ円となることがある。小物体がABを長軸とするだ円軌道を描くとき、次の①～③の間に答えよ。ただし、点Bの地球の中心からの距離は $6R$ である。また、この場合でもケプラーの法則が成立するものとする。
- ① 点Bにおける物体の速さ V [m/s] を、 v を用いて表せ。
 - ② 速さ v を g, R を用いて表せ。
 - ③ このだ円運動の周期 T_2 [s] を g, R を用いて表せ。
- (5) だ円軌道は v が大きくなるほど大きくなり、 v がある値以上になると、物体は無限遠方に飛び去ってしまう。小物体が地球に衝突もせず、かつ無限遠方に飛び去ることもなくだ円軌道を描き続けるためには、速さ v はどのような範囲にならなければならないか、不等式で表せ。

〔Ⅲ〕 太陽系惑星の運動は極めて円運動に近い。そこで、図3のように、太陽を中心とした等速円運動をする惑星を仮定する。ここで、太陽の質量を M [kg]、惑星の質量を m [kg]、太陽の中心から惑星の中心までの距離を r [m]、周期 T [s] とする。

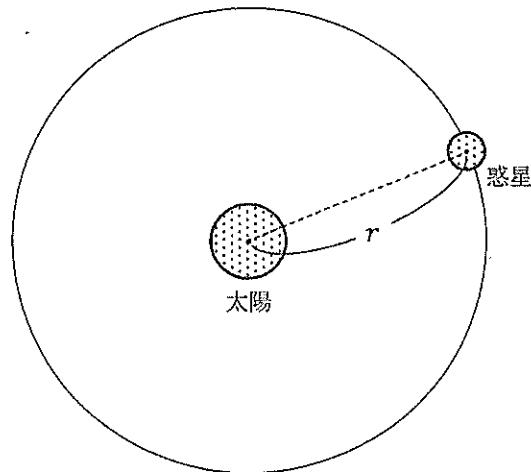


図3

(6) この惑星が太陽から受ける向心力の大きさ F [N] は、「惑星の質量 m に比例し、太陽の中心から惑星の中心までの距離 r の2乗に反比例する」ことを、ケプラーの法則を用いて、授業場面を想定して簡潔に説明せよ。

(7) この惑星と太陽は万有引力を及ぼし合っており、その万有引力による位置エネルギー U [J] は無限遠を基準にとると、 $U = -\frac{GMm}{r}$ (G : 万有引力定数) と表されることを、簡潔に説明せよ。ただし、図4のように、太陽の中心を原点とみなし、惑星の中心を通る直線を x 軸と定める。

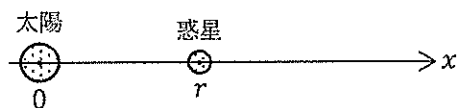


図4

4 コンデンサーに関して、次の〔I〕,〔II〕の問いに答えなさい。

〔I〕 図1のように、十分大きな断面積 S で厚さの無視できる同じ形の2枚の金属板を幅 d で平行に並べた平行板コンデンサーがある。このコンデンサーの上面の金属板に電気量 Q , 下面の金属板に電気量 $-Q$ を与えた。真空の誘電率を ϵ_0 とし、板の端の効果を無視する。次の(1) , (2)の問いに答えなさい。

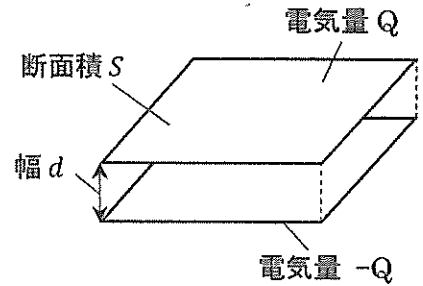


図1

- (1) 平行板コンデンサーの電気容量を, ϵ_0 , d , S を用いて表せ。
- (2) 金属板の間の電位差を, ϵ_0 , d , S , Q を用いて表せ。

〔II〕 図1のコンデンサーの電気容量を C とする。電気量が Q で帯電した状態のコンデンサー、抵抗値が R の抵抗、起電力が V の電源、スイッチを用いて、図2のような回路をつくった。その後、スイッチを閉じて、十分時間が経過した。次の(3)~(7)の問いに答えなさい。ただし、電源の内部抵抗は無視できるものとする。

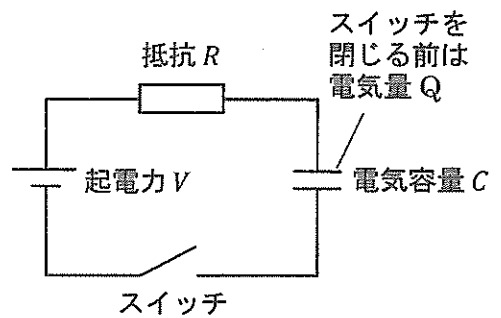


図2

- (3) 十分時間が経過した後で、回路を流れる電流を求めよ。
- (4) 十分時間が経過した後で、コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーを, C , Q , R , V , から必要なものを用いて表せ。
- (5) スイッチを閉じてから十分時間が経過するまでに、電源がした仕事を, C , Q , R , V , から必要なものを用いて表せ。
- (6) スイッチを閉じてから十分時間が経過するまでに、抵抗で生じたジュール熱を, C , Q , R , V , から必要なものを用いて表せ。

(7) コンデンサーが日常生活で活用されている例として、スマートフォンのタッチパネルを取り上げる。スマートフォンのタッチパネルでタッチした位置を特定する仕組みは、以下の(i)~(iii)の手順で説明される。

(i) 人の指がスマートフォンのタッチパネルに触れると、パネルに蓄えられていた電荷が指へ移動する。

(ii) パネル側の電極と指の間でコンデンサーが形成されることで、タッチした部分の合成容量が変化する。

(iii) パネル上の合成容量が変化した部分を検知して、タッチした箇所を認識する。

人が手袋をつけてスマートフォンの画面をタッチしても、タッチパネルが反応をしなかったとき、その理由を指とタッチパネルとの距離に注目し、「静電容量」の用語を用いて説明せよ。ただし、手袋はすべて不導体の素材でできているものとする。

5 電磁誘導に関して、以下の問いに答えなさい。

図1のように、磁束密度 B の一様な磁場中に、太さの無視できる半径 r の導体環とその中心 O のまわりで自由に回転できる長さ a の導体棒 OP が、磁場と垂直に置かれている。回路の中には抵抗 R が繋がれている。導体棒 OP は、導体環との接点 T で一定の摩擦力を受けながら、回転できる。最初、スイッチは開いている。次の(1)~(8)の問いに答えなさい。ただし、(1)~(7)までは導体棒の抵抗は考えないものとする。

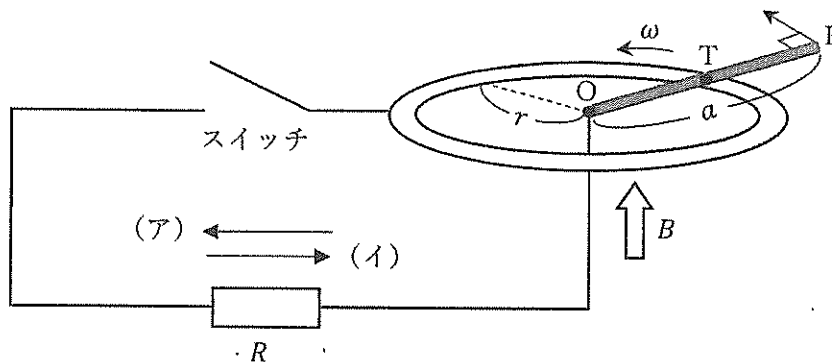


図1

(1) 導体棒の先端 P に一定の大きさの力を加えながら、角速度 ω で上から見て反時計まわりに回転させる。微小時間 Δt の間に OT の部分が横切る磁束 $\Delta\phi$ を、 B 、 r 、 ω 、 Δt を用いて表せ。

(2) OT 間に生じる誘導起電力の大きさ V を、 B 、 r 、 ω を用いて表せ。

次に、図1のスイッチを閉じた。導体棒を同じ角速度 ω で回転させるためには、先端 P に、導体棒と直角な方向にさらに力を付加する必要がある。

(3) このとき、抵抗 R を流れる電流の大きさ I を、 B 、 r 、 ω 、 R を用いて表せ。また、電流の向きを図1の (ア) か (イ) のいずれかで答えよ。

- (4) 抵抗 R で消費される電力 P を, B, r, ω, R を用いて表せ。
- (5) (4)の結果を利用し, 新たに付加する力の大きさ F_1 を, B, r, ω, R, a を用いて表せ。
- (6) 導体棒 OP を流れる電流が磁場から受ける力の大きさ F_2 を, B, r, ω, R を用いて表せ。
- (7) 授業中にこの問題を扱っている際, 生徒から, 「導体棒が同じ角速度で回転するためには, 新たに付加する力と, 電流が磁場から受ける力が釣り合えばよいはずですよ。そのため $F_1 = F_2$ だと考えたのですが, 値が一致しないのはなぜですか?」という質問を受けた。この質問に対する回答として, 力のモーメントの視点で論理的に説明せよ。
- (8) 導体棒 OP が抵抗値 X を持っている場合を考える。その場合, 抵抗 R で消費される電力 P' を, B, r, ω, R, a, X を用いて表せ。

6 コンプトン効果に関して、以下の〔I〕, 〔II〕の問いに答えなさい。

〔I〕 図1のように、波長 λ [m]のX線(入射X線)を黒鉛片に当てたとき、さまざまな角度において散乱されたX線を調べる実験をした。図中のA~Dは観測点を示しており、図2は、各観測点における散乱X線の波長とその強度について調べたものである。

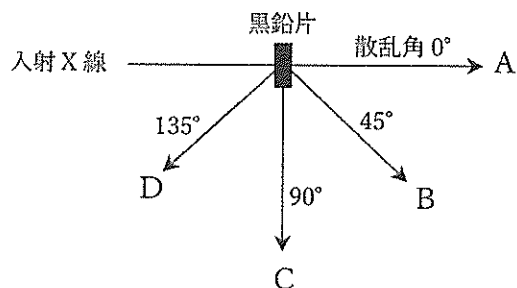


図1

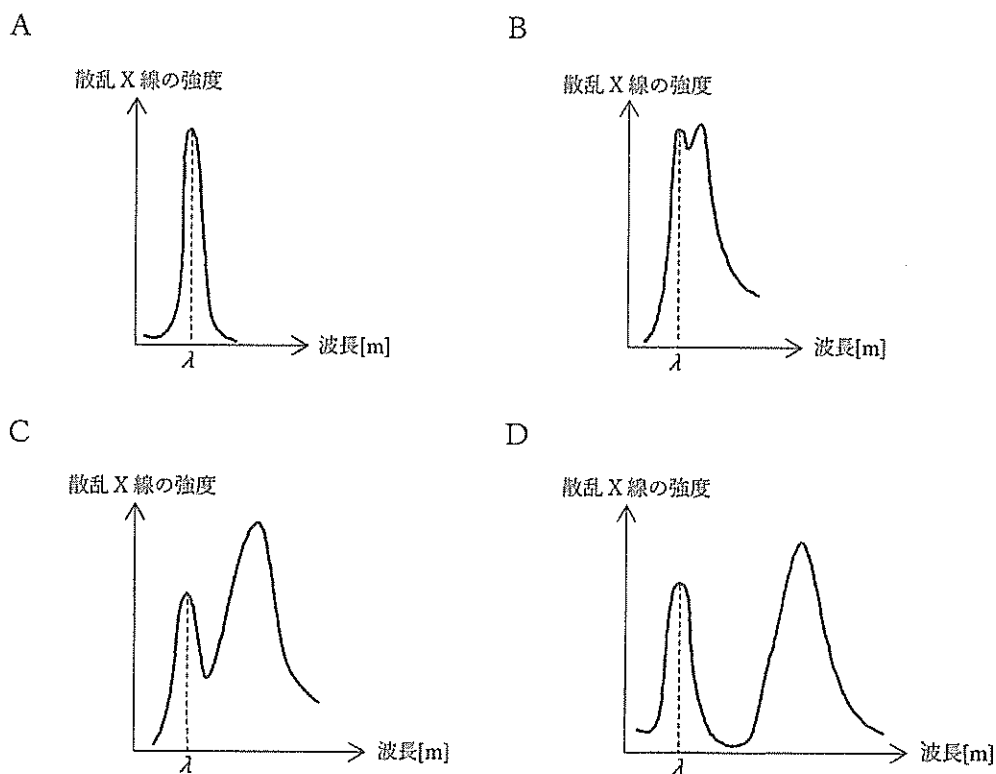


図2

(1) この実験結果から、X線を波動と考えたときの矛盾点を簡潔に説明せよ。

〔Ⅱ〕 次に、図3のように、 $x-y$ 平面の原点に静止している質量 m [kg] の電子に、波長 λ [m] の X 線を x 軸方向に入射したとき、電子は x 軸方向に対して α [rad] の角度に速さ v [m/s] ではね飛ばされ、X 線は θ [rad] の角度に散乱された。この散乱された X 線の波長を λ' [m] とする。ここで、この現象は X 線

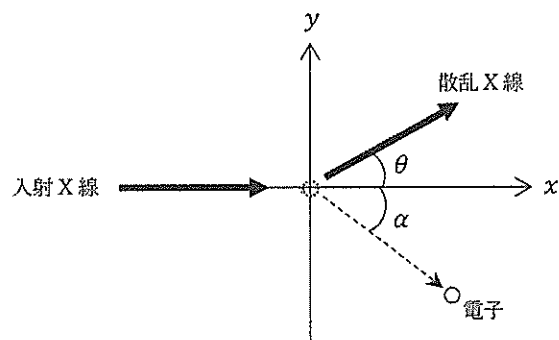


図3

光子と電子が弾性衝突をするものとし、弾性衝突ではエネルギーと運動量がともに保存されるとする。また、光の速さを c [m/s]、プランク定数を h [J · s] とし、次の(2)~(6)の問いに答えなさい。

- (2) X 線光子と電子における散乱前後でのエネルギーに関する関係式を求めよ。
- (3) X 線光子と電子における散乱前後での運動量に関して、 x 軸方向、 y 軸方向のそれぞれについて関係式を求めよ。
- (4) (2), (3)より、 λ' を λ , m , c , h , θ を用いて表せ。ただし、 λ' と λ が非常に近い値の場合は、 $\frac{\lambda'}{\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda'} \approx 2$ が成り立つものとする。
- (5) (4)の結果を利用し、散乱角 $\theta = 90^\circ$ のときの $\lambda' - \lambda$ の値を有効数字2桁で求めよ。ただし、 $h = 6.6 \times 10^{-34}$ [J · s], $c = 3.0 \times 10^8$ [m/s], $m = 9.1 \times 10^{-31}$ [kg] とする。
- (6) X 線の波長は $10^{-11} \sim 10^{-8}$ [m] 程度である。X 線の代わりに可視光線 (380 ~ 770 [nm]) を入射した場合、コンプトン効果が顕著には現れなくなる。その理由を(4), (5)の結果を参考に、簡潔に説明せよ。

物 理 解 答 用 紙	2 枚 中 の 1	受 験 番 号		氏 名	
-------------	-----------	---------	--	-----	--

(6年)

1 (1)①	②
③	
(2)①	②
③	④
(3)	(4)
(5)	
(6)	

2 (1)	
(2)	(3)
(4)①	②
③	

3 (1)	(2)
(3) $v =$ $T_1 =$	
(4)①	②
③	(5)
(6)	
(7)	

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	
-------------	-----------	---------	--	-----	--

(6年)

1 (1)① イ 【2点】	② カ 【2点】
③ ウ 【2点】	
(2)① 短くなる 【3点】	② 短くなる 【3点】
③ 高くなる 【3点】	④ 長くなる 【3点】
(3) $A \sin \left\{ 2\pi f \left(t_0 - \frac{x_0}{V} \right) \right\}$ 【3点】	(4) $x_0 + v_0 \Delta t$ 【3点】
(5) $A \sin \left[2\pi f \left\{ (t_0 + \Delta t) - \frac{x_0 + v_0 \Delta t}{V} \right\} \right]$ 【3点】	
(6) $\frac{V-v_0}{V} f$ 【3点】	

2 (1) イ 【5点】	
(2) $mc(T_h - t)$ 【5点】	(3) $\frac{(mc+C)(T_h - t)}{M(T - T_h)}$ 【5点】
(4)① 小さくなる 【5点】	② 小さくなる 【5点】
③ 小さくなる 【5点】	

3 (1) $\frac{Gm_2}{R^2}$ 【3点】	(2) \sqrt{gR} 【3点】
(3) $v = \sqrt{\frac{gR}{2}}$ 【3点】	$T_1 = 4\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$ 【3点】
(4)① $\frac{1}{3}v$ 【4点】	② $\frac{1}{2}\sqrt{3gR}$ 【4点】
③ $16\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$ 【4点】	(5) $\sqrt{\frac{gR}{3}} < v < \sqrt{gR}$ 【4点】
(6) 惑星の運動方程式は、 $mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = F$ さらにケプラーの第3法則より、 $\frac{T^2}{r^3} = k$ よって、 $F = mr \frac{4\pi^2}{kr^3} = \frac{4\pi^2}{k} \frac{m}{r^2}$ となり、 向心力の大きさ F は、惑星の質量 m に比例し、 太陽の中心から惑星の中心までの距離 r の 2乗に反比例する。【6点】	
(7) 万有引力が基準点までにする仕事が、万有引力 による位置エネルギーなので、その仕事の大き さ W は、 $W = \int_r^\infty G \frac{Mm}{x^2} dx = \left[-G \frac{Mm}{x} \right]_r^\infty = G \frac{Mm}{r}$ ここで、物体にはたらく万有引力の向きは移動 する向きと反対のため、万有引力がする仕事は 常に負である。よって、 $U = -G \frac{Mm}{r}$ 【6点】	

物理 解答用紙	2枚中の2	受験番号	氏名
---------	-------	------	----

(6年)

4 (1) $\frac{S}{\epsilon_0 d}$ 【4点】	(2) $\frac{Qd}{\epsilon_0 S}$ 【4点】
(3) 0 【4点】	(4) $\frac{1}{2} CV^2$ 【4点】
(5) $V(CV-Q)$ 【4点】	(6) $\frac{(CV-Q)^2}{2C}$ 【4点】
(7) パネルと手の間の距離が大きくなるため、指と回路の間に作られるコンデンサーの静電容量は小さくなり、回路全体の合成容量の変化を検知することができなくなるから。【6点】	

5 (1) $\frac{1}{2} r^2 B \omega \Delta t$ 【4点】	(2) $\frac{1}{2} r^2 B \omega$ 【4点】
(3) 大きさ $\frac{r^2 B \omega}{2R}$ 【3点】	向き \perp 【2点】
(4) $\frac{r^4 B^2 \omega^2}{4R}$ 【5点】	(5) $\frac{r^4 B^2 \omega}{4aR}$ 【5点】
(6) $\frac{r^3 B^2 \omega}{2R}$ 【5点】	
(7) まず、 F_1 の作用点は点Pで、 F_2 の作用点はOTの中点であり、作用点異なることに注目したい。すると、導体棒を点Oのまわりに等速で回転させるには、並進運動のつりあいではなく、点Oのまわりの力のモーメントのつりあいを考える必要がある。よって、 $F_1 \times a - F_2 \times \frac{r}{2} = 0$ を満たせば良い。よって、 $F_1 = \frac{r}{2a} F_2$ となり、これは(5)(6)を成立させる。【7点】	
(8) $\frac{a^2 r^4 B^2 \omega^2}{4(aR+rX)^2} R$ 【5点】	

6 (1) X線を波動と考えると、入射X線と散乱X線の波長は変化しないはずであるが、そのような結果になっていない点。【5点】
(2) $\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda'} + \frac{1}{2} mv^2$ 【4点】
(3) x軸: $\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos\theta + mv \cos\alpha$ 【4点】
y軸: $0 = \frac{h}{\lambda} \sin\theta - mv \sin\alpha$ 【4点】
(4) $\lambda' = \lambda + \frac{h}{mc} (1 - \cos\theta)$ 【4点】
(5) 2.4×10^{-12} [m] 【4点】
(6) (4)より、波長の変化量 $\lambda' - \lambda$ は入射X線の波長に依存せず、散乱角 θ によって定数 $\frac{h}{mc}$ の0~2倍の間で定まり、 $0 \leq \lambda' - \lambda \leq 4.8 \times 10^{-12}$ となる。波長がX線よりも $10 \sim 10^4$ 倍長い可視光線の場合、波長に対する変化量の割合 $\frac{\lambda' - \lambda}{\lambda}$ がX線の場合の $10^{-1} \sim 10^{-4}$ 倍になるので、コンプトン効果が顕著に現れなくなる。【5点】