

令和6年度 入学者選抜試験問題

一般選抜 令和6年1月21日

理 科 (120分)

I 注意事項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 この問題冊子は100ページあります。各科目の出題ページは下記のとおりです。
 物理 4～36ページ
 化学 38～58ページ
 生物 60～95ページ
- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気づいた場合は、手を挙げて監督員に知らせなさい。
- 4 解答用紙は2枚配付されます。解答用紙には解答欄以外に次の記入欄があるので、その説明と解答用紙の「記入上の注意」を読み、それぞれ正しく記入し、マークしなさい。
 - ① 受験番号欄
 受験番号を記入し、さらにその下のマーク欄にマークしなさい。正しくマークされていない場合は、採点できないことがあります。
 - ② 氏名欄
 氏名・フリガナを記入しなさい。
 - ③ 解答科目欄
 解答する科目を一つ選び、科目の下の○にマークしなさい。マークされていない場合または複数の科目にマークされている場合は、0点となります。
- 5 試験開始後30分間および試験終了前5分間は退出できません。
- 6 この表紙の受験番号欄に受験番号を記入しなさい。この問題冊子は試験終了後回収します。

II 解答上の注意

- 1 解答はすべて解答用紙の所定の欄へのマークによって行います。たとえば、大問①の③と表示のある問いに対して②と解答する場合は、次の〈例〉のように解答番号3の解答欄の②をマークします。

〈例〉

1	解 答 欄									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
3	①	●	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩

受 験 番 号				

物 理

1 次の問1～4に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 4 〕

問1 次の文章中の空欄 ア ～ ウ に入る数値の組合せとして正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選びなさい。 1

図1のように、水平面上の点Oから、右方にある傾き 60° の斜面に向かって、水平面から 60° 上方の向きに、速さ v_0 で小球Pを投射したところ、斜面上の点Aにおいて、斜面に対して垂直に衝突した。重力加速度の大きさを g とする。小球Pの大きさや空気の抵抗は無視でき、運動は点Oと点Aを含む同一鉛直面内で生じるものとする。

斜面上の点Aに衝突する直前の小球Pの速さ v は $v = \text{ア} \times v_0$ となる。

投射してから点Aに衝突するまでに要した時間 t は $t = \text{イ} \times \frac{v_0}{g}$ であり、

点Aの水平面からの高さ h は $h = \text{ウ} \times \frac{v_0^2}{g}$ となる。

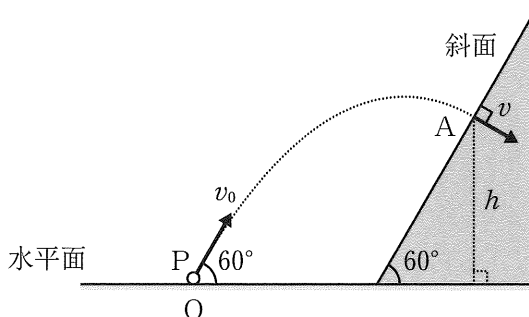


図1

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$
イ	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$	$\frac{2\sqrt{3}}{3}$
ウ	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$

(下 書 き 用 紙)

1の問は次に続く。

問2 次の文章中の空欄 ア ～ ウ に入る式の組合せとして正しいものを、
下の①～⑧のうちから一つ選びなさい。 2

内部抵抗の無視できる起電力 E の電池 E 、電気抵抗 R_1 、 R_2 、 R_3 、自己インダクタンス L のコイル L 、スイッチ S を図2のように接続した回路がある。電気抵抗 R_1 、 R_2 、 R_3 の抵抗値はそれぞれ、 $\frac{1}{3}R$ 、 R 、 $2R$ で、回路内において R_1 、 R_2 、 R_3 以外の電気抵抗はすべて無視でき、また、回路を流れる電流が作る磁場も無視できるものとする。

スイッチ S を閉じた瞬間に、電気抵抗 R_1 を流れる電流の大きさは ア である。十分に時間が経過すると、電気抵抗 R_1 を流れる電流の大きさは イ となる。その後、スイッチ S を開き、十分に時間が経過した。スイッチ S を開いてから十分に時間が経過するまでの間に電気抵抗 R_2 で生じたジュール熱は ウ である。

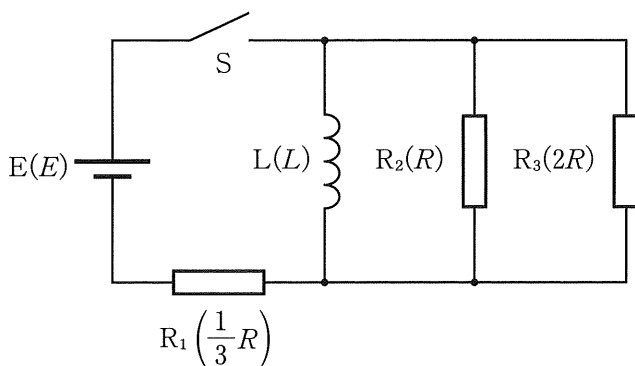


図2

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	$\frac{E}{R}$	$\frac{E}{R}$	$\frac{E}{R}$	$\frac{E}{R}$	$\frac{3E}{R}$	$\frac{3E}{R}$	$\frac{3E}{R}$	$\frac{3E}{R}$
イ	$\frac{2E}{R}$	$\frac{2E}{R}$	$\frac{3E}{R}$	$\frac{3E}{R}$	$\frac{E}{R}$	$\frac{E}{R}$	$\frac{2E}{R}$	$\frac{2E}{R}$
ウ	$\frac{3LE^2}{2R^2}$	$\frac{3LE^2}{R^2}$	$\frac{3LE^2}{2R^2}$	$\frac{3LE^2}{R^2}$	$\frac{3LE^2}{2R^2}$	$\frac{3LE^2}{R^2}$	$\frac{3LE^2}{2R^2}$	$\frac{3LE^2}{R^2}$

(下 書 き 用 紙)

□1の問は次に続く。

問3 次の文章中の空欄 ア , イ に入る数値および式の組合せとして正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。 3

図3のように、水面上に2つの波源 S_1, S_2 を距離 $4d$ 離して静かに置き、 S_1, S_2 の中点を原点 O として、 S_1, S_2 を結ぶ方向に x 軸をとり、 x 軸に垂直に y 軸をとる。

波源 $S_1(2d, 0)$ 、 $S_2(-2d, 0)$ を振動させ、波長 d の波を発生させると、水面上に干渉縞が生じた。強めあう点を連ねてできる双曲線を腹線、弱めあう点を連ねてできる双曲線を節線と呼ぶ。ただし、波源の位置を通過する腹線や節線は考えないものとする。また、図3に描かれた腹線と節線の位置や本数は正確であるとは限らない。

最初、波源 S_1, S_2 を同位相で振動させた。この場合、波源 S_1, S_2 間 $(-2d < x < 2d)$ に節線は ア 本通過する。

一旦、波源 S_1, S_2 の振動を止め、水面全体を波のない状態に戻し、波源 S_1 の位相を波源 S_2 に対して $\frac{\pi}{2}$ 遅らせて振動させた。この場合、波源 S_1, S_2 間 $(-2d < x < 2d)$ を通過する節線と x 軸の交点の位置は、同位相で振動させた場合に生じた位置より イ だけ移動する。ただし、節線と x 軸の交点の位置の移動の向きは、 x 軸の正の向きに移動した場合を正とする。

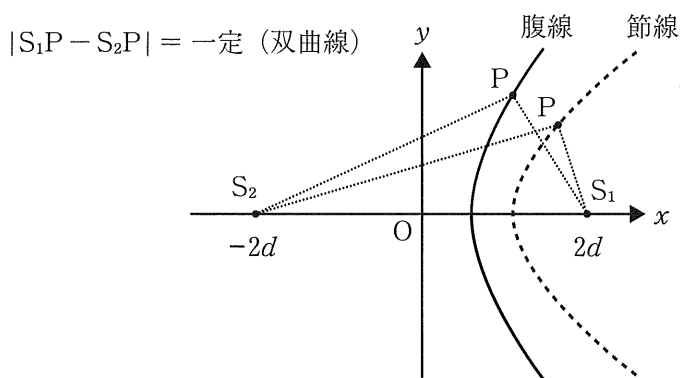


図3

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	4	4	4	4	8	8	8	8
イ	$-\frac{d}{8}$	$-\frac{d}{4}$	$\frac{d}{8}$	$\frac{d}{4}$	$-\frac{d}{8}$	$-\frac{d}{4}$	$\frac{d}{8}$	$\frac{d}{4}$

(下 書 き 用 紙)

1の問は次に続く。

問4 次の文章中の空欄 ア , イ に入る式の組合せとして最も適したものを、下の①～⑥のうちから一つ選べなさい。 4

図4は、X線発生装置（X線管）の原理図である。真空の管内で、加速電圧 V で電子を加速して金属に衝突させると、X線が発生する。電子の初速を0とする。プランク定数を h 、真空中の光の速さを c 、電子の電荷を $-e$ ($e > 0$) とすると、加速電圧 V で加速した場合、このX線管で発生するX線の最短波長 $\lambda_{\min}$ は、 $\lambda_{\min} =$ ア である。

発生したX線の中には特性X線が含まれる。この中の波長 λ_1 の特性X線を、図5のように結晶に当て、結晶から距離 L だけ離しておいたフィルムに当てると、回折像が得られる。結晶内には様々な結晶面がある。回折像の中心 O に最も近いX線が強めあう点までの距離を D とする。この場合の結晶面の間隔 d は、 $d =$ イ となる。ただし、 L は D に比べて十分大きく、 θ が十分に小さいときに成り立つ近似式 $\sin \theta \doteq \tan \theta \doteq \theta$ 、 $\cos \theta \doteq 1$ を用いてよい。

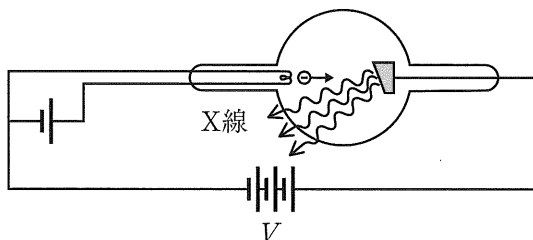


図4

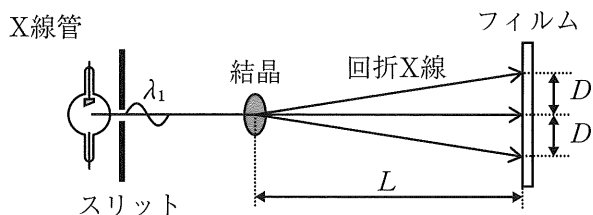


図5

	①	②	③	④	⑤	⑥
ア	$\frac{hc}{2eV}$	$\frac{hc}{2eV}$	$\frac{hc}{2eV}$	$\frac{hc}{eV}$	$\frac{hc}{eV}$	$\frac{hc}{eV}$
イ	$\frac{L\lambda_1}{2D}$	$\frac{L\lambda_1}{D}$	$\frac{2L\lambda_1}{D}$	$\frac{L\lambda_1}{2D}$	$\frac{L\lambda_1}{D}$	$\frac{2L\lambda_1}{D}$

(下 書 き 用 紙)

物理の試験問題は次に続く。

2 次の文章を読み、下の問1～5に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 5〕

図1のように、直線上を一定の速さ v [m/s] で運動している観測者 P が、静止している振動数 f [Hz] の音源 S からの音を観測した場合の振動数 f_1 [Hz] を考える。音の速さを V [m/s] とする。ただし、 $V > v$ とする。

時刻 $t = 0$ [s] に音源 S が発した音を、観測者 P は時刻 $t = t_1$ [s] に位置 P_1 で観測し、時刻 $t = \frac{1}{f}$ [s] に S が発した音を、P は時刻 $t = t_2$ [s] に位置 P_2 で観測した。観測者 P が位置 P_1 を通過する瞬間に、運動する方向と SP_1 のなす角度 ($\angle SP_1P_2$) を θ とする。 $\frac{1}{f}$ は非常に小さく、この場合、 $SP_2 \doteq SP_1 - P_1P_2 \cos \theta$ が成り立つものとする。

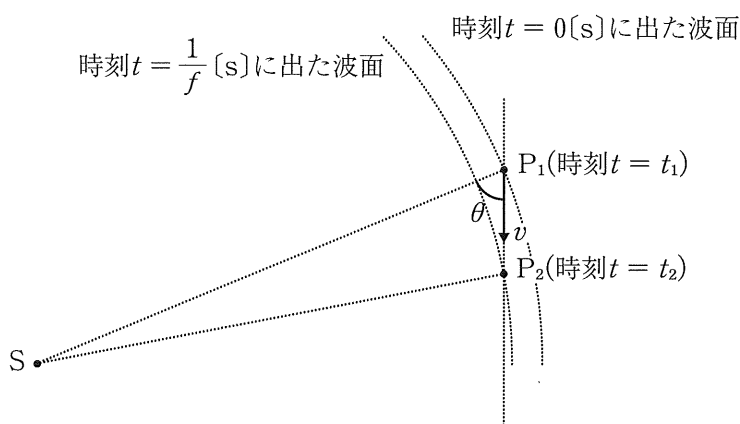


図1

問1 観測者 P が観測する時間 $\Delta t = t_2 - t_1$ [s] はいくらか。最も適したものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $\Delta t =$ 1 [s]

- | | | |
|------------------------------------|--|--|
| ① $\frac{V}{(V - v \cos \theta)f}$ | ② $\frac{V}{(V + v \cos \theta)f}$ | ③ $\frac{V - v \cos \theta}{Vf}$ |
| ④ $\frac{V + v \cos \theta}{Vf}$ | ⑤ $\frac{V - v \cos \theta}{(V + v \cos \theta)f}$ | ⑥ $\frac{V + v \cos \theta}{(V - v \cos \theta)f}$ |

(下 書 き 用 紙)

2の問は次に続く。

問2 この場合、観測者 P が観測する音源 S からの音の振動数 f_1 [Hz] はいくらか。
最も適したものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $f_1 = \boxed{2}$ [Hz]

- ① $\frac{V}{V - v \cos \theta} f$ ② $\frac{V}{V + v \cos \theta} f$ ③ $\frac{V - v \cos \theta}{V} f$
④ $\frac{V + v \cos \theta}{V} f$ ⑤ $\frac{V - v \cos \theta}{V + v \cos \theta} f$ ⑥ $\frac{V + v \cos \theta}{V - v \cos \theta} f$

次に、図2のように、観測者 P が静止し、音源 S が直線上を一定の速さ v [m/s] で運動している場合に、P が観測する S からの音の振動数 f_2 [Hz] を考える。時刻 $t = 0$ [s] に位置 S_1 で音源 S が発した音を、観測者 P は $t = \frac{PS_1}{V}$ [s] に観測し、時刻 $t = \frac{1}{f}$ [s] に位置 S_2 で S が発した音を、P は $t = \frac{1}{f} + \frac{PS_2}{V}$ [s] に観測する。図2のように $\angle PS_1S_2 = \theta$ とすると、この場合も、 $PS_2 \doteq PS_1 - S_1S_2 \cos \theta$ が成り立つものとする。

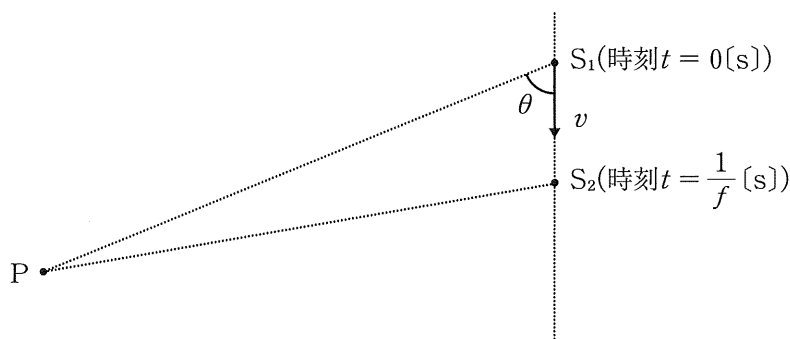


図2

問3 この場合、観測者 P が観測する音源 S からの音の振動数 f_2 [Hz] はいくらか。
最も適したものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $f_2 = \boxed{3}$ [Hz]

- ① $\frac{V}{V - v \cos \theta} f$ ② $\frac{V}{V + v \cos \theta} f$ ③ $\frac{V - v \cos \theta}{V} f$
④ $\frac{V + v \cos \theta}{V} f$ ⑤ $\frac{V - v \cos \theta}{V + v \cos \theta} f$ ⑥ $\frac{V + v \cos \theta}{V - v \cos \theta} f$

(下 書 き 用 紙)

2の問は次に続く。

問 4 直線上を一定の速さ v [m/s] で運動している物体に静止している振動数 f [Hz] の音源からの音を当て、物体で反射されてくる音の振動数を音源と同じ場所で観測すると、観測される音の振動数 f_3 [Hz] はどのように表されるか。最も適したものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $f_3 = \boxed{4}$ [Hz]

- ① $\frac{V}{V - v \cos \theta} f$ ② $\frac{V}{V + v \cos \theta} f$ ③ $\frac{V - v \cos \theta}{V} f$
 ④ $\frac{V + v \cos \theta}{V} f$ ⑤ $\frac{V - v \cos \theta}{V + v \cos \theta} f$ ⑥ $\frac{V + v \cos \theta}{V - v \cos \theta} f$

この結果を、生体の血管を流れる血液（血流）の速さ v を求めることに適用する。図 3 のように、音源と音波検出器を生体表面にはり付け、血管に対し、角度 60° で振動数 2.0 MHz の音波（超音波）を照射する。超音波は波長が短いのでビームとして伝わっていく。音波検出器は血液中の赤血球で反射された音波と音源の音波を同時に観測し、合成した音波をオシロスコープで波形としてみることができる。このとき、周期が 1.0 ms のうなりが検出された。生体組織内および血管内の音速は 1500 m/s とする。音速に対して、血流の速さは十分小さく、以下の計算では、 $|x|$ が 1 より十分小さいとき成り立つ近似式、

$$\frac{1+x}{1-x} \doteq 1+2x, \quad \frac{1-x}{1+x} \doteq 1-2x$$

を用いてよい。なお、生体表面および生体組織と血管の境界面における音波の屈折は無視できるものとする。

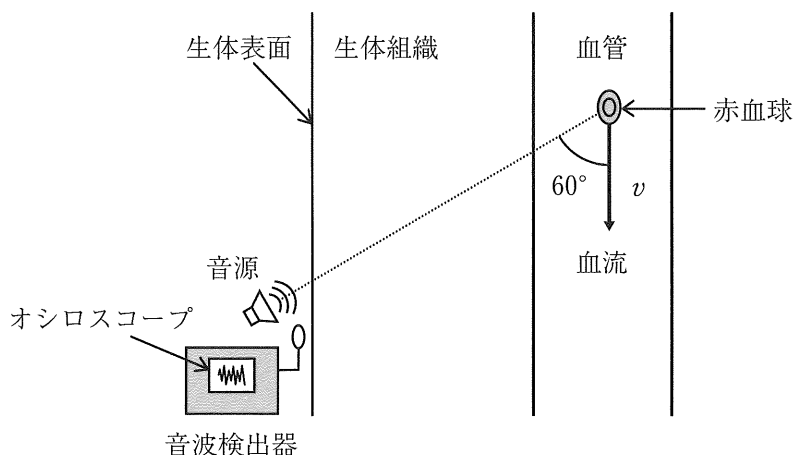


図 3

(下 書 き 用 紙)

□2の問は次に続く。

問5 この血流の速さ v [m/s] はいくらか。最も適したものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $v =$ 5 m/s

- ① 0.15 ② 0.75 ③ 1.5 ④ 2.1 ⑤ 3.0 ⑥ 4.5

(下 書 き 用 紙)

物理の試験問題は次に続く。

3 次の文章を読み、下の問1～4に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 4 〕

真空中に電荷を帯びていない2枚の金属板（極板） P_1 、 P_2 からなる平行板コンデンサー C がある。極板の面積は S でその厚さは無視できる。極板間隔が d のときの電気容量は C である。図1のように、コンデンサー C に内部抵抗が無視できる起電力 V の電池 E 、電気抵抗 R 、スイッチ S を接続した回路を作る。コンデンサー C の極板の端の電場の乱れはないものとし、抵抗 R 以外の電気抵抗はすべて無視できるものとする。また、電流が作る磁場も無視できるものとする。

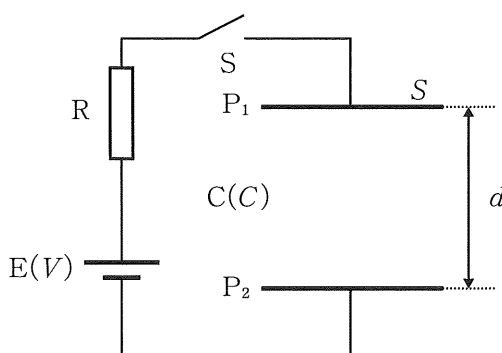


図1

スイッチ S を閉じると、回路に電流が流れ、コンデンサー C に電荷が蓄えられていく。十分に時間が経過すると、回路に電流が流れなくなり、コンデンサー C に蓄えられている電気量が CV となる。続いて、スイッチ S を開く。この状態を「初期状態」と呼ぶ。

問1 スイッチ S を閉じた瞬間から、コンデンサー C に蓄えられている電気量が $\frac{1}{3}CV$ になった瞬間までに抵抗 R で生じたジュール熱はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 1

- | | | |
|----------------------|----------------------|---------------------|
| ① $\frac{1}{18}CV^2$ | ② $\frac{1}{9}CV^2$ | ③ $\frac{1}{6}CV^2$ |
| ④ $\frac{2}{9}CV^2$ | ⑤ $\frac{5}{18}CV^2$ | ⑥ $\frac{1}{3}CV^2$ |

(下 書 き 用 紙)

□3の問は次に続く。

初期状態で図 2 のように、コンデンサー C の極板 P_1 、 P_2 の間に極板と同形で面積が等しく、厚さが一様で $\frac{d}{2}$ の導体 M を、外力を加えて P_1 から $\frac{d}{3}$ 、 P_2 から $\frac{d}{6}$ となる位置にゆっくりと挿入した。

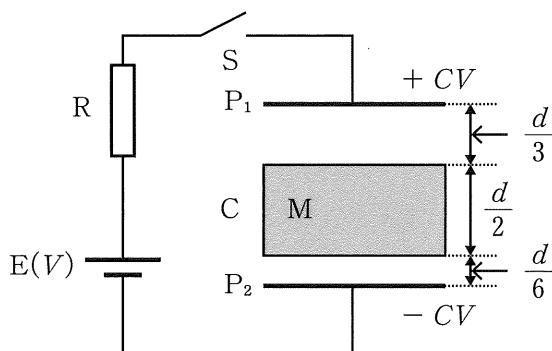


図 2

問 2 極板 P_1 と P_2 の間の電位差はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 2

- ① $\frac{1}{6}V$ ② $\frac{1}{3}V$ ③ $\frac{1}{2}V$ ④ $\frac{2}{3}V$ ⑤ $\frac{3}{2}V$ ⑥ $2V$

問 3 導体 M を極板間に入れる際に、外力がした仕事はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 3

- ① $-\frac{1}{4}CV^2$ ② $-\frac{1}{3}CV^2$ ③ $-\frac{1}{2}CV^2$
 ④ $\frac{1}{4}CV^2$ ⑤ $\frac{1}{3}CV^2$ ⑥ $\frac{1}{2}CV^2$

(下 書 き 用 紙)

□3の問は次に続く。

極板間から導体 M を抜き、初期状態に戻す。今度は、スイッチ S を閉じてから、再び導体 M を、外力を加えて極板 P_1 から $\frac{d}{3}$ 、極板 P_2 から $\frac{d}{6}$ となる位置にゆっくりと挿入した。極板 P_1 、 P_2 と導体 M の位置関係は図 2 と同様である。このとき、抵抗で生じるジュール熱は無視できるものとする。

問 4 導体 M を極板間に入れる際に、外力がした仕事はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 4

① $-\frac{1}{4}CV^2$

② $-\frac{1}{3}CV^2$

③ $-\frac{1}{2}CV^2$

④ $\frac{1}{4}CV^2$

⑤ $\frac{1}{3}CV^2$

⑥ $\frac{1}{2}CV^2$

(下 書 き 用 紙)

物理の試験問題は次に続く。

4 次の文章を読み、下の問 1 ～ 4 に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 4〕

図 1 のように、巨大な水槽内の水の中に、装置 P からのロープで支えられた円筒形のシリンダーが開口部を下にして沈めてあり、内部には一定量の理想気体が封入されている。ロープは軽く伸び縮みせず、シリンダーは熱を良く通し、内部の気体の温度は常に水温に等しく保たれる。装置 P を作動させることによってシリンダーの位置を変えることができ、また P はロープにかかる張力の大きさ F も測定できる。水槽内の水温は深さによらず一定で、密度も一定とする。シリンダーの底面積を S 、水槽内の水面からシリンダー内の水面の位置までの距離を h_1 、シリンダーの底の位置までの距離を h_2 とする。ただし、シリンダー底面は常に水平に保たれ、シリンダー底面の厚さおよび内部の理想気体の重さは無視できるものとする。大気圧を p_0 とすると、水深（水槽内の水面からの深さ） h_0 での水圧は $2p_0$ であった。

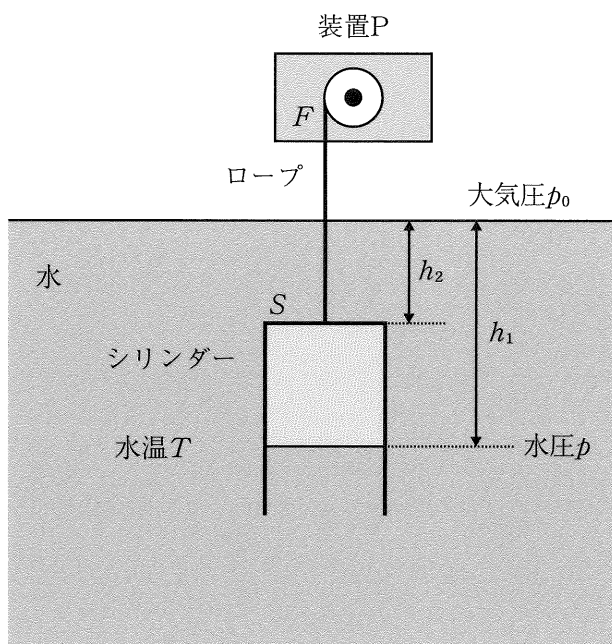


図 1

(下 書 き 用 紙)

4 の問は次に続く。

水温が T のとき, $h_1 = \frac{2}{5}h_0$, $h_2 = \frac{1}{5}h_0$ で $F = \frac{4}{5}p_0S$ であった。

問1 このときの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①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $p_1 = \boxed{1}$

- ① $\frac{6}{5}p_0$ ② $\frac{13}{10}p_0$ ③ $\frac{7}{5}p_0$ ④ $\frac{3}{2}p_0$ ⑤ $\frac{8}{5}p_0$ ⑥ $\frac{9}{5}p_0$

問2 このシリンダーの重さ W はいくらか。正しいものを, 次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $W = \boxed{2} \times p_0S$

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

装置 P を作動させて, シリンダーの位置をゆっくりと変化させ, $F = \frac{9}{10}p_0S$ を示す位置に移動させた。水温は T で変化はない。

問3 このとき, 水槽内の水面からシリンダー底面までの距離 h_2 はいくらか。正しいものを, 次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $h_2 = \boxed{3}$

- ① $\frac{6}{5}h_0$ ② $\frac{3}{2}h_0$ ③ $\frac{17}{10}h_0$ ④ $\frac{9}{5}h_0$ ⑤ $2h_0$ ⑥ $\frac{21}{10}h_0$

(下 書 き 用 紙)

4の問は次に続く。

再び元の状態 $\left(h_1 = \frac{2}{5}h_0, h_2 = \frac{1}{5}h_0 \text{ の位置}\right)$ に戻す。ここで、水槽内の水温をゆっくりとわずか ΔT だけ変化させると同時に、装置 P を作動させて、シリンダーの位置が変わらないようにした $\left(h_2 = \frac{1}{5}h_0 \text{ のまま保たれている}\right)$ ところ、シリンダー内の水面の位置は Δh 変化した $\left(h_1 = \frac{2}{5}h_0 + \Delta h\right)$ 。 Δh は h_0 に比べて十分に小さく、 $\left(\frac{\Delta h}{h_0}\right)^2 \doteq 0$ としてよい。

問4 このとき、 $\frac{\Delta h}{h_0}$ は $\frac{\Delta T}{T}$ の何倍となるか。最も適したものを、次の①～⑥のうち

$$\text{ちから一つ選びなさい。} \frac{\Delta h}{h_0} = \boxed{4} \times \frac{\Delta T}{T}$$

- ① $\frac{1}{20}$ ② $\frac{3}{40}$ ③ $\frac{1}{10}$ ④ $\frac{1}{8}$ ⑤ $\frac{3}{20}$ ⑥ $\frac{7}{40}$

(下 書 き 用 紙)

物理の試験問題は次に続く。

5 次の文章を読み、下の問1～5に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 5 〕

図1のように、水平でなめらかな上面をもつL字型の台Qを、なめらかな水平面上に置いた。台Qに小球Pをのせ、Qの左端の壁とPをばね定数 k 、自然長 l の軽いばねで連結した。小球Pと台Qの質量はそれぞれ、 m 、 $2m$ である。小球Pと台Qにそれぞれ水平方向に外力を加え、ばねを $\frac{l}{3}$ だけ縮めて、全体を静止させた。水平面上ではばねの左端（壁との結合点）の真下の位置を原点 O_1 とし右向きを正とした x 軸をとり、台Q上で自然長の位置を原点 O_2 とし右向きを正とした y 軸をとる。台Qの運動は x 軸方向にのみ生じ、台上の小球Pの運動は y 軸方向にのみ生じる。運動中、小球Pが台Qから落ちることはなく、Qが水平面から浮き上がることもない。また、小球Pの大きさは無視できるものとし、運動はすべてPとばねを含む同一鉛直面内で生じるものとする。

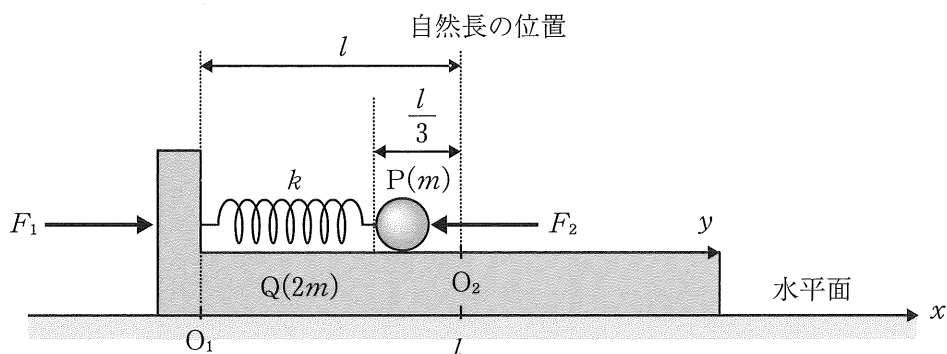


図1

問1 図1で、台Qを押す力の大きさを F_1 、小球Pを押す力の大きさを F_2 とする（図に描かれている長さは正確ではない）。 F_1 と F_2 の関係として正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 1

① $F_1 = \frac{1}{2}F_2$

② $F_1 = F_2$

③ $F_1 = 2F_2$

④ $F_1 = \frac{1}{2}F_2 + \frac{1}{3}kl$

⑤ $F_1 = F_2 + \frac{1}{3}kl$

⑥ $F_1 = 2F_2 + \frac{1}{3}kl$

(下 書 き 用 紙)

5の問は次に続く。

台 Q と小球 P を押す力の大きさ F_1 と F_2 を同時に 0 にすると, P, Q は振動を始めた。

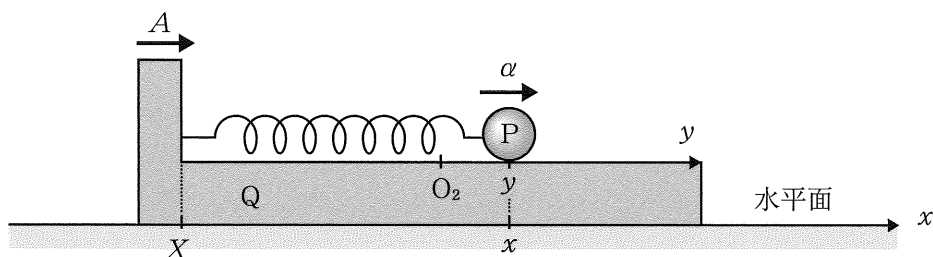


図 2

問2 図2のように, 振動中, 小球 P の位置が y 軸上で y にあるとき, 水平面に対する台 Q の加速度 (x 軸上での加速度) を A , Q に対する P の加速度 (y 軸上での加速度) を α とする。このとき, 台 Q の運動方程式と小球 P の運動方程式の組合せとして正しいものを, 次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 2

① $\begin{cases} \text{Q} : 2mA = -ky \\ \text{P} : m\alpha = -ky + mA \end{cases}$

② $\begin{cases} \text{Q} : 2mA = -ky \\ \text{P} : m\alpha = -ky - mA \end{cases}$

③ $\begin{cases} \text{Q} : 2mA = ky \\ \text{P} : m\alpha = -ky + mA \end{cases}$

④ $\begin{cases} \text{Q} : 2mA = ky \\ \text{P} : m\alpha = -ky - mA \end{cases}$

⑤ $\begin{cases} \text{Q} : 2mA = -ky \\ \text{P} : m\alpha = ky + mA \end{cases}$

⑥ $\begin{cases} \text{Q} : 2mA = -ky \\ \text{P} : m\alpha = ky - mA \end{cases}$

(下 書 き 用 紙)

5の問は次に続く。

問3 小球 P, 台 Q の振動の周期 T はいくらか。正しいものを, 次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $T = \boxed{3}$

① $2\pi\sqrt{\frac{m}{3k}}$

② $2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$

③ $2\pi\sqrt{\frac{2m}{3k}}$

④ $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

⑤ $2\pi\sqrt{\frac{3m}{2k}}$

⑥ $2\pi\sqrt{\frac{3m}{k}}$

問4 水平面に対する (x 軸上でみた) 小球 P の速さの最大値 $v_{\max}$ はいくらか。正しいものを, 次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $v_{\max} = \boxed{4}$

① $\frac{l}{3}\sqrt{\frac{k}{3m}}$

② $\frac{l}{3}\sqrt{\frac{2k}{3m}}$

③ $\frac{l}{3}\sqrt{\frac{k}{2m}}$

④ $\frac{l}{3}\sqrt{\frac{3k}{2m}}$

⑤ $\frac{l}{3}\sqrt{\frac{k}{m}}$

⑥ $\frac{l}{3}\sqrt{\frac{2k}{m}}$

図2の x , X は, 小球 P, 台 Q が振動を行っている間の水平面上に設定された x 軸での P, Q の位置である。

問5 小球 P が原点 O_1 から最も離れたときの P の座標 x_1 はいくらか。正しいものを, 次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $x_1 = \boxed{5}$

① $\frac{8}{9}l$

② l

③ $\frac{10}{9}l$

④ $\frac{4}{3}l$

⑤ $\frac{14}{9}l$

⑥ $\frac{5}{3}l$

(下 書 き 用 紙)

令和6年度 入学者選抜試験問題

一般選抜 令和6年1月22日

理 科 (120分)

I 注意事項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 この問題冊子は96ページあります。各科目の出題ページは下記のとおりです。
物理 4～30ページ
化学 32～55ページ
生物 56～90ページ
- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気づいた場合は、手を挙げて監督員に知らせなさい。
- 4 解答用紙は2枚配付されます。解答用紙には解答欄以外に次の記入欄があるので、その説明と解答用紙の「記入上の注意」を読み、それぞれ正しく記入し、マークしなさい。
 - ① 受験番号欄
受験番号を記入し、さらにその下のマーク欄にマークしなさい。正しくマークされていない場合は、採点できないことがあります。
 - ② 氏名欄
氏名・フリガナを記入しなさい。
 - ③ 解答科目欄
解答する科目を一つ選び、科目の下の○にマークしなさい。マークされていない場合または複数の科目にマークされている場合は、0点となります。
- 5 試験開始後30分間および試験終了前5分間は退出できません。
- 6 この表紙の受験番号欄に受験番号を記入しなさい。この問題冊子は試験終了後回収します。

II 解答上の注意

- 1 解答はすべて解答用紙の所定の欄へのマークによって行います。たとえば、大問①の③と表示のある問いに対して②と解答する場合は、次の〈例〉のように解答番号3の解答欄の②をマークします。

〈例〉

1	解 答 欄									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
3	①	●	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩

受 験 番 号				

物 理

1 次の問1～4に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 4 〕

問1 次の文章中の空欄 ア ～ ウ に入る式または数値の組合せとして正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選びなさい。 1

図1のように、なめらかな水平面上で、左向きに一定の速さ $2v$ で運動する質量 m の物体 A と、右向きに一定の速さ v で運動する質量 $2m$ の物体 B が弾性衝突した。衝突した点を原点 O とし、右向きを正として x 軸を、 x 軸に垂直に y 軸をとる。物体 A, B の大きさは無視できるものとする。

衝突後、物体 A は x 軸正の向きと角度 θ をなす向きに速さ v_A で、物体 B は x 軸正の向きと角度 ϕ をなす向きに速さ v_B でそれぞれ運動したとする。弾性衝突なので力学的エネルギーが保存する。したがって、運動量保存則と力学的エネルギー保存則より、 $v_A = \text{ア}$ ， $v_B = \text{イ}$ と定まる。また、この衝突では、 $\theta + \phi = \text{ウ}$ rad となる。

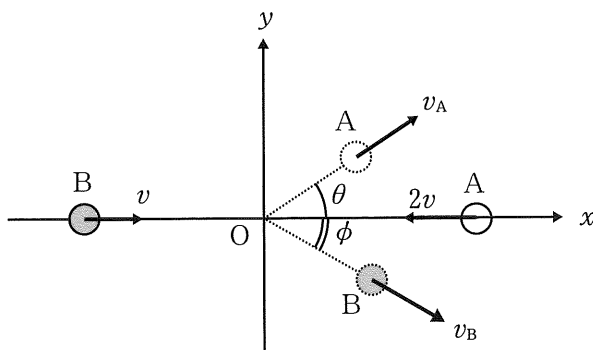


図1

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	v	$2v$	v	$2v$	v	$2v$	v	$2v$
イ	$2v$	v	$2v$	v	$2v$	v	$2v$	v
ウ	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2}{3}\pi$	$\frac{2}{3}\pi$	π	π

(下 書 き 用 紙)

□1の問は次に続く。

問2 図2のように、60 W の加熱器を備えた容器内に氷 100 g を入れたところ、氷と容器全体の温度は一様に -10°C になった。ここへ 70°C の水 100 g を加えたところ、全体の温度が 0°C になり、氷が 20 g とけ残った。そこで、加熱器のスイッチを入れて加熱したところ、加熱を始めてから 111 秒後に氷が完全にとけた。ただし、熱は水、氷、容器、加熱器の間だけで移動し、加熱器の熱容量は無視できるものとする。氷の比熱を $2.10 \text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ 、水の比熱を $4.20 \text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ とする。この容器の熱容量 $C [\text{J}/\text{K}]$ はいくらか。正しいものを、下の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $C = \boxed{2} \text{ J}/\text{K}$

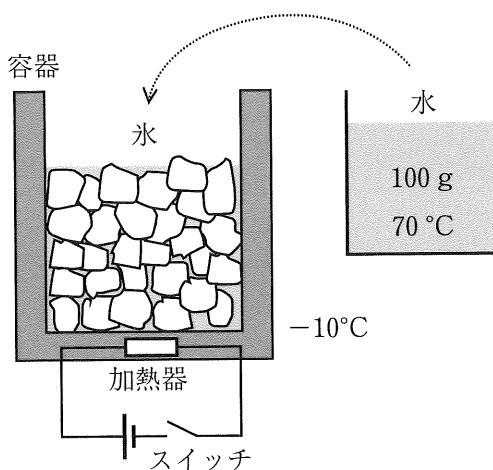


図2

- ① 35 ② 42 ③ 54 ④ 66 ⑤ 78 ⑥ 84

(下 書 き 用 紙)

1の問は次に続く。

問3 次の文章中の空欄 ア , イ に入る数値の組合せとして正しいものを、下の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 3

図3のように、おんさPの端Aに長さを変えることができる弦を取り付け、点Aと同じ高さの点Bに設置した定滑車を介して弦の一方の端におもりを取り付ける。おもりの質量を m 、AB間の長さを l にして、おんさPを振動させると、AB間に腹が3つの定常波が生じて弦が振動した。ただし、弦は伸び縮みせず、A、Bは固定端とみなしてよいものとする。また、弦を伝わる波の速さは、弦の張力の大きさの平方根に比例し、弦に作用する重力は無視できるものとする。

おもりの質量は変えないで、AB間の長さを $\frac{2}{3}l$ にして、おんさPを振動させる。この場合は、AB間に腹が ア つの定常波が生じて弦が振動する。

次に、AB間の長さを l に戻して、おもりの質量を変えて、おんさPを振動させる。この場合、おもりの質量を イ $\times m$ に変えると、腹が4つの定常波が生じて弦が振動する。

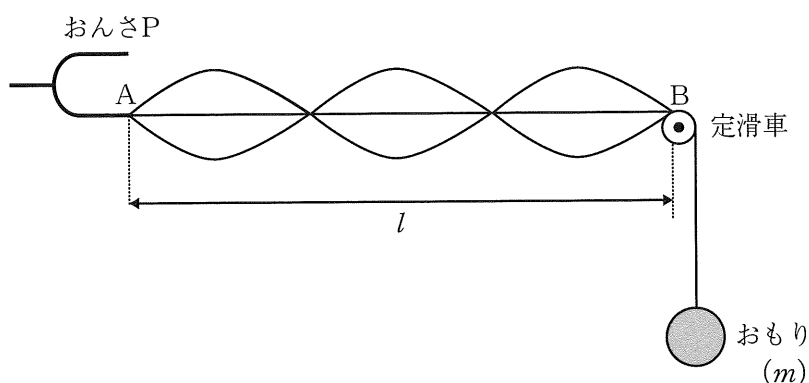


図3

	①	②	③	④	⑤	⑥
ア	2	2	2	4	4	4
イ	$\frac{9}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{4}{3}$

(下 書 き 用 紙)

1 の問は次に続く。

問4 次の文章中の空欄 ア , イ に入る数値の組合せとして正しいものを, 下の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 4

図4のように, 内部抵抗の無視できる起電力 V の電池 E , 電気抵抗 R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 を接続した回路がある。電気抵抗 R_1, R_2, R_3, R_4 の抵抗値は R , 電気抵抗 R_5 の抵抗値は $3R$ である。回路内においては電気抵抗以外の抵抗はすべて無視できるものとする。

この回路では, 電気抵抗 R_3 を流れる電流の大きさは ア $\times \frac{V}{R}$ であり, この回路の AB 間の抵抗値は イ $\times R$ となる。

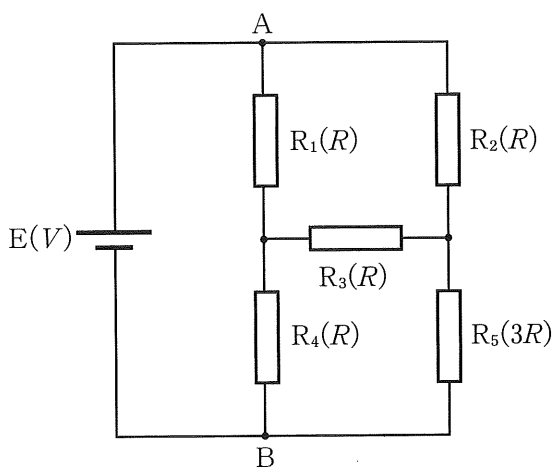


図4

	①	②	③	④	⑤	⑥
ア	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
イ	$\frac{7}{9}$	$\frac{9}{7}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{9}{7}$	$\frac{3}{2}$

(下 書 き 用 紙)

物理の試験問題は次に続く。

2 次の文章を読み、下の問1～5に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 5〕

図1のように、地球の中心 O を中心とする赤道すれすれの円軌道 S_1 を、速さ v_1 で周回する質量 m の人工衛星 P がある。人工衛星 P を点 A で進行方向に瞬間的に速さ kv_1 ($k > 1$) に加速し、地球の中心 O を一つの焦点とし、点 A を近地点とする半長軸 a の楕円軌道 S_2 に乗せた。地球は半径 R の一様な密度の完全球体とする。万有引力による位置エネルギーは無限遠点を基準とし、地表における重力加速度の大きさを g とする。また、大気の影響はないものとする。

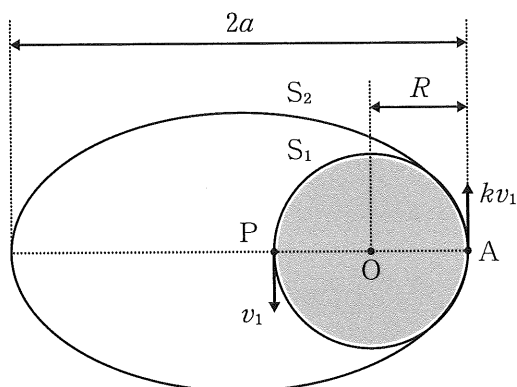


図1

問1 次の文章中の空欄 ア , イ に入る式の組合せとして正しいものを、下の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 1

人工衛星 P が円軌道 S_1 を周回する速さ v_1 は第一宇宙速度と呼ばれる。万有引力を向心力とする等速円運動の運動方程式より、 $v_1 =$ ア と表され、約 7.9 km/s である。また、そのときの力学的エネルギー E_1 は、 $E_1 =$ イ と表される。

	①	②	③	④	⑤	⑥
ア	$\sqrt{gR}$	$\sqrt{gR}$	$\sqrt{gR}$	$\sqrt{2gR}$	$\sqrt{2gR}$	$\sqrt{2gR}$
イ	$-mgR$	$-\frac{1}{2}mgR$	$-\frac{1}{4}mgR$	$-mgR$	$-\frac{1}{2}mgR$	$-\frac{1}{4}mgR$

(下 書 き 用 紙)

2の問は次に続く。

問2 人工衛星 P が楕円軌道 S_2 を周回するときの力学的エネルギーを E_2 とする。

E_2 は E_1 の何倍となるか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。

い。 $\frac{E_2}{E_1} = \boxed{2}$

- ① $(1-k)^2$ ② $(2-k)^2$ ③ $(k+1)^2$
④ $2-k^2$ ⑤ k^2-1 ⑥ k^2+1

一般に地球を周回する人工衛星の運動は、次の性質をもつ。

- (1) 人工衛星の力学的エネルギー E は、楕円軌道の半長軸 a に反比例する。
(2) 人工衛星の運動の周期 T の 2 乗は、半長軸 a の 3 乗に比例する。
(3) 人工衛星の面積速度 s は一定で、楕円軌道の半短軸を b とすると、楕円軌

道の周期 T は、 $T = \frac{\pi ab}{s}$ と表される。

これらの性質を用いて以下の問いに答えなさい。

問3 円軌道 S_1 の周期を T_1 、楕円軌道 S_2 の周期を T_2 とする。 T_2 と T_1 の関係はどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。

$T_2 = \boxed{3} \times T_1$

- ① $\frac{ab}{kR^2}$ ② $\frac{kab}{R^2}$ ③ $\frac{R^2}{kab}$ ④ $\frac{kR^2}{ab}$ ⑤ $\left(\frac{ab}{R^2}\right)^k$ ⑥ $\left(\frac{R^2}{ab}\right)^k$

問4 $a = 2R$ の場合、 k の値はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $k = \boxed{4}$

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

(下 書 き 用 紙)

□2□の問は次に続く。

問5 $a = 2R$ の場合, 楕円軌道 S_2 の半短軸 b の値はいくらか。正しいものを, 次の

①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $b =$ 5

① $\sqrt{2} R$

② $(\sqrt{2} + 1)R$

③ $2\sqrt{2} R$

④ $\sqrt{3} R$

⑤ $(\sqrt{3} + 1)R$

⑥ $2\sqrt{3} R$

(下 書 き 用 紙)

物理の試験問題は次に続く。

3 次の文章を読み、下の問 1 ～ 4 に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 4 〕

図 1 のように、口の字型の鉄心に巻き数 N_1 のコイル 1 と、巻き数 N_2 のコイル 2 を巻き付けた変圧器のはたらきをする装置がある。コイル 1 には、抵抗値 R の電気抵抗 R_1 、電圧を変えることができる直流の可変電源 E （以下では電源 E と呼ぶ）、スイッチ S_1 が接続されている。一方、コイル 2 には、抵抗値 $2R$ の電気抵抗 R_2 、スイッチ S_2 が接続されている。最初、スイッチ S_1 、 S_2 は開いている。点 b に対する点 a の電位を V_1 、点 d に対する点 c の電位を V_2 とする。また、電気抵抗 R_1 を流れる電流を I_1 、電気抵抗 R_2 を流れる電流を I_2 、鉄心内に生じる磁束を Φ とし、それぞれ図 1 の矢印の向きを正とする。なお、磁束は鉄心内にのみ生じ、外部に漏れることはない。回路において、電気抵抗 R_1 、 R_2 以外の抵抗はすべて無視でき、変圧器の内部での電力の損失も無視できるものとする。

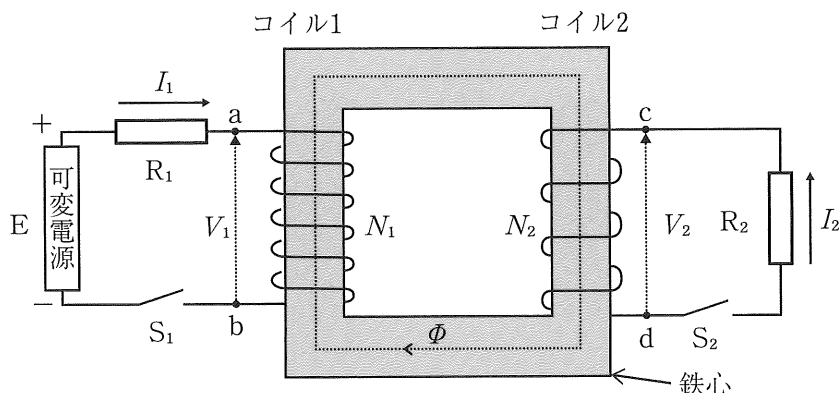


図 1

電源 E の電圧を 0 にし、スイッチ S_1 を閉じる。時刻 $t = 0$ から時刻 t_1 の間、電源 E の電圧を 0 から一定の割合で増加させていったところ、 $V_1 = E_1$ （一定）となった。

問 1 時刻 t_1 における鉄心内の磁束 Φ_1 はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $\Phi_1 =$ 1

① $-\frac{E_1 t_1}{N_1}$

② $-E_1 t_1$

③ $-N_1 E_1 t_1$

④ $\frac{E_1 t_1}{N_1}$

⑤ $E_1 t_1$

⑥ $N_1 E_1 t_1$

(下 書 き 用 紙)

3の問は次に続く。

問2 コイル1の自己インダクタンスを L_1 とする。時刻 t_1 における電流 I_1 はいくら
 らか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $I_1 = \boxed{2}$

① $\frac{E_1}{R}$

② $\frac{E_1 t_1}{L_1}$

③ $\frac{E_1 t_1}{N_1 L_1}$

④ $\frac{E_1}{L_1}$

⑤ $\frac{N_1^2 E_1 t_1}{L_1}$

⑥ $\frac{N_1 E_1 t_1}{L_1}$

時刻 t_1 でスイッチ S_2 も閉じる。時刻 t_1 から時刻 $2t_1$ までは、鉄心内の磁束を Φ_1 の
 まま一定に保ち、時刻 $2t_1$ から時刻 $3t_1$ までは、 $V_1 = 2E_1$ (一定) となるように電源 E
 の電圧を増加させた。

問3 時刻 $\frac{5}{2}t_1$ における電流 I_2 はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから
 一つ選びなさい。 $I_2 = \boxed{3}$

① $-\frac{N_2 E_1}{N_1 R}$

② $-\frac{N_1 E_1}{N_2 R}$

③ $-\frac{N_1^2 E_1}{N_2^2 R}$

④ $\frac{N_2 E_1}{N_1 R}$

⑤ $\frac{N_1 E_1}{N_2 R}$

⑥ $\frac{N_1^2 E_1}{N_2^2 R}$

問4 時刻 $2t_1$ から時刻 $3t_1$ における電流 I_1 に対する電流 I_2 の値はいくらか。正しい
 ものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $\frac{I_2}{I_1} = \boxed{4}$

① $-\frac{N_2}{N_1}$

② $-\frac{N_1}{N_2}$

③ $-\frac{N_2}{2N_1}$

④ $\frac{N_2}{N_1}$

⑤ $\frac{N_1}{N_2}$

⑥ $\frac{N_2}{2N_1}$

(下 書 き 用 紙)

物理の試験問題は次に続く。

4 次の文章を読み、下の問1～4に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 4 〕

気体の屈折率を測定するために、図1のような装置を組み立てた。波長が λ 〔m〕のレーザー光を、厚さが均一なガラス板の点Aに入射角 45° で入射させる。ガラス板の点A側の面には反射率が50%の反射膜が、その裏側の面には反射防止膜がコーティングされており、ガラス板に入射したレーザー光の50%は反射され、50%は透過する。点Aで反射したレーザー光は鏡 M_1 の点Bに垂直に入射して戻り、ガラス板で50%が透過して光検出器に入射する。一方、ガラス板を透過し鏡 M_2 へ向かうレーザー光は、気体を封入・排気できるセル内を通過して M_2 の点Cに垂直に入射して戻り、ガラス板で50%反射して光検出器に入る。光検出器は、この2つのレーザー光が重なりあうことによって生じる光の干渉効果を、出力電力に変換して測定し記録する。セル内のレーザー光の通過距離は l 〔m〕で、セルの通過窓表面には反射防止膜がコーティングされていて、通過窓表面での光の損失はない。セルは断熱材でできていて、その容積（封入された気体の体積）は V 〔 m^3 〕である。また、セルには気体の温度をコントロールするためのヒートポンプが取り付けられている。装置全体は温度一定の空气中に置かれており、光路 $A \rightarrow B \rightarrow A$ を光路Ⅰ、光路 $A \rightarrow C \rightarrow A$ を光路Ⅱと呼ぶ。

最初、セル内を真空にし、鏡 M_1 と鏡 M_2 の位置を調整して、光検出器からの出力が最大になるようにした。これは、光路Ⅰの光と光路Ⅱの光が干渉して強めあった状態である。なお、ガラス板での光の屈折は無視できるものとする。

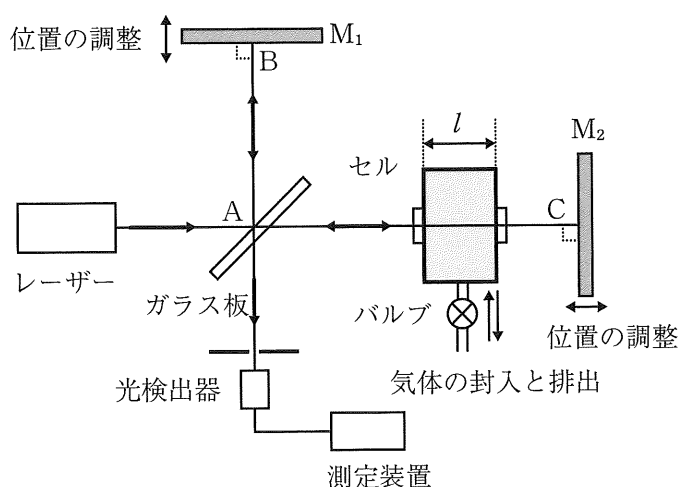


図1

(下 書 き 用 紙)

4の問は次に続く。

次に，セル内の温度を T [K] に保ったまま，窒素ガスを少しずつゆっくりと入れていく。光検出器でセル内の気体の圧力と出力電力の関係を測定すると，図 2 のように，圧力の増加に伴い出力電力が一旦減少して再び最大になり，その後，一定の圧力間隔 Δp [Pa] で増減を繰り返した。窒素ガスを入れ始めてから m 番目 ($m = 1, 2, 3, \dots$) の出力電力最大を与える圧力を p_m [Pa] とし，このときの窒素ガスの屈折率を n_m とする。

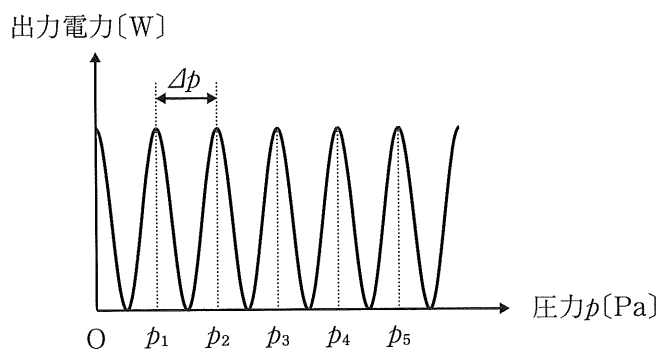


図 2

問 1 窒素ガスの屈折率が n_m のとき，光路Ⅱの光学距離（光路長）はガスを入れる前に比べていくら増加したか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 1

① $(n_m - 1)l$

② $2(n_m - 1)l$

③ $n_m l$

④ $2n_m l$

⑤ $\left(1 - \frac{1}{n_m}\right)l$

⑥ $2\left(1 - \frac{1}{n_m}\right)l$

(下 書 き 用 紙)

4の問は次に続く。

問2 干渉条件を用いると、 n_m を m , λ , l を用いて表すことができる。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $n_m =$ 2

① $1 + \frac{m\lambda}{2l}$

② $1 + \frac{m\lambda}{l}$

③ $\frac{m\lambda}{2l}$

④ $\frac{m\lambda}{l}$

⑤ $\left(1 - \frac{m\lambda}{l}\right)^{-1}$

⑥ $\left(1 - \frac{m\lambda}{2l}\right)^{-1}$

圧力が p_m [Pa] で光検出器の出力電力が最大となった瞬間にバルブを閉めて、窒素ガスの封入を止める。ここで、セル内の気体の温度を上昇させたが、光検出器の出力電力に変化はなかった。このような実験から、一般に、気体の屈折率 n は、気体の分子数密度 N [個/m³] に依存し、 $n - 1 = \alpha N$ の関係があることが知られている。ここで、 α は比例定数である。

問3 ボルツマン定数を k [J/K] とする。 $p_m = m\Delta p$ と表すことができる点に注意すると、 α を Δp , λ , l , k , T を用いて表すことができる。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $\alpha =$ 3

① $\frac{l\Delta p}{2k\lambda T}$

② $\frac{l\Delta p}{k\lambda T}$

③ $\frac{2l\Delta p}{k\lambda T}$

④ $\frac{\lambda k T}{2l\Delta p}$

⑤ $\frac{\lambda k T}{l\Delta p}$

⑥ $\frac{2\lambda k T}{l\Delta p}$

セル内の温度を T [K] に保ったまま、窒素ガスを酸素ガスに変えて同じ実験を行った。その結果、出力電力が最大となる圧力間隔 Δp が窒素ガスより約 8.4% 大きかった。

問4 セル内の圧力が同じ場合、真空との屈折率の差 $n - 1$ は窒素ガスに比べて何倍となるか。最も適したものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 4

① 0.54

② 0.92

③ 1.08

④ 1.28

⑤ 1.84

⑥ 2.08

(下 書 き 用 紙)

物理の試験問題は次に続く。

5 次の文章を読み、下の問1～4に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 4 〕

原子番号を Z 、電気素量を e ($e > 0$) とする。図1のように、電気量 $+Ze$ の原子核の周りを1個の電子が等速円運動している原子（水素様原子）は、ボーアの水素原子模型と同様に考えることができる。電子の質量を m 、クーロンの法則の比例定数を k 、プランク定数を h とし、静電気力による位置エネルギーは無限遠点を基準とする。

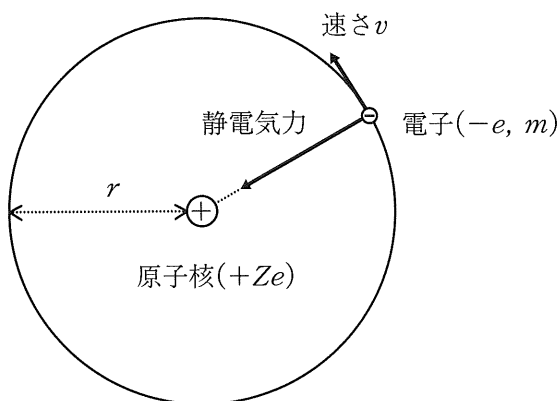


図1

問1 半径 r で原子核の周りを回る電子の力学的エネルギー（運動エネルギーと位置エネルギーの和） E はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい $E =$ 1

① $-\frac{Zke^2}{4r}$

② $-\frac{Zke^2}{2r}$

③ $-\frac{Zke^2}{r}$

④ $\frac{Zke^2}{4r}$

⑤ $\frac{Zke^2}{2r}$

⑥ $\frac{Zke^2}{r}$

(下 書 き 用 紙)

5の問は次に続く。

問2 半径 r の円軌道を回る電子の速さを v とする。電子波が円軌道上で定常波を作るための条件（量子条件）は、正の整数（量子数） n ($n = 1, 2, \dots$) を用いてどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。

2

① $mvr = \frac{nh}{2}$

② $mvr = nh$

③ $mvr = 2nh$

④ $mvr = \frac{nh}{2\pi}$

⑤ $mvr = \frac{nh}{\pi}$

⑥ $mvr = \frac{2nh}{\pi}$

問3 水素原子 ($Z = 1$) の場合の基底状態 ($n = 1$) の軌道半径（ボーア半径）を a_0 とする。原子番号 Z の原子の場合の量子数 n に対応する軌道半径を $r_n(Z)$ とする。 $r_n(Z)$ は、 a_0 , n , Z を用いてどのように表されるか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $r_n(Z) =$ 3

① $\frac{a_0 n}{Z}$

② $\frac{a_0 n^2}{Z}$

③ $\frac{a_0 n}{Z^2}$

④ $Za_0 n$

⑤ $Za_0 n^2$

⑥ $Z^2 a_0 n$

問4 水素原子の場合に、量子数 l のエネルギー準位から量子数 n ($n < l$) のエネルギー準位に電子が遷移するとき放出する光の波長を λ_H とする。また、原子番号 Z の原子の場合に、同じ量子数 l のエネルギー準位から量子数 n のエネルギー準位に電子が遷移するとき放出する光の波長を λ_Z とする。 λ_Z と λ_H の差 $\Delta\lambda = |\lambda_Z - \lambda_H|$ はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $\Delta\lambda =$ 4

① $(Z - 1)\lambda_H$

② $(Z^2 - 1)\lambda_H$

③ $\frac{\lambda_H}{Z}$

④ $\frac{\lambda_H}{Z^2}$

⑤ $\left(1 - \frac{1}{Z}\right)\lambda_H$

⑥ $\left(1 - \frac{1}{Z^2}\right)\lambda_H$

(下 書 き 用 紙)

令和6年度 入学者選抜試験問題

一般選抜 令和6年2月27日

理 科 (120分)

I 注意事項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 この問題冊子は100ページあります。各科目の出題ページは下記のとおりです。
物理 4～36ページ
化学 38～60ページ
生物 62～94ページ
- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気づいた場合は、手を挙げて監督員に知らせなさい。
- 4 解答用紙は2枚配付されます。解答用紙には解答欄以外に次の記入欄があるので、その説明と解答用紙の「記入上の注意」を読み、それぞれ正しく記入し、マークしなさい。
 - ① 受験番号欄
受験番号を記入し、さらにその下のマーク欄にマークしなさい。正しくマークされていない場合は、採点できないことがあります。
 - ② 氏名欄
氏名・フリガナを記入しなさい。
 - ③ 解答科目欄
解答する科目を一つ選び、科目の下の○にマークしなさい。マークされていない場合または複数の科目にマークされている場合は、0点となります。
- 5 試験開始後30分間および試験終了前5分間は退出できません。
- 6 この表紙の受験番号欄に受験番号を記入しなさい。この問題冊子は試験終了後回収します。

II 解答上の注意

- 1 解答はすべて解答用紙の所定の欄へのマークによって行います。たとえば、大問①の③と表示のある問いに対して②と解答する場合は、次の〈例〉のように解答番号3の解答欄の②をマークします。

〈例〉

1	解 答 欄									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
3	①	●	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩

受 験 番 号				

(問題は次ページから始まる)

物 理

1 次の問1～4に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 4 〕

問1 次の文章中の空欄 ア , イ に入る式または数値の組合せとして正しいものを, 下の①～⑧のうちから一つ選びなさい。 1

図1のように, 点Oを中心とする半径 r の円筒の一部であるなめらかな円筒面が, 点Aでなめらかな水平面になめらかに接続されている。点B, Cは円筒面内の点で, 点A, B, C, Oは同一鉛直面内にあり, $\angle AOB = 90^\circ$, $\angle AOC = 120^\circ$ である。また, 水平面上で点Aの左側には, 一端を水平面に固定したばねが取り付けられている。水平面上の質量 m の小球Pをこのばねに接触させ, ばねを押し縮めてから静かに離してPを打ち出す。小球Pは, ばねの自然長の位置Dでばねから離れ, 水平面上を運動して, 点Aより, 円弧ABCに沿って円筒面上を運動する。小球Pの運動は点Oを含む同一の鉛直面内で生じるものとする。また, 小球Pの大きさは無視でき, 空気の抵抗も考えない。重力加速度の大きさを g とする。

最初, 自然長より d だけ押し縮めて静かに離れたところ, 小球Pは点Bの位置まで上昇した。点Aを通過した直後に, 小球Pが円筒面から受ける垂直抗力の大きさは ア である。ここで, ばねを イ $\times d$ 以上縮めて小球Pを打ち出すと, Pは円筒面から離れずに点Cに達して, 点Cより空中に飛び出すようになる。

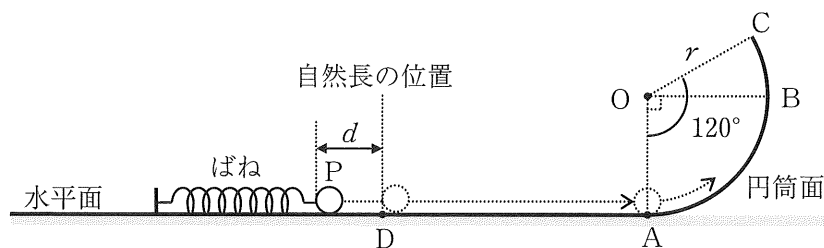


図1

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	mg	mg	$2mg$	$2mg$	$3mg$	$3mg$	$4mg$	$4mg$
イ	$\frac{\sqrt{7}}{2}$	$\frac{\sqrt{10}}{2}$	$\frac{\sqrt{7}}{2}$	$\frac{\sqrt{10}}{2}$	$\frac{\sqrt{7}}{2}$	$\frac{\sqrt{10}}{2}$	$\frac{\sqrt{7}}{2}$	$\frac{\sqrt{10}}{2}$

(下 書 き 用 紙)

1 の問は次に続く。

問2 次の文章中の空欄 ～ に入る数値の組合せとして正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選びなさい。

焦点距離 10 cm の凹面鏡 A と同じ焦点距離 10 cm の凸面鏡 B がある。最初、図 2 のように、凹面鏡 A の中心 O を通る光軸上に、高さ 6 cm の物体 PQ を、点 O から 5 cm 離して置き、鏡の前方から鏡に映った像を見ると、点 O から cm 鏡の後方に大きさ cm の像が見える。凹面鏡 A を凸面鏡 B に置き換え、鏡の中心が図 1 の点 O の位置と一致するようにあわせ、鏡に映る像を見ると、鏡の後方に大きさ cm の像が見える。

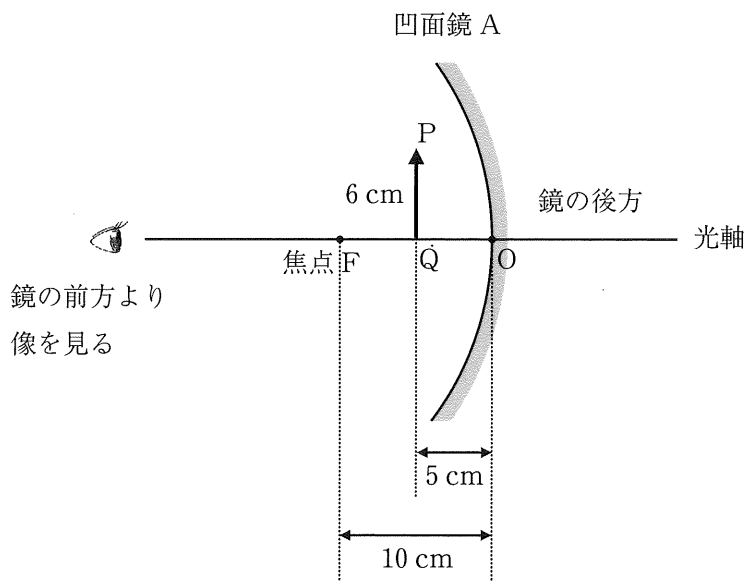


図 2

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	5	5	5	5	10	10	10	10
イ	8	8	12	12	8	8	12	12
ウ	2	4	2	4	2	4	2	4

(下 書 き 用 紙)

□1の問は次に続く。

問3 次の文章中の空欄 ア ～ ウ に入る式および数値の組合せとして最も適したものを、下の①～⑧のうちから一つ選びなさい。 3

図3は、光電効果を調べる実験装置である。光電管の陰極（光電面）Kに、限界波長より短い波長の光を照射すると、光電子が飛び出し、陽極Pに到達すると電流（光電流） I が流れる。光電流 I は光電管に接続した電流計で測定する。可変電源Eを用いて光電管にかかる電圧を変化させ、電圧計で光電面Kに対する陽極Pの電位 V_{KP} を測定する。可変電源Eはa側を正、b側を負にして電圧をかけたり、逆にa側を負、b側を正にして電圧をかけたりできる。真空中の光の速さを c [m/s]、電気素量を e [C]、プランク定数を h [J・s] とし、照射する光の波長を λ [m] とする。

陽極Pの電位を負にしてその電位を下げていくと、 $V_{KP} = -V_0$ [V] のとき、 $I = 0$ [A] となった。照射している光子1個のエネルギーは ア [eV] であり、光電面Kから飛び出した光電子の運動エネルギーの最大値は イ [eV] である。

波長 $\lambda = 4.00 \times 10^{-7}$ m の光を照射した場合、 $V_0 = 1.35$ V であった。これより、光電面Kの金属の仕事関数は ウ eV である。 $c = 3.00 \times 10^8$ m/s、 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C、 $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J・s とする

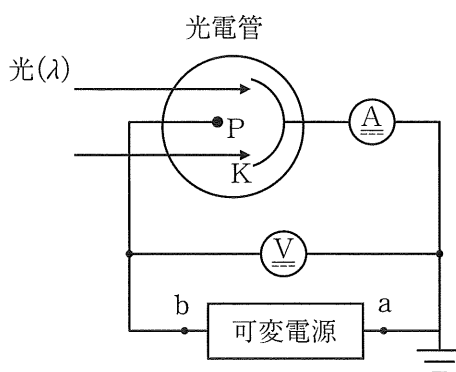


図3

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	$\frac{hc}{\lambda}$	$\frac{hc}{\lambda}$	$\frac{hc}{\lambda}$	$\frac{hc}{\lambda}$	$\frac{hc}{e\lambda}$	$\frac{hc}{e\lambda}$	$\frac{hc}{e\lambda}$	$\frac{hc}{e\lambda}$
イ	eV_0	eV_0	V_0	V_0	eV_0	eV_0	V_0	V_0
ウ	1.76	2.81	1.76	2.81	1.76	2.81	1.76	2.81

(下 書 き 用 紙)

1の問は次に続く。

問4 次の文章中の空欄 ア ～ ウ に入る式または数値の組合せとして正しいものを、下の①～⑧のうちから一つ選びなさい。 4

図4のように、抵抗値が R の電気抵抗 R_1 , R_3 , 抵抗値が $2R$ の電気抵抗 R_2 , 電気容量がともに C のコンデンサー C_1 , C_2 , 起電力 V_0 の電池 E_1 , 起電力 $2V_0$ の電池 E_2 , スイッチ S_1 , S_2 , S_3 を接続した回路がある。最初スイッチはすべて開いており、コンデンサー C_1 , C_2 の電気量はともに 0 である。回路においては、電気抵抗 R_1 , R_2 , R_3 以外の電気抵抗はすべて無視でき、また回路の自己インダクタンスも無視できるものとする。

最初、スイッチ S_2 を閉じ、続けてスイッチ S_1 を閉じた。スイッチ S_1 を閉じて十分に時間が経過すると、コンデンサー C_1 に蓄えられる電気量は ア となる。

次に、スイッチ S_2 を開き、続けてスイッチ S_3 を閉じる。スイッチ S_3 を閉じた瞬間に抵抗 R_3 を流れる電流の強さは イ となる。その後、十分に時間が経過したとき、コンデンサー C_1 と C_2 に蓄えられている静電エネルギーをそれぞれ U_1 , U_2 とすると、 U_1 は U_2 の ウ 倍となる。

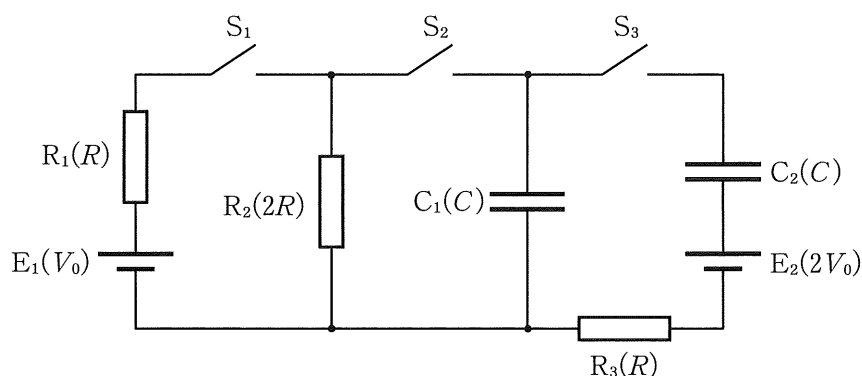


図4

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	$\frac{2}{3}CV_0$	$\frac{2}{3}CV_0$	$\frac{2}{3}CV_0$	$\frac{2}{3}CV_0$	CV_0	CV_0	CV_0	CV_0
イ	$\frac{4V_0}{3R}$	$\frac{4V_0}{3R}$	$\frac{2V_0}{R}$	$\frac{2V_0}{R}$	$\frac{4V_0}{3R}$	$\frac{4V_0}{3R}$	$\frac{2V_0}{R}$	$\frac{2V_0}{R}$
ウ	1	4	1	4	1	4	1	4

(下 書 き 用 紙)

物理の試験問題は次に続く。

2 次の文章を読み、下の問1～4に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 4 〕

図1のように、長さ L で質量 m の均質な棒 AB を、端 A で粗い垂直な壁に直角に接触させ、端 B と壁上の固定点 C を伸び縮みしない軽いひもで連結した。このとき、棒 AB とひものなす角度は 30° で、ひもにたるみはなく、壁と棒の端 A との間の摩擦力により、 AB は水平を保ったまま静止していた。ここで、棒 AB 上に、質量 m の小球 P をのせ、その位置を AB 方向に自由に移動させることができるようにした。以下では、棒 AB は常に水平を保つものとし、小球 P の大きさは無視でき、重力加速度の大きさを g とする。

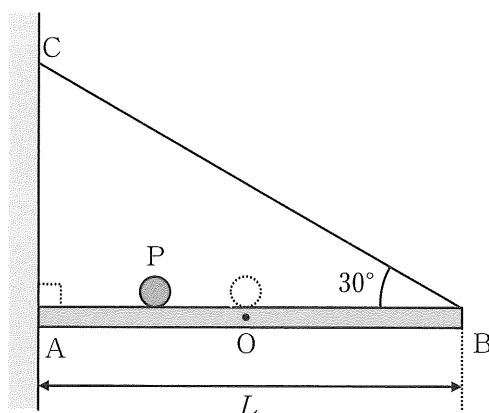


図1

問1 次の文章の ア , イ に入る式または数値の組合せとして正しいものを、下の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 1

小球 P が、棒 AB の中点 O にあるとき、 AB はつりあって静止していた。このとき、端 A に壁から作用する抗力の大きさは ア であり、その向きが棒 AB となす角度は イ となる。

	①	②	③	④	⑤	⑥
ア	$\sqrt{3}mg$	$\sqrt{3}mg$	$\sqrt{3}mg$	$2mg$	$2mg$	$2mg$
イ	30°	45°	60°	30°	45°	60°

(下 書 き 用 紙)

□2の問は次に続く。

問2 小球 P を中点 O からゆっくりと左に移動させても、棒 AB はつりあいを保っていたが、P が端 A に達した瞬間に壁から滑り落ちた。壁と棒 AB の間の静止摩擦係数 μ はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。

$\mu =$ 2

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

次に、図 2 のように、小球 P を質量が $2m$ の小球 Q に置き換え、自然長 $\frac{L}{4}$ の軽いばねを取り付け、ばねの一端を壁に固定し、Q が棒 AB に沿って運動できるようにした。初めに小球 Q が静止していた位置を点 D とし、このときばねは自然長である。小球 Q に右向きに初速 v_0 を与えると、振幅 $\frac{L}{12}$ の単振動を開始した。小球 Q が運動中、棒 AB は壁から滑り落ちることはなく、常に水平が保たれていた。小球 Q と棒 AB の間に摩擦はなく、Q の大きさは無視できるものとする。

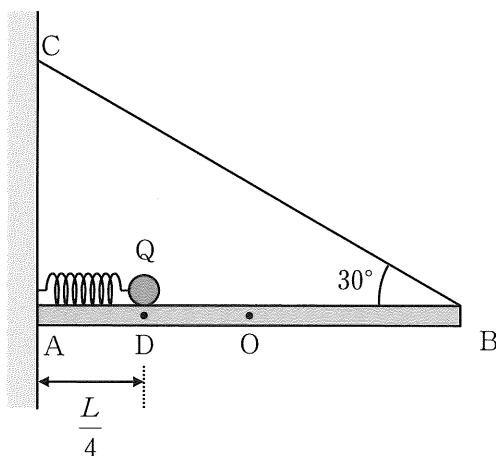


図 2

(下 書 き 用 紙)

□2の問は次に続く。

問3 小球 Q が運動中，棒 AB が壁から受ける静止摩擦力の大きさ f は変化する。

このとき， f がとる最大値 f_1 はいくらか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $f_1 = \boxed{3} \times mg$

- ① $\frac{5}{6}$ ② $\frac{4}{3}$ ③ $\frac{5}{3}$ ④ $\frac{11}{6}$ ⑤ $\frac{1}{2}$ ⑥ $\frac{13}{6}$

問4 小球 Q に加える初速を v_0 から大きくしていくと，初速が v_1 を超えたとき，単振動の途中で端 A が壁から滑り落ちた。 v_1 はいくらか。正しいものを，次の

①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $v_1 = \boxed{4}$

- ① $\frac{4}{3} v_0$ ② $\frac{3}{2} v_0$ ③ $\frac{5}{3} v_0$ ④ $2v_0$ ⑤ $\frac{5}{2} v_0$ ⑥ $3v_0$

(下 書 き 用 紙)

物理の試験問題は次に続く。

3 次の文章を読み，下の問 1 ～ 4 に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 4 〕

図 1 のように，電場や磁場をかけることができる真空中に，質量 m ，正電荷 q ($q > 0$) の荷電粒子 P が置かれている。荷電粒子 P が置かれた最初の位置を原点 O として， x 軸と y 軸をとる。荷電粒子 P は xy 平面内を運動するものとし，運動による電磁波の放出はなく，重力の影響もないものとする。また，荷電粒子 P の大きさは無視できるものとする。

まず，紙面 (xy 平面) に対して垂直に裏から表の向きに磁束密度の大きさが B の一様な磁場をかけ，原点 O に静止していた荷電粒子 P に， x 軸の負の向きに速さ v を与えたところ，半径 r の等速円運動を行った。

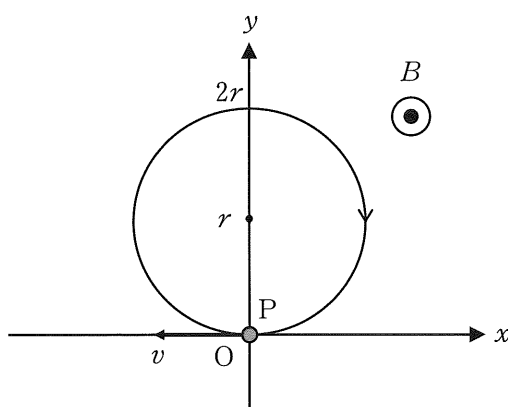


図 1

問 1 荷電粒子 P に与えた速さ v はいくらか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $v =$ 1

① $\frac{qBr}{4m}$

② $\frac{qBr}{2m}$

③ $\frac{qBr}{\sqrt{2}m}$

④ $\frac{qBr}{m}$

⑤ $\frac{\sqrt{2}qBr}{m}$

⑥ $\frac{2qBr}{m}$

(下 書 き 用 紙)

3の問は次に続く。

問2 荷電粒子 P の速度の x 成分と y 成分をそれぞれ v_x , v_y とし、加速度の x 成分と y 成分をそれぞれ a_x , a_y とする。運動方程式として正しいものを、次の

①～⑥のうちから一つ選びなさい。 2

① $\begin{cases} x: ma_x = qv_y B \\ y: ma_y = qv_x B \end{cases}$

② $\begin{cases} x: ma_x = qv_y B \\ y: ma_y = -qv_x B \end{cases}$

③ $\begin{cases} x: ma_x = -qv_y B \\ y: ma_y = qv_x B \end{cases}$

④ $\begin{cases} x: ma_x = qv_x B \\ y: ma_y = qv_y B \end{cases}$

⑤ $\begin{cases} x: ma_x = qv_x B \\ y: ma_y = -qv_y B \end{cases}$

⑥ $\begin{cases} x: ma_x = -qv_x B \\ y: ma_y = qv_y B \end{cases}$

再び、荷電粒子 P を原点 O に静止させる。今度は、紙面 (xy 平面) に対して垂直に裏から表の向きに磁束密度の大きさが B の一様な磁場をかけ、同時に y 軸の正の向きに一定の強さ E の電場もかけると、原点 O に静止していた荷電粒子 P は、電場からの力を受けて運動を開始する。動き始めると、磁場からの力も作用し、荷電粒子 P は、図 2 のような「サイクロイド曲線」を描いて運動するようになる。この運動は x 軸の正の向きに一定の速さ v_1 で運動する観測者から見ると、等速円運動に見える。

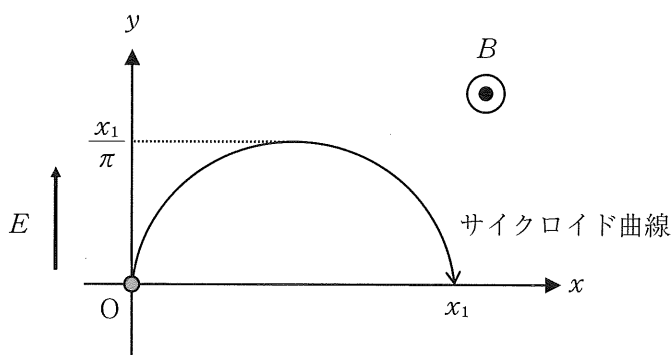


図 2

(下 書 き 用 紙)

③の問は次に続く。

問3 荷電粒子 P の運動が等速円運動に見える観測者の速さ v_1 はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $v_1 =$ 3

- ① $\frac{B}{2E}$ ② $\frac{B}{E}$ ③ $\frac{2B}{E}$ ④ $\frac{E}{2B}$ ⑤ $\frac{E}{B}$ ⑥ $\frac{2E}{B}$

問4 xy 平面に静止した観測者から見た荷電粒子 P の運動エネルギーの最大値 $K_{\max}$ はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。

$K_{\max} =$ 4

- ① $\frac{1}{2}mv_1^2$ ② mv_1^2 ③ $\frac{3}{2}mv_1^2$
④ $2mv_1^2$ ⑤ $3mv_1^2$ ⑥ $4mv_1^2$

(下 書 き 用 紙)

物理の試験問題は次に続く。

4 次の文章を読み、下の問 1 ～ 4 に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 4 〕

図 1 のように、一定量の単原子分子理想気体（以下では単に気体と呼ぶ）を、なめらかに動くピストンの付いたシリンダーに封入した。シリンダーとピストンは断熱材でできており、シリンダー内にある加熱冷却装置で、気体を加熱したり冷却したりすることができる。加熱冷却装置の体積と熱容量は無視できるものとする。初め、気体の圧力は p_0 、体積は V_0 であった。この状態を「状態 1」とする。この気体の状態を次のような過程で変化させた。

過程Ⅰ：「状態 1」より、ピストンを固定し、加熱冷却装置を作動させて圧力を ap_0 ($a > 1$) とした。この状態を「状態 2」とする。

過程Ⅱ：続いて「状態 2」より、加熱冷却装置を作動させて、圧力を ap_0 に保ちながらゆっくりとピストンを動かし、気体の体積を bV_0 ($b > 1$) とした。この状態を「状態 3」とする。

過程Ⅲ：次に、「状態 3」より、加熱冷却装置を作動させずにピストンをゆっくりと動かして、気体の圧力を p_0 に戻した。このときの気体の体積は cV_0 ($c > b$) であった。この状態を「状態 4」とする。

過程Ⅳ：最後に、「状態 4」より、加熱冷却装置を作動させて、圧力を p_0 に保ちながらゆっくりとピストンを動かして「状態 1」に戻した。

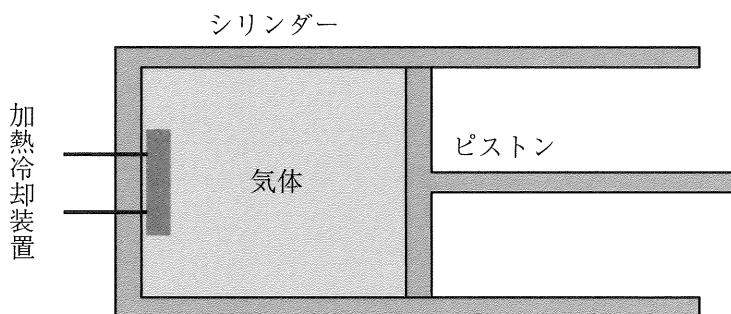


図 1

(下 書 き 用 紙)

4の問は次に続く。

問1 過程Ⅰにおいて、気体が得た熱量 Q_I はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $Q_I = \boxed{1}$

- ① $\frac{1}{2}(a-1)p_0V_0$ ② $(a-1)p_0V_0$ ③ $\frac{3}{2}(a-1)p_0V_0$
 ④ $\frac{1}{2}ap_0V_0$ ⑤ ap_0V_0 ⑥ $\frac{3}{2}ap_0V_0$

問2 過程Ⅱにおいて、気体が得た熱量 Q_{II} はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $Q_{II} = \boxed{2}$

- ① $\frac{3}{2}b(a-1)p_0V_0$ ② $\frac{5}{2}b(a-1)p_0V_0$ ③ $2b(a-1)p_0V_0$
 ④ $\frac{3}{2}a(b-1)p_0V_0$ ⑤ $\frac{5}{2}a(b-1)p_0V_0$ ⑥ $2a(b-1)p_0V_0$

問3 過程Ⅱで気体が外部にした仕事と、過程Ⅲで気体が外部にした仕事の和 W はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 $W = \boxed{3}$

- ① $\left(\frac{1}{2}ab - 2a - \frac{3}{2}c\right)p_0V_0$ ② $\left(\frac{3}{2}ab - 2a - \frac{3}{2}c\right)p_0V_0$
 ③ $\left(\frac{5}{2}ab - 2a - \frac{3}{2}c\right)p_0V_0$ ④ $\left(\frac{1}{2}ab - a - \frac{3}{2}c\right)p_0V_0$
 ⑤ $\left(\frac{3}{2}ab - a - \frac{3}{2}c\right)p_0V_0$ ⑥ $\left(\frac{5}{2}ab - a - \frac{3}{2}c\right)p_0V_0$

(下 書 き 用 紙)

4の問は次に続く。

単原子分子理想気体の断熱変化では、気体の圧力 p と体積 V の間には、 $pV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$ の関係が成り立つ。

問4 $a = b = 2$ とする。「状態 1」→「状態 2」→「状態 3」→「状態 4」→「状態 1」のサイクルを熱機関と考えた場合の熱効率 e はいくらか。最も適したものを、次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。ただし、 $2^{0.6} = 1.5$ として計算せよ。

$e =$

4

- ① 0.15 ② 0.18 ③ 0.20 ④ 0.23 ⑤ 0.27 ⑥ 3.0

(下 書 き 用 紙)

物理の試験問題は次に続く。

5 次の文章を読み、下の問1～5に答えなさい。〔解答番号 1 ～ 5〕

電子や中性子などの粒子には、波動性があることが知られており、電子線を結晶に当てるとブラッグ反射が生じて回折像が得られる。近年では、中性子の波動性を用いた中性子干渉計も利用されるようになった。以下では、中性子の物質波（ド・ブロイ波）としての干渉効果を調べ、その物質波に作用する重力の影響を検証する。

図1は、中性子干渉計を単純化した原理図で、中性子発生源から取り出した中性子ビームを、この干渉計に入射する。入射ビームは、最初に、ビーム分離器 BS_1 の点 A で透過するビームと反射するビームに分離される。透過したビームは反射鏡 M_1 の点 B で反射されて、ビーム分離器 BS_2 の点 C に達する。一方、点 A で反射されたビームは反射鏡 M_2 の点 D で反射されて、ビーム分離器 BS_2 の点 C に達する。2つの経路を通ったビームは点 C で重なりあい、その強さを検出器 P で検出する。干渉計内の2つの経路は全体としてひし形を形成し、図1のように、ひし形の対角線 AC の長さを $2a$ [m]、 $\angle DAB$ と $\angle DCB$ を 2θ [rad] とする。また、ひし形を含む平面（図1の灰色のひし形の平面）を経路面 α と呼ぶ。

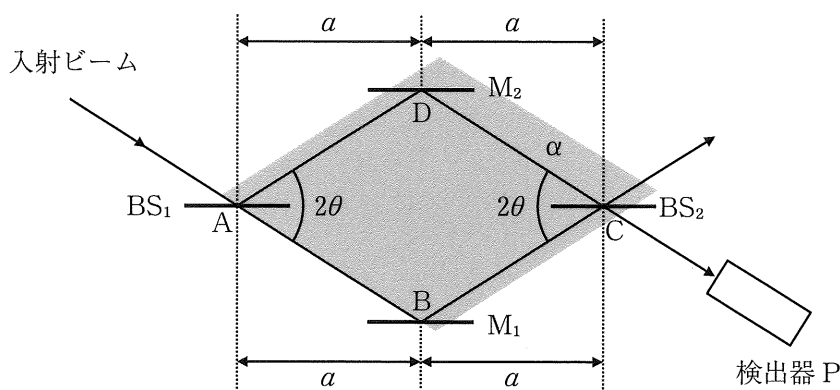


図1

(下 書 き 用 紙)

5の問は次に続く。

経路面 α は、図 2 のように、入射ビームと一致する回転軸について回転でき、その回転角度を ϕ [rad] とする。 $\phi = 0$ [rad] のとき、この経路面 α は水平面と一致させてある。この場合、検出器 P に入るビームは干渉して強めあっている。経路面 α を回転させると、角度 ϕ によって検出器 P に入るビームの強度が変化する。ビーム分離器の厚さは無視でき、ビーム分離器で分離されるときや反射鏡で反射されるときに、中性子の物質波の位相や波長は変化しないものとする。また、ひし形の面積は十分に小さく、ビームの軌道に対する重力の影響は無視でき、ひし形の各辺は直線である。中性子の質量を m [kg]、プランク定数を h [J・s]、重力加速度の大きさを g [m/s²]、入射する中性子の物質波の波長を λ_0 [m] とする。

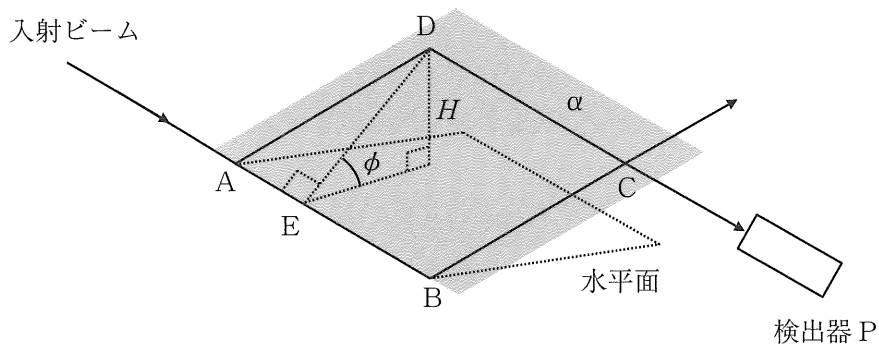


図 2

問 1 物質波の波長が λ_0 [m] の中性子をもつ運動エネルギー K_0 はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選べなさい。 $K_0 = \boxed{1}$ [J]

① $\frac{1}{2m} \left(\frac{h}{\lambda_0} \right)^2$

② $\frac{1}{m} \left(\frac{h}{\lambda_0} \right)^2$

③ $\frac{2}{m} \left(\frac{h}{\lambda_0} \right)^2$

④ $\frac{m}{2} \left(\frac{\lambda_0}{h} \right)^2$

⑤ $m \left(\frac{\lambda_0}{h} \right)^2$

⑥ $2m \left(\frac{\lambda_0}{h} \right)^2$

(下 書 き 用 紙)

5の問は次に続く。

問2 図2で点Eは点Dより辺ABに下ろした垂線の交点である。経路面 α を角度 ϕ 回転したときの、経路DCの水平面からの高さ H はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選べなさい。 $H = \boxed{2}$ [m]

- ① $a \sin \theta \sin \phi$ ② $2a \sin \theta \sin \phi$ ③ $a \cos \theta \sin \phi$
 ④ $2a \cos \theta \sin \phi$ ⑤ $a \tan \theta \sin \phi$ ⑥ $2a \tan \theta \sin \phi$

図2で経路DCを進む中性子の物質波の波長を λ_1 [m]とする。中性子の質量により、中性子が鉛直方向に変位すると重力による位置エネルギーが変化する。この点に注意して、力学的エネルギー保存則を用いると、 λ_1 を定めることができる。この結果から、 m , g , h , λ_0 , H で定まる定数 k を用いて、

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_1} = \sqrt{1 - k}$$

と表すことができる。この定数 k は十分に小さいので、 $|x|$ が十分に小さいときに成り立つ近似式 $\sqrt{1 + x} \doteq 1 + \frac{1}{2}x$ を用いると、

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_1} = \sqrt{1 - k} \doteq 1 - \frac{1}{2}k$$

となる。

問3 定数 k はいくらか。正しいものを、次の①～⑥のうちから一つ選べなさい。

$$k = \boxed{3}$$

- ① $\frac{m^2 g H \lambda_0^2}{2h^2}$ ② $\frac{m^2 g H \lambda_0^2}{h^2}$ ③ $\frac{2m^2 g H \lambda_0^2}{h^2}$
 ④ $\frac{m^2 g H^2}{2h^2 \lambda_0^2}$ ⑤ $\frac{m^2 g H^2}{h^2 \lambda_0^2}$ ⑥ $\frac{2m^2 g H^2}{h^2 \lambda_0^2}$

(下 書 き 用 紙)

5の問は次に続く。

図2の場合，経路 AB と経路 DC で中性子ビームに位相差が生じる。一般に，波長 λ [m] の波が距離 Δx [m] 進むと，位相は $\frac{2\pi\Delta x}{\lambda}$ 進む。以下では，経路面のひし形 ABCD の面積 S を用いる。 $S = 2a^2 \tan \theta$ である。

問4 中性子ビームに生じた位相差はいくらか。最も適したものを，次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 4 [rad]

- ① $\frac{\pi m^2 g \lambda_0 \sin \phi}{h^2 S}$ ② $\frac{2\pi m^2 g \lambda_0 \sin \phi}{h^2 S}$ ③ $\frac{\pi m^2 g \lambda_0 S \sin \phi}{h^2}$
 ④ $\frac{2\pi m^2 g \lambda_0 S \sin \phi}{h^2}$ ⑤ $\frac{\pi m g \lambda_0 S^2 \sin \phi}{h}$ ⑥ $\frac{2\pi m g \lambda_0 S^2 \sin \phi}{h}$

経路面 α の回転角度 ϕ を 0 [rad] から少しずつ増加させていくと，検出器 P では，図3のように， $\sin \phi$ について一定の間隔 δ で強度の増減を繰り返す様子が検出された。

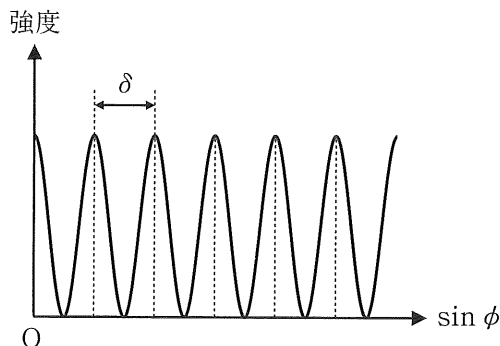


図3

問5 $\frac{h^2}{m^2 g} = 1.6 \times 10^{-14} \text{ m}^3$ ， $S = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ， $\lambda_0 = 1.4 \times 10^{-10} \text{ m}$ とする。

はいくらか。最も適したものを，次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。

$\delta =$ 5

- ① 0.11 ② 0.16 ③ 0.21 ④ 0.26 ⑤ 0.31 ⑥ 0.36

(下 書 き 用 紙)