令和５年度　入学者選抜試験問題

一般選抜　令和５年１月29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　4～37ページ
化学　38～65ページ
生物　66～96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 $\boxed{1}$ の $\boxed{\ 3\ }$ 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	⓪

受　験　番　号				

獨協医科大学　医学部

（問題は次ページから始まる）

物　理

$\boxed{1}$　次の問1～4に答えなさい。〔解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{4}$〕

問1　次の文章中の空欄 $\boxed{ア}$, $\boxed{イ}$ 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。 $\boxed{1}$

一定の水流を発生させることのできる幅 L の実験用の水槽がある。図1のように，その水槽の一方の端の点Oより，模型の船Sを走らせる実験を行った。船Sは静水に対して一定の速さ V で進むことができる。点Oを原点に水槽の壁に沿って x 軸を，水槽の壁に垂直に y 軸をとる。水流は常に x 軸の正の向きに速さ v で流れる。船Sの大きさは水槽の幅 L に比べて十分小さく，各実験では，船Sをスタートさせた瞬間を時刻 $t=0$ とする。

最初，船Sを y 軸正の方向に船首を向けて進めたところ，時刻 $t=t_1$ に y 軸に対して30° をなす点Pに到達した。次に，図2のように，船Sの船首を y 軸に対して上流の方向に角度 θ だけ向けて進めたところ，時刻 $t=t_2$ に y 軸上の点Qに到達した。この場合，$\tan\theta=$ $\boxed{ア}$ であり，$t_2=$ $\boxed{イ}$ $\times t_1$ となる。

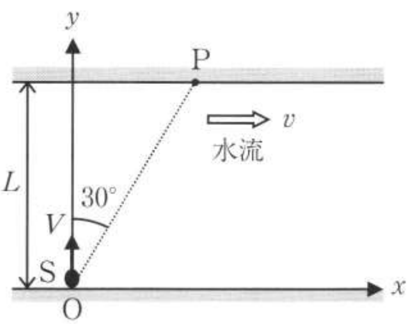

図1

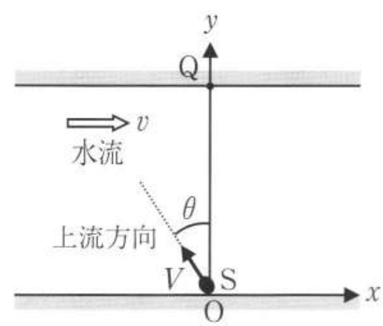

図2

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

（下 書 き 用 紙）

$\boxed{1}$ の問は次に続く。

問2　室温を変えることのできる実験室内で，図3のように，自由に動かすことのできるピストンを取り付けたガラス管の前に，振動数f〔Hz〕のおんさを置き，おんさを鳴らして，ガラス管から共鳴音が聞こえるピストンの位置を測定する。部屋の温度がt〔℃〕のとき，共鳴音が聞こえている状態から，ピストンを徐々に右へ動かしていくと，いったん共鳴音は消失したが，L〔m〕だけ右へ動かした位置で再び共鳴音が聞こえた。

部屋の温度を$t + \Delta t$〔℃〕に変えて同様の実験を行ったところ，共鳴音が聞こえている状態から，$L + \Delta L$〔m〕だけ右へ動かした位置で再び共鳴音が聞こえた。0℃のときの音速をV_0〔m/s〕とすると，温度t〔℃〕のときの音速V〔m/s〕は正の係数α〔m/(s·℃)〕を用いて，$V = V_0 + \alpha t$〔m/s〕と表される。この係数αを表す式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。

$\alpha = \boxed{\ 2\ }$〔m/(s·℃)〕

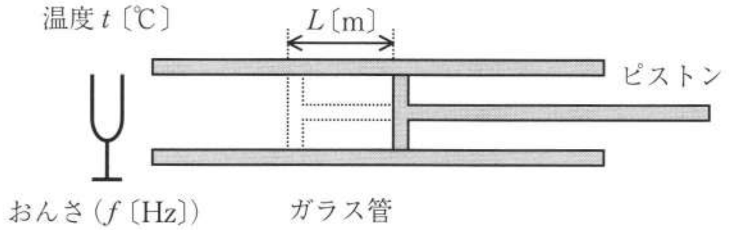

図3

① $\dfrac{f\Delta L}{4\Delta t}$　② $\dfrac{f\Delta L}{2\Delta t}$　③ $\dfrac{f\Delta L}{\Delta t}$

④ $\dfrac{3f\Delta L}{2\Delta t}$　⑤ $\dfrac{2f\Delta L}{\Delta t}$　⑥ $\dfrac{4f\Delta L}{\Delta t}$

（下　書　き　用　紙）

$\boxed{1}$の問は次に続く。

問3　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。 3

真空中で，十分に大きい面積 S の薄い金属板上に電荷 $+Q$ $(Q>0)$ を与えると，図4のように，金属板の両側に，金属板に対して垂直に出ていく向きの一様な電場が生じる。真空の誘電率を ε_0 とすると，金属板の両側に生じた一様な電場の強さ E は，$E=\dfrac{Q}{2\varepsilon_0 S}$ で与えられる。電荷が負の場合は電場の向きが逆になる。

ここで，図5のように，面積 S で同形の薄い金属板A，Bにそれぞれ $+Q$，$+2Q$ の電荷を与え，間隔 $3d$ で平行に向かいあわせて固定する。続いて，この間に金属板A，Bと同形で面積 S，厚さ d の帯電していない導体CをA，Bと平行に同じ距離 d だけ離して面が重なるように挿入した。静電誘導により，導体Cの内部の電場は0となる。これより，導体Cの金属板A側の面 α には電荷 ア が生じ，金属板B側の面 β には電荷 イ が生じる。この結果，金属板Aに対する金属板Bの電位は ウ となる。

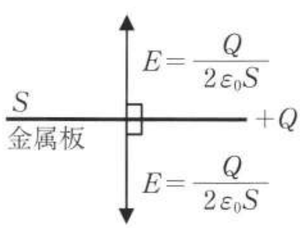

図4

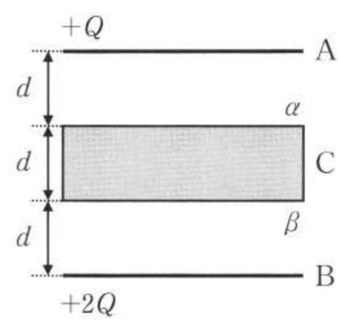

図5

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
ア	$-Q$	$-Q$	$-\dfrac{Q}{2}$	$-\dfrac{Q}{2}$	$+\dfrac{Q}{2}$	$+\dfrac{Q}{2}$	$+Q$	$+Q$
イ	$+Q$	$+Q$	$+\dfrac{Q}{2}$	$+\dfrac{Q}{2}$	$-\dfrac{Q}{2}$	$-\dfrac{Q}{2}$	$-Q$	$-Q$
ウ	0	$\dfrac{Qd}{\varepsilon_0 S}$	0	$\dfrac{Qd}{\varepsilon_0 S}$	0	$\dfrac{Qd}{\varepsilon_0 S}$	0	$\dfrac{Qd}{\varepsilon_0 S}$

（下　書　き　用　紙）

$\boxed{1}$ の問は次に続く。

問 4　次の文章中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$，$\boxed{\text{イ}}$ 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。$\boxed{4}$

物質に X 線を照射すると，散乱 X 線の中に入射 X 線より波長が長い X 線が観測される。図 6 のように，紙面内で波長 λ の X 線が静止した電子によって散乱される場合を考え，入射 X 線の方向から θ 方向に散乱された X 線の波長を λ'，入射 X 線にはね飛ばされた電子と入射 X 線の向きとの角度を ϕ とする。電子の質量を m，プランク定数を h，真空中の光の速さを c とすると，$\lambda \fallingdotseq \lambda'$ のとき，λ' と散乱角 θ の間には，$\lambda' - \lambda = \lambda_C\ (1 - \cos\theta)\ (\lambda_C = \dfrac{h}{mc})$ の関係式が成立し，λ_C は（電子の）コンプトン波長と呼ばれる。以下では $\theta = 90°$ の場合を考え，入射 X 線のエネルギーを E，$\dfrac{\lambda_C}{\lambda} = \alpha$ とする。エネルギー保存則に着目すると，はね飛ばされた電子の運動エネルギー K は，$K = \boxed{\text{ア}} \times E$ となる。また，運動量保存則に着目すると，$\tan\phi = \boxed{\text{イ}}$ となる。

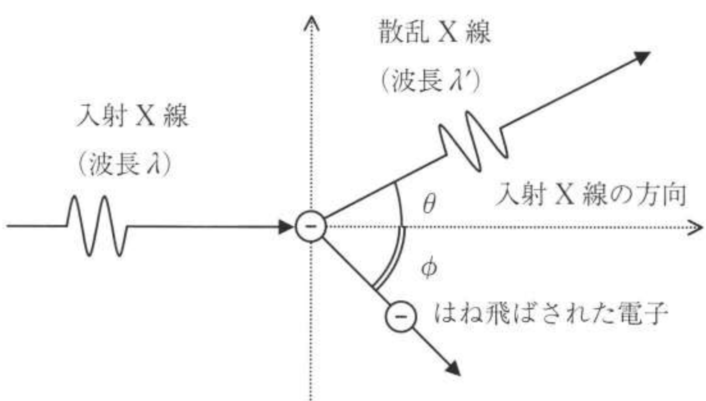

図 6

	①	②	③	④	⑤	⑥
ア	$\dfrac{1}{1+\alpha}$	$\dfrac{1}{1+\alpha}$	$\dfrac{\alpha}{1+\alpha}$	$\dfrac{\alpha}{1+\alpha}$	$1+\dfrac{1}{\alpha}$	$1+\dfrac{1}{\alpha}$
イ	$\dfrac{1}{1+\alpha}$	$1+\alpha$	$\dfrac{1}{1+\alpha}$	$1+\alpha$	$\dfrac{1}{1+\alpha}$	$1+\alpha$

（下　書　き　用　紙）

物理の試験問題は次に続く。

$\boxed{2}$ 次の文章を読み，下の問1～4に答えなさい。〔解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{5}$〕

図1のように，粗い水平面上に質量 m の小球Pを置き，他端が固定されたばね定数 k の軽いばねに接続した。小球Pと水平面との間の動摩擦係数は μ である。ばねが自然長のときの小球Pの位置を原点Oとしてばねに沿って x 軸をとる。

時刻 $t=0$ において，小球Pを $x=9x_0$ の位置から静かに放したところ，時刻 t での小球Pの位置 x が図2で示すように変化した。グラフ中の x_0, t_0 は正の定数である。小球Pの運動は x 軸に沿った方向でのみ生じ，小球Pの大きさや空気抵抗は無視できるものとし，重力加速度の大きさを g とする。

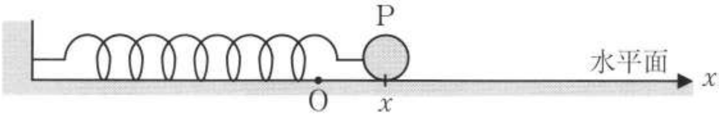

図1

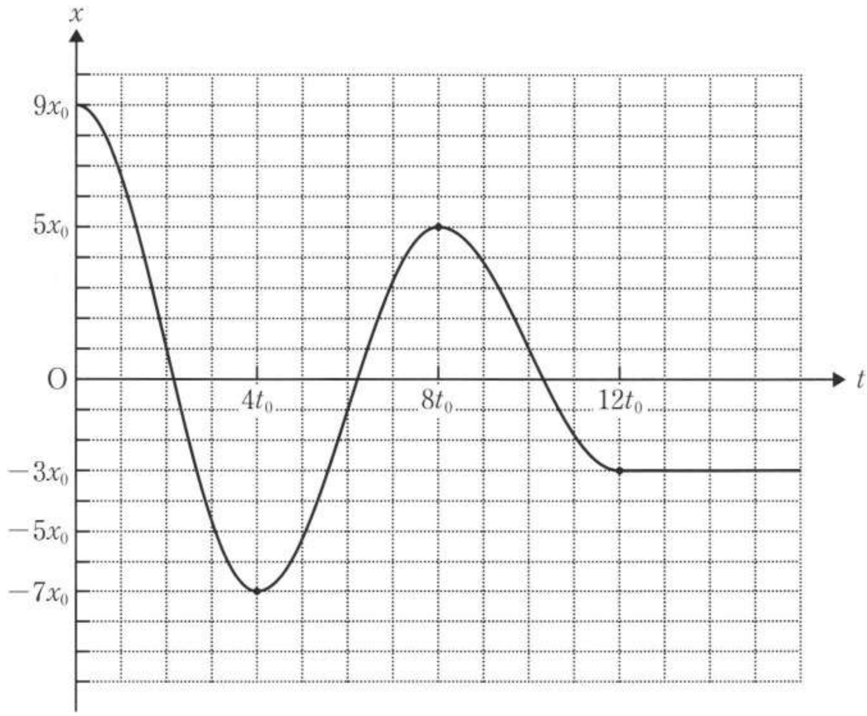

図2

（下　書　き　用　紙）

$\boxed{2}$ の問は次に続く。

問1　時刻 $0 < t < 4t_0$ の間，小球Pは x 軸負の向きに運動する。このとき，水平面上を滑っている小球Pが，位置 x で受ける力の x 成分 F 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。$F =$ $\boxed{\;1\;}$

① $-kx$　　② $-kx-\mu mg$　　③ $-kx+\mu mg$
④ kx　　⑤ $kx-\mu mg$　　⑥ $kx+\mu mg$

問2　正の定数 x_0 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。$x_0 =$ $\boxed{\;2\;}$

① $\dfrac{\mu mg}{2k}$　② $\dfrac{\mu mg}{k}$　③ $\dfrac{3\mu mg}{2k}$　④ $\dfrac{2\mu mg}{k}$　⑤ $\dfrac{5\mu mg}{2k}$　⑥ $\dfrac{3\mu mg}{k}$

問3　時刻 $0 < t < 12t_0$ 間で，小球Pの速さの最大値 v_{m} 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。$v_{\mathrm{m}} =$ $\boxed{\;3\;}$

① $\dfrac{x_0}{2t_0}$　② $\dfrac{x_0}{t_0}$　③ $\dfrac{2x_0}{t_0}$　④ $\dfrac{\pi x_0}{2t_0}$　⑤ $\dfrac{\pi x_0}{t_0}$　⑥ $\dfrac{2\pi x_0}{t_0}$

問4　図2に示されたデータから，静止摩擦係数 μ_0 のとり得る値の範囲を推測する。このとき，最も幅の狭い範囲は，$\boxed{\;4\;} \times \mu \leqq \mu_0 < \boxed{\;5\;} \times \mu$ である。$\boxed{\;4\;}$ と $\boxed{\;5\;}$ に入る最も適切なものを，次の①～⓪のうちからそれぞれ選びなさい。

① 1　② 2　③ 3　④ 4　⑤ 5
⑥ 6　⑦ 7　⑧ 8　⑨ 9　⓪ 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１～５に答えなさい。〔解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{5}$ 〕

自然現象として，「熱は高温側から低温側に移動し逆は生じない」。しかしながら，外界より仕事をすることで，熱を低温側から高温側に移動させることができる。可逆なサイクルを用いて，熱を低温側から高温側に移動させることを考える。

シリンダーとなめらかに動くピストンからなる容器内に，物質量 n の理想気体（以下単に気体と呼ぶ）を封入し，この気体の圧力 p，体積 V を，図１のように，状態 A →状態 B →状態 C →状態 D →状態 A の順にゆっくりと変化させる。AB 間と CD 間は断熱変化，BC 間と DA 間は等温変化である。また，BC 間と DA 間の温度はそれぞれ，T_H，T_L で $T_H > T_L$ の関係にあり，図１の破線の曲線はそれぞれの温度での等温曲線を示している。状態 A，B，C，D の体積をそれぞれ V_A，V_B，V_C，V_D とする。

気体定数を R とすると，気体の温度 T が一定のもとで体積 V_1 の状態から体積 V_2 に変化したとき，気体が外部にする仕事 W は，自然対数 $\log_e x$ を用いて，

$$W = nRT \log_e \frac{V_2}{V_1}$$

で求められる。また断熱変化では，温度 T と体積 V の間には，

$$TV^{\gamma-1} = \text{一定}$$

の関係が成り立つ。ただし，γ は１より大きい定数である。

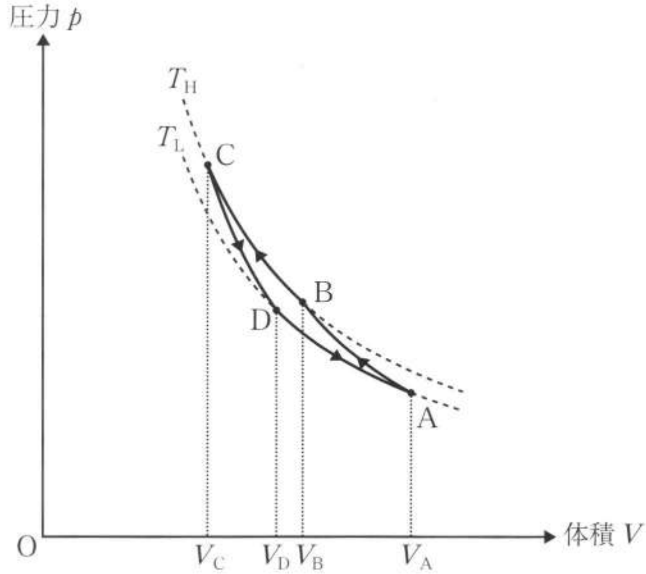

図１

（下　書　き　用　紙）

$\boxed{3}$ の問は次に続く。

問1　体積 V_A と V_B の比 $\dfrac{V_B}{V_A}$ を，体積 V_C と V_D を用いて表すとどのようになるか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。$\dfrac{V_B}{V_A} = \boxed{\;1\;}$

①　$\dfrac{V_D}{V_C}$　　②　$\dfrac{V_C}{V_D}$　　③　$\dfrac{\gamma V_D}{V_C}$　　④　$\dfrac{\gamma V_C}{V_D}$　　⑤　$\dfrac{V_D}{\gamma V_C}$　　⑥　$\dfrac{V_C}{\gamma V_D}$

問2　状態Bから状態Cの変化の間に気体が放出した熱量を Q_H $(Q_H > 0)$，状態Dから状態Aの変化の間に気体が吸収した熱量を Q_L $(Q_L > 0)$ とする。Q_H，Q_L，T_H，T_L の間に成り立つ関係式はどれか。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。$\boxed{\;2\;}$

①　$\dfrac{Q_H}{T_H} = \dfrac{Q_L}{T_L}$　　②　$\dfrac{Q_H}{T_L} = \dfrac{Q_L}{T_H}$　　③　$\dfrac{Q_H}{{T_H}^{\gamma-1}} = \dfrac{Q_L}{{T_L}^{\gamma-1}}$

④　$\dfrac{Q_H}{{T_L}^{\gamma-1}} = \dfrac{Q_L}{{T_H}^{\gamma-1}}$　　⑤　$\dfrac{Q_H}{T_H} = \gamma\dfrac{Q_L}{T_L}$　　⑥　$\dfrac{Q_H}{T_L} = \gamma\dfrac{Q_L}{T_H}$

問3　このサイクルでは，外界が気体に対して仕事をする。1サイクルで外界が気体にした仕事を W_C とすると，W_C は Q_H，T_L，T_H 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。$W_C = \boxed{\;3\;}$

①　$\left(\dfrac{T_H}{T_L} - 1\right)Q_H$　　②　$\left(\dfrac{T_H}{T_L} + 1\right)Q_H$　　③　$\left(1 - \dfrac{T_L}{T_H}\right)Q_H$

④　$\left(1 + \dfrac{T_L}{T_H}\right)Q_H$　　⑤　$\dfrac{T_L}{T_H + T_L}Q_H$　　⑥　$\dfrac{T_H}{T_H + T_L}Q_H$

（下　書　き　用　紙）

$\boxed{3}$ の問は次に続く。

図1で考察したサイクルのように，一般に，可逆なサイクルを用いて，実際に熱を低温側から高温側に移動させることができる。冷暖房機（エアコン）などはこの原理を応用し，外界からの仕事 W_{C} を電力によってまかない，冬は室内を暖めるヒートポンプと呼ばれる暖房機として（図2），夏は室内を冷やす冷房機として（図3）使用している。この場合，サイクルの効率は「成績係数」と呼ばれる値を用いて評価される。成績係数は，ヒートポンプの場合は「暖房効率」，冷房機の場合は「冷却効率」と呼ばれており，それぞれを $e_{\text{暖房}}$，$e_{\text{冷房}}$，とすると，

$$e_{\text{暖房}}=\frac{Q_{\mathrm{H}}}{W_{\mathrm{C}}},\quad e_{\text{冷房}}=\frac{Q_{\mathrm{L}}}{W_{\mathrm{C}}}$$

で定められる。この成績係数を，図1で考えたサイクルを用いた場合で考える。

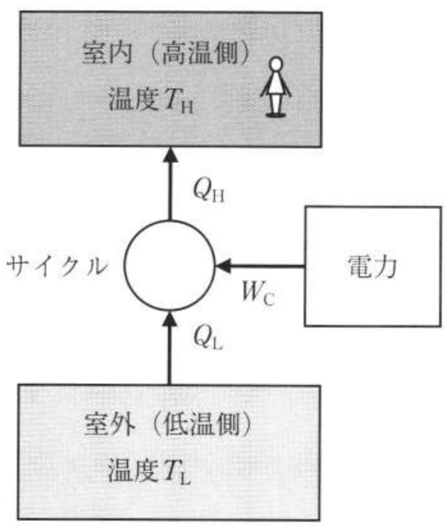

図2　暖房

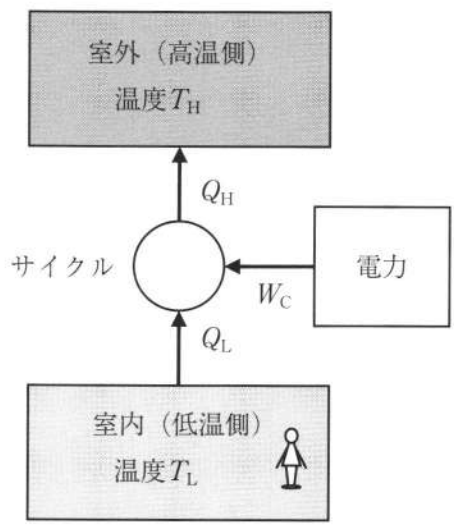

図3　冷房

（下　書　き　用　紙）

$\boxed{3}$ の問は次に続く。

問4　$e_{暖房}$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。

$e_{暖房} = \boxed{\quad 4 \quad}$

① $\dfrac{T_L}{T_H + T_L}$　② $\dfrac{T_H}{T_H + T_L}$　③ $\dfrac{T_L}{T_H - T_L}$

④ $\dfrac{T_H}{T_H - T_L}$　⑤ $\dfrac{T_H}{T_L} - 1$　⑥ $\dfrac{T_L}{T_H} + 1$

問5　$e_{暖房}$と$e_{冷房}$の間に成り立つ関係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。$\boxed{\quad 5 \quad}$

① $e_{暖房} = e_{冷房} - 1$　② $e_{暖房} = e_{冷房} + 1$　③ $e_{暖房} = e_{冷房} - \dfrac{T_H}{T_L}$

④ $e_{暖房} = e_{冷房} - \dfrac{T_L}{T_H}$　⑤ $e_{暖房} = e_{冷房} + \dfrac{T_L}{T_H}$　⑥ $e_{暖房} = e_{冷房} + \dfrac{T_H}{T_L}$

（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 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{4}$ 〕

原子は原子核とそのまわりを周回する電子で構成され，電子の軌道に応じたエネルギーをもつ。ボーアによって提唱された量子条件によると，このエネルギーはとびとびの値（エネルギー準位）をとる。また，振動数条件によると，原子はこのエネルギー準位の差に等しいエネルギーを吸収し，また光（光子）として放出する。フランクとヘルツは水銀原子に対する実験から，このエネルギー準位の存在を明らかにした。

図１は，フランクとヘルツによる実験の概念図である。陰極K，グリッド（網目状の電極）G，陽極P，ガラス管からなる放電管があり，管内に低圧（1.3×10^2Pa程度）の水銀蒸気が封入されている。グリッドGの電位が陽極Pの電位よりわずかに高くなる（0.5 V程度）ように調整する。電子はKG間では加速されるので，ヒーターで加熱された陰極Kで発生した電子の大多数はグリッドGを通過するが，GP間では減速されるため，Gを通過した時点で十分なエネルギーをもたない電子は陽極Pに到達できない。陽極Pに到達した電子は，電流として電流計を通るので，電流計を流れる電流 I を測定することで，陽極Pに達した電子の数を求めることができる。

KG間の加速電圧 V を変化させて，電流 I を測定すると，図２のような結果が得られた。また同時に，この実験では加速電圧 V が4.9Vを超えると，放電管から紫外線が放射されることも観測された。以下では，電気素量を 1.6×10^{-19}C，プランク定数を 6.6×10^{-34}J·s，真空中の光の速さを 3.0×10^8m/s とする。

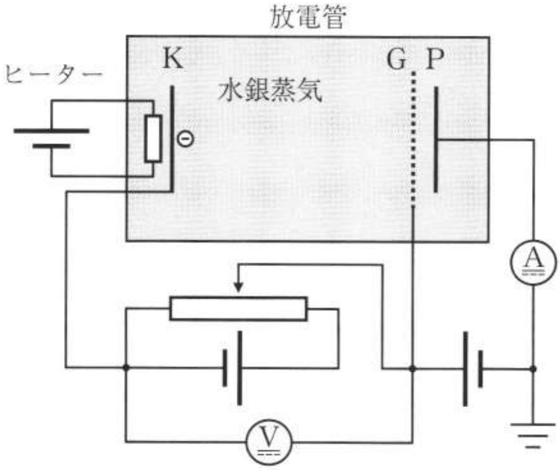

図１

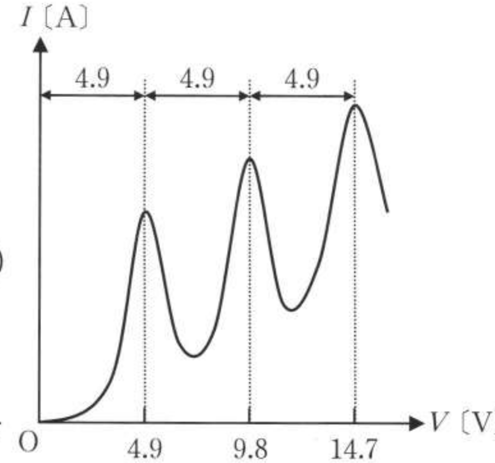

図２

（下　書　き　用　紙）

$\boxed{4}$ の問は次に続く。

問1　次の文章の ア ， イ に入る数値の組合せとして最も適したものを，下の①～⑥のうちから一つ選びなさい。 1

通常，水銀原子はエネルギーの最も低いエネルギー準位 E_1 の基底状態にある。その1つ上のエネルギー準位 E_2 との差 $\Delta E = E_2 - E_1$ に等しいエネルギーをもらうと，水銀原子のエネルギー準位が E_2 になる。高いエネルギー状態になることを「励起される」という。励起された水銀原子は，再び基底状態に遷移し，この際，このエネルギー差 ΔE に等しい光（光子1個）を放出し，これが紫外線として観測される。フランク・ヘルツの実験結果から，水銀原子の ΔE は ア eV であり，放出された紫外線の波長は イ m である。

	①	②	③	④	⑤	⑥
ア	4.9	4.9	7.8	7.8	9.8	9.8
イ	2.5×10^{-7}	2.5×10^{-6}	3.9×10^{-7}	3.9×10^{-6}	5.0×10^{-7}	5.0×10^{-6}

次に，放電管にネオンガスを入れて同様の実験を行った。KG間の加速電圧 V を変化させて，陽極Pを流れる電流 I を測定すると，図3のように，18.5 V の電圧間隔で電流 I の増減が繰り返された。この場合，電圧を0V から徐々に上げていくと，グリッドG面にオレンジ色の発光が生じ，さらに電圧を上げると図4に示すように，バンド状のオレンジ色の発光部分がGから離れて陰極K側に移動し，次のオレンジ色のバンドがG面に生じた。さらに電圧を上げると，このバンドがグリッドGと陰極Kの間に規則的に並ぶことが確認された。このオレンジ色の光の波長は 6.0×10^{-7}m であった。

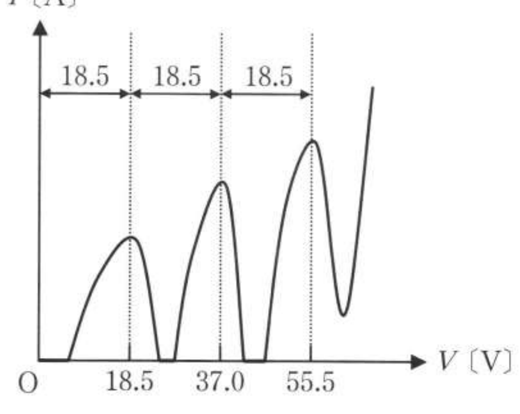

図3

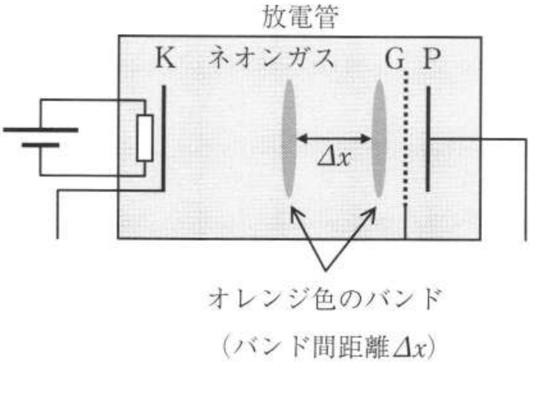

図4

（下　書　き　用　紙）

$\boxed{4}$ の問は次に続く。

電圧を上げ始めてから最初に現れたバンドについて考えてみよう。このオレンジ色の光は，励起されたネオン原子から放射されたものであるとすると，電子の衝突により励起されたエネルギー準位と基底状態のエネルギー準位の間に複数のエネルギー準位が存在し，励起されたエネルギー準位からその間に存在するあるエネルギー準位（E_1とする）に遷移した際に放出された光が，オレンジ色の光となっていると考えられる。

問2　オレンジ色の光（光子）のエネルギーはいくらか。最も適したものを，次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。$\boxed{\quad 2 \quad}$ eV

①　1.2　　②　2.1　　③　3.4　　④　4.3　　⑤　5.2　　⑥　6.0

問3　ネオン原子の基底状態のエネルギー準位とエネルギー準位 E_1 との差を $\varDelta E_1$ とする。$\varDelta E_1$ 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。$\varDelta E_1 = \boxed{\quad 3 \quad}$ eV

①　13.5　　②　14.3　　③　15.2　　④　16.4　　⑤　17.8　　⑥　19.6

問4　陰極Kとグリッド G の間隔は 0.05 m であり，加速電圧 V が 50 V のとき，オレンジ色のバンド間の距離を $\varDelta x$〔m〕とする。$\varDelta x$ 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。$\varDelta x = \boxed{\quad 4 \quad}$ m

①　1×10^{-3}　　②　4×10^{-3}　　③　6×10^{-3}

④　8×10^{-3}　　⑤　1×10^{-2}　　⑥　2×10^{-2}

（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 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{5}$ 〕

図1のように，真空中で，紙面に対して垂直に裏から表の向きに，磁場をかけられる領域があり，磁束密度は空間的にも時間的にも変化させることができる。この領域内に，中空の管でつくられた，点Oを中心とした半径 R のドーナツ状の中空リング（以下，単にリングと呼ぶ）を紙面内に固定する。リングの管内も真空で，リングの中心線と点Oとの距離を半径 R とし，以下では「リング内」とは「この管の内部」を意味する。

磁束密度の大きさ B_1 の一様な磁場にして，リング内で質量 m，電荷 $-e$ $(e > 0)$ の電子に，図1に破線で示した円軌道の接線方向の初速 v を与えると，電子は半径 R の等速円運動を開始した。以下では，電子の大きさは十分に小さく，電子がリング内を運動中は，リングの内壁に接触することはないものとし，また重力の影響は無視できるものとする。紙面に対して反時計回りを正の向きとする。

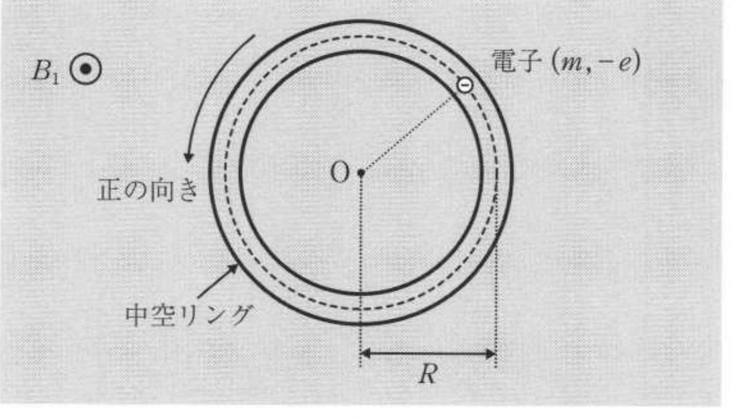

図1

問1 図1の正の向きを運動量の正の向きとする。電子の運動量 p 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。$p =$ $\boxed{1}$

① $-eB_1R$　② eB_1R　③ $-\dfrac{eB_1R}{m}$

④ $\dfrac{eB_1R}{m}$　⑤ $-\dfrac{e^2B_1{}^2R^2}{2m}$　⑥ $\dfrac{e^2B_1{}^2R^2}{2m}$

（下　書　き　用　紙）

$\boxed{5}$ の問は次に続く。

点Oを中心とした半径Rの円軌道（以下，円軌道Rと呼ぶ）に着目しよう。磁束密度の大きさを時間的に変化させると電磁誘導が起こり，円軌道R上に電場Eが生じる。リング内で等速円運動していた電子が電場Eで加速され，次第に速さを増しながら，一定の半径Rを保ったまま円運動を続ける条件を考えてみよう。

円軌道R内部を貫く磁束をΦとし，微小時間Δtの間に磁束を$\Delta\Phi$（$\Delta\Phi > 0$）だけ増加させる。

問2　図1の正の向きを電場Eの正の向きとする。円軌道R上に生じる電場Eと磁束の変化$\Delta\Phi$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。
$E = \boxed{\quad 2 \quad}$

① $-\dfrac{2}{\pi R}\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　② $-\dfrac{1}{\pi R}\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　③ $-\dfrac{1}{2\pi R}\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

④ $\dfrac{1}{2\pi R}\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　⑤ $\dfrac{1}{\pi R}\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$　⑥ $\dfrac{2}{\pi R}\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

問3　円軌道R上に生じた電場Eによって電子は加速される。この場合，電子が半径Rを保ったままリング内を円運動するときに成り立つ，微小時間Δtの間の運動量の変化Δpと磁束の変化$\Delta\Phi$の間の関係として，正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。$\Delta p = \boxed{\quad 3 \quad}$

① $\dfrac{e}{2\pi^2 R}\Delta\Phi$　② $\dfrac{e}{\pi^2 R}\Delta\Phi$　③ $\dfrac{2e}{\pi^2 R}\Delta\Phi$

④ $\dfrac{e}{2\pi R}\Delta\Phi$　⑤ $\dfrac{e}{\pi R}\Delta\Phi$　⑥ $\dfrac{2e}{\pi R}\Delta\Phi$

（下　書　き　用　紙）

$\boxed{5}$の問は次に続く。

問4　このとき，円軌道R上の磁束密度の大きさの増加を ΔB（$\Delta B > 0$）とする。**問1**の結果から導かれる，電子の運動量の変化 Δp と ΔB の間の関係として，正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。$\Delta p =$ $\boxed{\quad 4 \quad}$

① $\dfrac{eR}{2}\Delta B$　　② $eR\Delta B$　　③ $\dfrac{eR}{2m}\Delta B$

④ $\dfrac{eR}{m}\Delta B$　　⑤ $\dfrac{e^2R^2}{4m}\Delta B^2$　　⑥ $\dfrac{e^2R^2}{2m}\Delta B^2$

磁束密度が一様な磁場の場合は，**問3**と**問4**で求めた条件を同時に満たすことができず，半径 R を一定に保った状態でリング内の電子を加速することができないことがわかる。そこで，図2のように，点Oを中心とした半径 r（$r < R$）の円より内側の磁束密度の大きさを B_2 に変え，時刻 $t = 0$ より，磁束密度の大きさをそれぞれ，「$B_1 = k_1t$，$B_2 = k_2t$」と時間的に変化させた。ここで，k_1，k_2 は正の定数で，$k_1 < k_2$ である。このとき，時刻 $t = 0$ でリング内に静止していた電子がリングの内壁に触れることなく，一定の半径 R を保ったまま次第に速さを増しながら円運動を開始した。

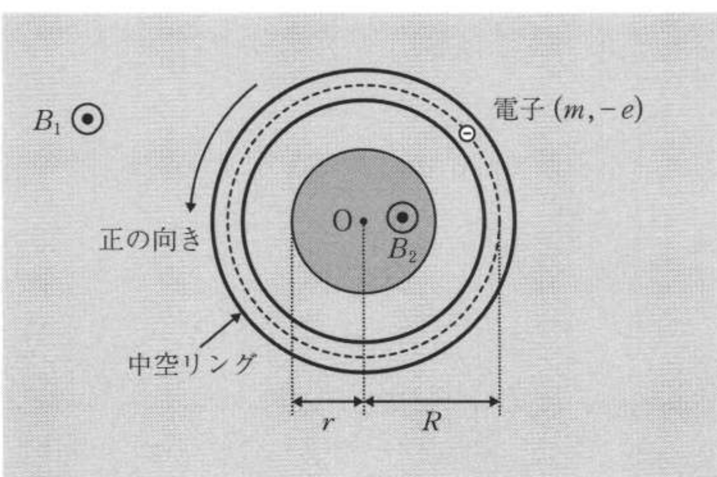

図2

（下　書　き　用　紙）

$\boxed{5}$の問は次に続く。

問5 磁束密度の大きさの係数 k_2 は k_1 の何倍か。正しいものを，次の①～⑥のうちから一つ選びなさい。$\dfrac{k_2}{k_1} = \boxed{\ 5\ }$

① $1+\dfrac{r}{R}$　　② $1+\dfrac{R}{r}$　　③ $1+\dfrac{r^2}{R^2}$

④ $1+\dfrac{R^2}{r^2}$　　⑤ $1+\dfrac{Rr}{R^2+r^2}$　　⑥ $1+\dfrac{2Rr}{R^2+r^2}$

（下　書　き　用　紙）