

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				

(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 ～ 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、 $v_A =$ ア , $v_B =$ イ と定まる。また、この衝突では、 $\theta + \phi =$ ウ rad となる。

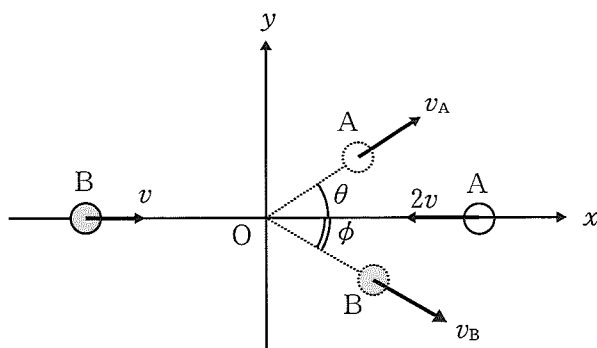


図1

	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 $C \text{ [J/K]}$ 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。 $C = \boxed{2} \text{ J/K}$

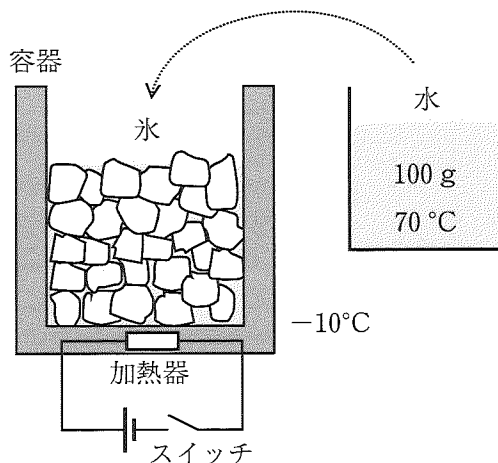


図2

- 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。

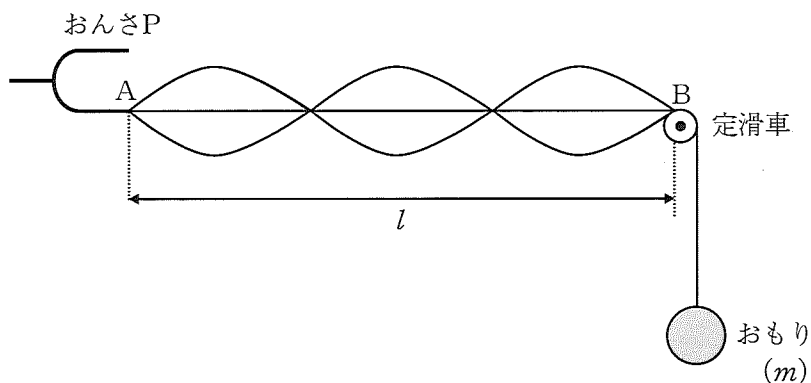


図3

	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。

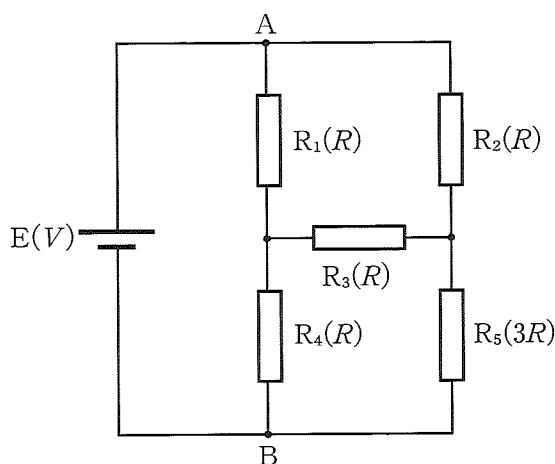


図4

	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。

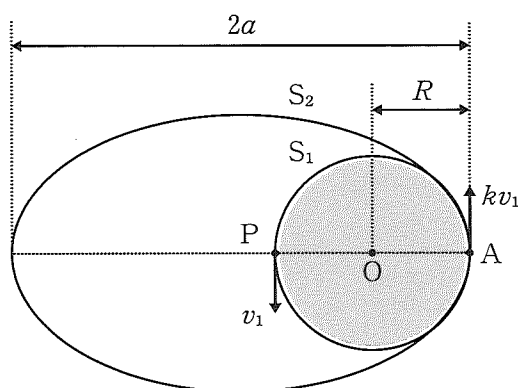


図1

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。 $\frac{E_2}{E_1} =$

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。

$T_2 =$ $\times T_1$

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。 $k =$

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。

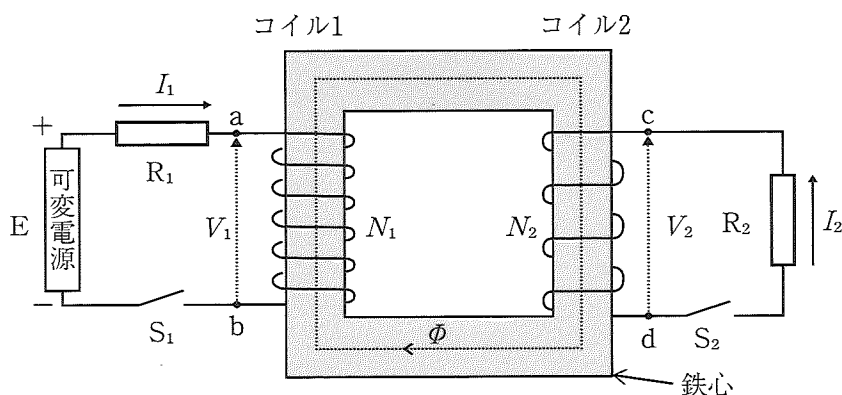


図1

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 [m³] 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→B→A を光路 I、光路 A→C→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。

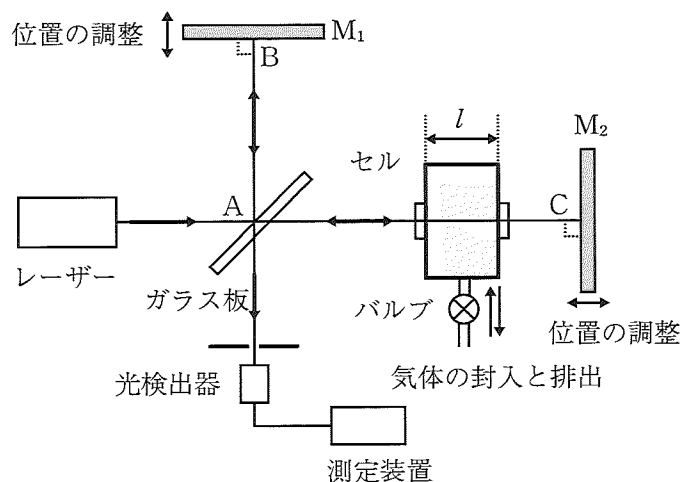


図 1

(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。

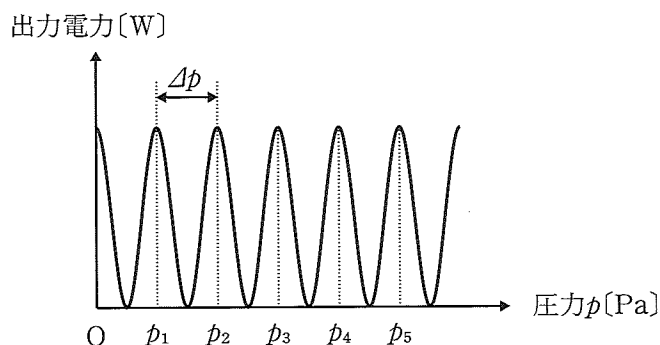


図 2

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。 $n_m = \boxed{2}$

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。 $\alpha = \boxed{3}$

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。 $\boxed{4}$

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。

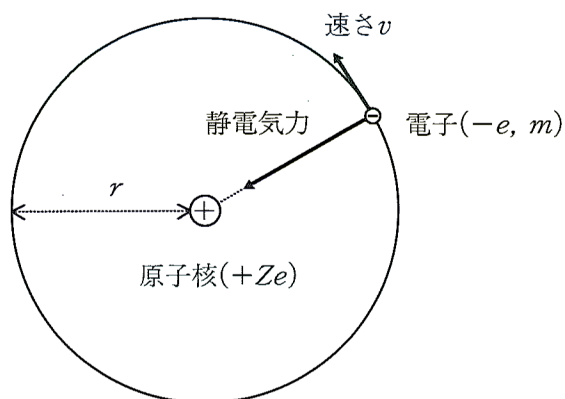


図 1

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に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に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)