

理 科

物 理： 1 ～ 10 ページ

化 学： 11 ～ 26 ページ

生 物： 27 ～ 38 ページ

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. 解答時間は2科目で120分間です。
3. 解答は、物理、化学、生物のうちから2科目を選び、選択した科目の解答用紙を使用して解答しなさい。解答用紙は物理（緑色）、化学（茶色）、生物（青色）です。
4. 解答用紙の記入にあたっては、解答用紙の注意事項を参照し、HBの鉛筆を使用して丁寧にマークしなさい。
5. 受験番号、氏名、フリガナを物理、化学、生物すべての解答用紙に記入しなさい。受験番号は記入例を参照して、正しくマークしなさい。
6. 選択しない科目の解答用紙には、記入例を参照して、非選択科目マーク欄にマークしなさい。
7. マークの訂正には、消しゴムを用い、消しくずは丁寧に取り除きなさい。
8. 試験開始後、ただちにページ数を確認し、落丁や印刷の不鮮明なものがあれば申し出なさい。
9. 試験終了後、物理、化学、生物すべての解答用紙を提出しなさい。問題冊子は持ち帰りなさい。
10. 解答用紙は折り曲げないようにしなさい。

解答用紙の受験番号記入例と非選択科目記入例

数字の位置	受 験 番 号				
	万	千	百	十	一
	1	2	3	4	5
0	①	①	①	①	①
1	②	①	①	①	①
2	②	②	②	②	②
3	③	③	③	③	③
4	④	④	④	④	④
5	⑤	⑤	⑤	⑤	⑤
6	⑥	⑥	⑥	⑥	⑥
7	⑦	⑦	⑦	⑦	⑦
8	⑧	⑧	⑧	⑧	⑧
9	⑨	⑨	⑨	⑨	⑨

物理を選択しないで、解答する場合

非選択科目マーク欄

（物理を選択しない
場合のみマーク
してください。） ➡ ②

物 理

次の

1

 ～

39

 の解答を解答欄にマークしなさい。ただし数値で解答する場合の最後の桁は四捨五入によって求めなさい。また、分数で解答する場合は、既約分数で答えなさい。＜解答群＞のあるものは最も適切なものを1つ選び、その番号をマークしなさい。

1 ある作業物質（気体など熱を仕事に変える作業のための物質）を容器の中に封入し、容器の外から温度や体積を変えるなどの操作を加えることを考える。この作業物質を静かに放置したとき温度 T 、体積 V において圧力 p は体積によらず $p = \frac{\sigma}{3} T^4$ で与えられ、内部エネルギー U は $U = \sigma VT^4$ となる。ただし σ は正の定数である。この作業物質においても熱力学第一法則が成り立つ。

まず作業物質を温度 T_1 、体積 V_1 で静かに放置したときの状態を状態1とよぶ。状態1から温度を T_1 に保ったまま体積が $16V_1$ になるまでゆっくりと作業物質を膨張させる。この操作が終わったときの状態を状態2とよぶ。

次に容器の内部と外部の間で熱のやりとりが行われないようにして、状態2から体積が $54V_1$ になるまでゆっくりと作業物質を膨張させる。このようなゆっくりとした断熱変化で、作業物質の状態は温度 T 、体積 V が $VT^3 = \text{一定}$ を満たすように変化する。この操作が終わったときの温度を T_3 とし、このときの状態を状態3とよぶ。

次に状態3から温度を T_3 に保ったまま体積が V_4 になるまでゆっくりと作業物質を圧縮し、このときの状態を状態4とよぶ。そしてその後作業物質をゆっくりと断熱変化によって圧縮して状態1まで戻す。

問1 状態1から状態2の間に作業物質が吸収した熱量は

1

2

 σV_1

3

 T_1

4

 である。

問2 $T_1 = 270\text{K}$ とすると $T_3 =$

5

6

7

 [K] である。

問 3 状態 2 から状態 3 の間に作業物質が外部にした仕事は

$$\frac{\boxed{8} \boxed{9}}{\boxed{10}} \sigma V_1^{\boxed{11}} T_1^{\boxed{12}} \text{ である。}$$

問 4 $V_1 = 2.00 \text{ m}^3$ とすると $V_4 = \boxed{13} . \boxed{14} \boxed{15} \text{ [m}^3\text{]}$ である。

問 5 この問題の方法で状態 1 から状態 2, 3, 4 を経て状態 1 に戻る熱機関の熱効率は $\boxed{16} . \boxed{17} \boxed{18}$ である。

2

I 図1のようなプリズムによる光の屈折を考える。プリズムは断面が小さな頂角 δ の二等辺三角形で、真空中に置かれている。プリズムの前面で入射角 α が小さくなるように単色光を入射させる。プリズムの前面での屈折角を β 、プリズムの後面での入射角を β' 、屈折角を α' とする。透過光と入射光のなす角 ϕ を $\delta, \alpha, \beta, \alpha', \beta'$ を用いて表すと $\phi = \boxed{19}$ となる。ここで α と δ は小さいので β, β', α' も小さくなり、 $\sin \alpha \doteq \alpha, \sin \beta \doteq \beta, \sin \beta' \doteq \beta', \sin \alpha' \doteq \alpha'$ と近似できる。プリズムの屈折率を $\frac{3}{2}$ とすると $\phi = \frac{\boxed{20}}{\boxed{21}} \delta$ となる。したがって、 ϕ は入射角 α が小さいとき α によらず一定とみなせる。

< $\boxed{19}$ の解答群 >

- ① $\alpha + \alpha' + \delta$ ② $\alpha - \alpha' + \delta$ ③ $\alpha + \alpha' - \delta$ ④ $\alpha - \alpha' - \delta$
 ⑤ $\beta + \beta' + \delta$ ⑥ $\beta - \beta' + \delta$ ⑦ $\beta + \beta' - \delta$ ⑧ $\beta - \beta' - \delta$

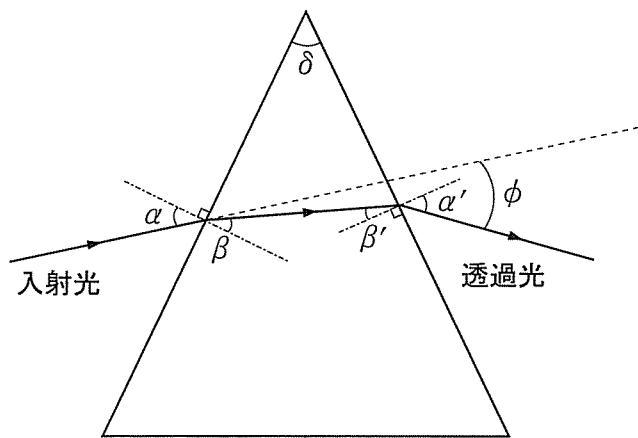


図1

II 図2のように真空中で水平方向に x 軸をとり、 x 軸に垂直に遮蔽板およびスクリーンを置く。遮蔽板には単スリット S_0 があり、 S_0 は x 軸上にある。さらに遮蔽板とスクリーンの間に複プリズムABCを置く。複プリズムABCは断面が直角三角形で小さな頂角 δ の同形のプリズムを2つ隙間なく接合したものであり、そのAB面は x 軸に垂直で、Cは x 軸上にある。遮蔽板から複プリズムまでの距離を L_p 、遮蔽板からスクリーンまでの距離を L_s とする。A, B間の距離は L_p, L_s に比べて十分小さい。

スリット S_0 に波長 λ の単色光を通す。このとき図 2 に示されるように、スリット S_0 を通過した後複プリズムの上半分で屈折した光は、遮蔽板上の位置 S_u から直進した光とみなせる。同様に複プリズムの下半分で屈折した光は遮蔽板上の位置 S_d から直進した光とみなせる。位置 S_u , S_d 間の距離 d は複プリズムの屈折率を n として 22 と表せる。ここで δ は小さいので複プリズムを通過する前後の光線のなす角 ϕ も小さく、 $\sin \phi \simeq \tan \phi \simeq \phi$ と近似できる。スクリーン上には干渉縞が観測されるが、 $d = 3\text{mm}$, $L_s = 1\text{m}$, $\lambda = 6 \times 10^{-7}\text{m}$ であるときスクリーン上に生じる明線の数 1mm あたり約 23 本となる。

< 22 の解答群 >

- | | | |
|------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| ① $\frac{1}{2} L_p (n + 1) \delta$ | ② $L_p (n + 1) \delta$ | ③ $2L_p (n + 1) \delta$ |
| ④ $\frac{1}{2} L_p n \delta$ | ⑤ $L_p n \delta$ | ⑥ $2L_p n \delta$ |
| ⑦ $\frac{1}{2} L_p (n - 1) \delta$ | ⑧ $L_p (n - 1) \delta$ | ⑨ $2L_p (n - 1) \delta$ |

< 23 の解答群 >

- | | | | |
|-----------------|------|------|------|
| ① $\frac{1}{2}$ | ② 1 | ③ 2 | ④ 5 |
| ⑤ 8 | ⑥ 10 | ⑦ 15 | ⑧ 20 |

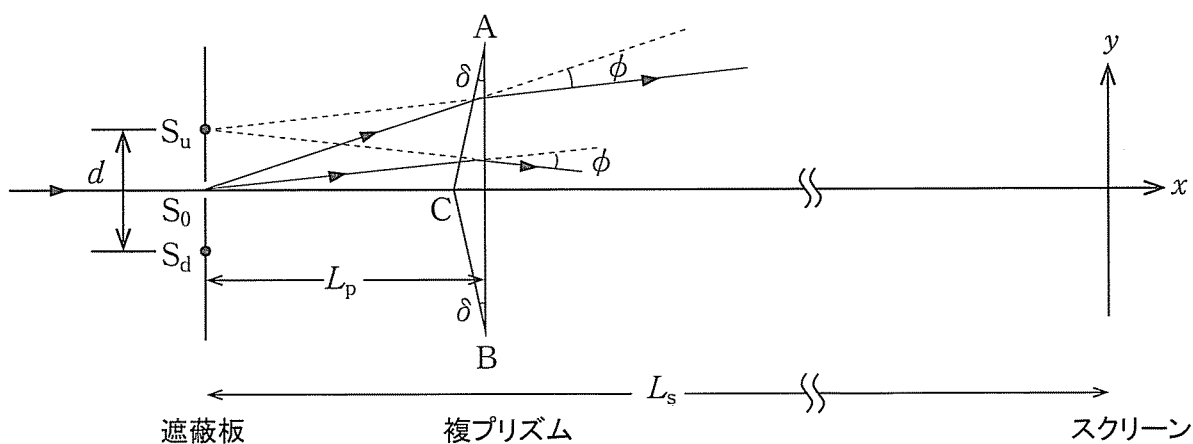


図 2

3 図1のように水平な天井に滑車1が固定されている。質量の無視できる伸び縮みしないベルトを滑車1ともうひとつ別の滑車2にかけて一端を天井に固定する。そしてベルトの他端に質量 $2m$ のおもり1を取り付ける。また滑車2の中心には質量 m のおもり2を鉛直に吊るす。おもり1を静かに放したところ、ベルトはぴんと張り、おもり1は静かに下降し始めた。このとき、ベルトの滑車にかかっていない部分は全て鉛直方向を向いていた。重力加速度の大きさを g とし、滑車の質量および滑車とベルトの間の摩擦は無視する。

問1 ベルトにかかる張力を T とおく。滑車2がベルトから受ける力を合計すると、その大きさは 24 T である。

問2 おもり1の加速度は鉛直下向きを正として $\frac{\text{25}}{\text{26}} g$ である。

次に、ベルトの右側を図2のように滑車1と全く同じ形で同じ高さに設置された滑車3に通し、ベルトの滑車1と3の間の部分を滑車の上端と同じ高さの水平な動かない台にのせる。そしてベルトの台にのった部分の上に質量 M の荷物をのせる。このときベルトの滑車にかかっていない部分は全て鉛直方向または水平方向を向いている。荷物とベルト、およびベルトと台の間には摩擦が生じ、ベルトと台の間の動摩擦係数は $\frac{3}{4}$ とする。荷物が台の端に到達することや、滑車2が滑車1に触れることは考えなくてよい。また、ベルトはぴんと張ったままであると仮定してよい。

問3 ある瞬間におもり1は下降していて、荷物はベルトから見て静止している。このとき、荷物とベルトの間に静止摩擦力が働いていると仮定すると、

おもり1の加速度は鉛直下向きを正として $\frac{\text{27}}{\text{29}} m - \frac{\text{28}}{\text{30}} \frac{M}{m} g$ となり、

したがって荷物とベルトの間の静止摩擦係数が $\frac{\text{31}}{\text{32}}$ より大きければ、荷物の質量にかかわらずベルトから見て荷物はすべり出さない。

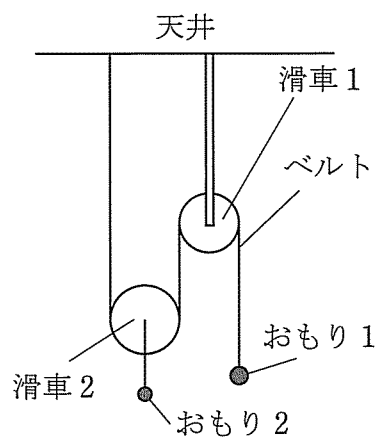


図 1

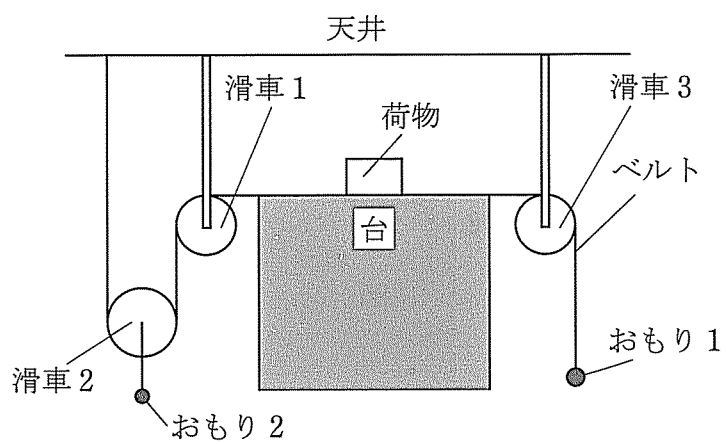
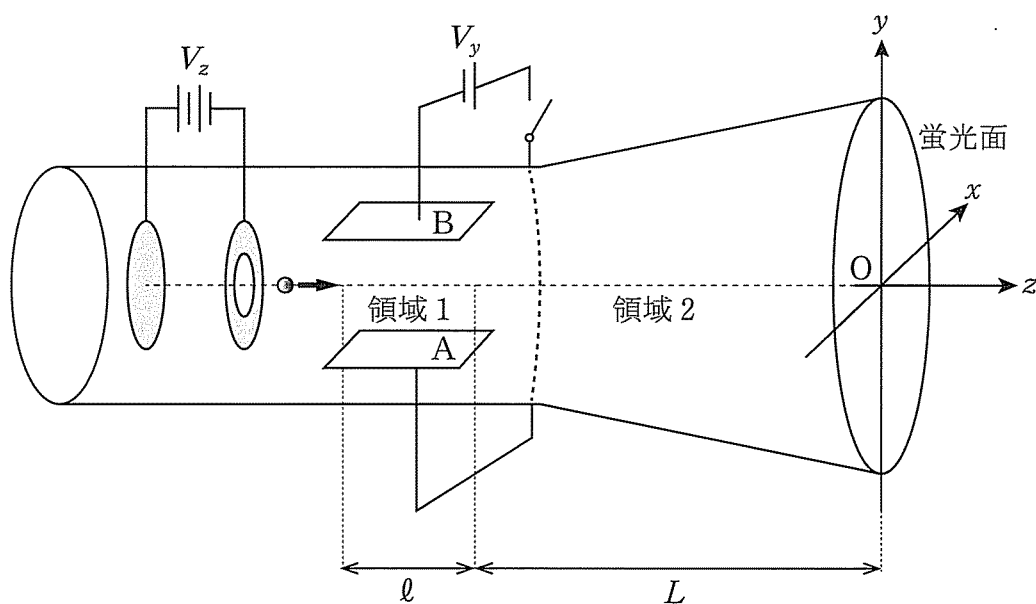


図 2

- 4 図のような厚さが無視できる平板状の蛍光面のついた真空管における荷電粒子の運動を考える。蛍光面が水平な床に対して垂直になるように装置を置き、蛍光面の中心を原点 O とする。蛍光面に垂直に z 軸，蛍光面上の水平方向に x 軸，鉛直方向に y 軸をとる。電荷 q ($q > 0$)，質量 m の静止した荷電粒子が z 軸方向に加えた電圧 V_z により加速されて蛍光面に向かって運動する。そしてこの粒子は，水平に置かれた平行板コンデンサーの電極 A と B に挟まれた領域 1 を通過する。電極 AB 間の距離を d ，電極 A, B の z 軸方向の長さを ℓ とする。その後粒子は z 軸方向の長さが L の領域 2 を通過し，蛍光面に衝突する。はじめ領域 1 と 2 には電界（電場）も磁界（磁場）も存在せず，このとき粒子は原点 O で衝突する。重力の影響は無視できるものとする。



図

問 1 電圧 V_z を 2 倍にすると加速後の粒子の速さは 33 倍になる。

< 33 の解答群 >

- | | | | |
|-----------------|------------------------|-----|---------------|
| ① $\frac{1}{2}$ | ② $\frac{1}{\sqrt{2}}$ | ③ 1 | ④ $\sqrt{2}$ |
| ⑤ 2 | ⑥ $2\sqrt{2}$ | ⑦ 4 | ⑧ $4\sqrt{2}$ |

問 2 つぎに電極 AB 間に電圧 V_y ($V_y > 0$) を加えて粒子の運動を観測する。電極間を通過した直後の粒子の y 座標は 34 となる。その後粒子は領域 2 を通り、座標 $(0, \text{34 + \text{35}, 0)$ の点で蛍光面に衝突する。

< 34 の解答群 >

- | | | | |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| ① $\frac{V_y \ell^2}{4dV_z}$ | ② $\frac{V_y \ell^2}{2dV_z}$ | ③ $\frac{V_z \ell^2}{4dV_y}$ | ④ $\frac{V_z \ell^2}{2dV_y}$ |
| ⑤ $\frac{V_y \ell}{4V_z}$ | ⑥ $\frac{V_y \ell}{2V_z}$ | ⑦ $\frac{V_z \ell}{4V_y}$ | ⑧ $\frac{V_z \ell}{2V_y}$ |

< 35 の解答群 >

- | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| ① $\frac{\ell LV_y}{4dV_z}$ | ② $\frac{\ell LV_y}{2dV_z}$ | ③ $\frac{\ell LV_y}{\sqrt{2} dV_z}$ | ④ $\frac{\ell LV_y}{2\sqrt{2} dV_z}$ |
| ⑤ $\frac{\ell LV_z}{4dV_y}$ | ⑥ $\frac{\ell LV_z}{2dV_y}$ | ⑦ $\frac{\ell LV_z}{\sqrt{2} dV_y}$ | ⑧ $\frac{\ell LV_z}{2\sqrt{2} dV_y}$ |

問 3 領域 1 にさらに一様な磁界を加え粒子の運動を再び観測したところ、粒子は直進し、原点 O で蛍光面に衝突した。このとき加えた磁界の向きは 36 の向きであり、その磁束密度の大きさ B_1 は $B_1 = \text{37}$ となる。

< 36 の解答群 >

- | | | |
|-----------|-----------|-----------|
| ① x 軸の正 | ② x 軸の負 | ③ y 軸の正 |
| ④ y 軸の負 | ⑤ z 軸の正 | ⑥ z 軸の負 |

< 37 の解答群 >

- | | | | |
|---|---|---|--|
| ① $\sqrt{\frac{m}{4qV_z}} \frac{V_y}{d}$ | ② $\sqrt{\frac{m}{2qV_z}} \frac{V_y}{d}$ | ③ $\sqrt{\frac{m}{qV_z}} \frac{V_y}{d}$ | ④ $\sqrt{\frac{2m}{qV_z}} \frac{V_y}{d}$ |
| ⑤ $\sqrt{\frac{4m}{qV_z}} \frac{V_y}{d}$ | ⑥ $\sqrt{\frac{m}{4qV_z}} \frac{V_y}{\ell}$ | ⑦ $\sqrt{\frac{m}{2qV_z}} \frac{V_y}{\ell}$ | ⑧ $\sqrt{\frac{m}{qV_z}} \frac{V_y}{\ell}$ |
| ⑨ $\sqrt{\frac{2m}{qV_z}} \frac{V_y}{\ell}$ | ⑩ $\sqrt{\frac{4m}{qV_z}} \frac{V_y}{\ell}$ | | |

問 4 つぎに領域 1 の磁界を 0 にし、領域 2 に z 軸の正の向きに一樣な磁界を加え、粒子の運動を再び観測する。磁束密度の大きさ B_2 が $B_2 = \boxed{38}$ または $B_2 = \boxed{39}$ であれば、粒子は座標 $(0, \boxed{34}, 0)$ の点で蛍光面に衝突する。($\boxed{38}$, $\boxed{39}$ の解答順は問わない)

< $\boxed{38}$, $\boxed{39}$ の解答群 >

- | | | |
|--|--|--|
| ① $\frac{2\sqrt{2}\pi}{L}\sqrt{\frac{mV_z}{q}}$ | ② $\frac{3\sqrt{2}\pi}{L}\sqrt{\frac{mV_z}{q}}$ | ③ $\frac{4\sqrt{2}\pi}{L}\sqrt{\frac{mV_z}{q}}$ |
| ④ $\frac{2\sqrt{2}\pi}{d}\sqrt{\frac{mV_y^2}{qV_z}}$ | ⑤ $\frac{3\sqrt{2}\pi}{d}\sqrt{\frac{mV_y^2}{qV_z}}$ | ⑥ $\frac{4\sqrt{2}\pi}{d}\sqrt{\frac{mV_y^2}{qV_z}}$ |
| ⑦ $2\sqrt{2}\pi\sqrt{\frac{mV_y}{qdL}}$ | ⑧ $3\sqrt{2}\pi\sqrt{\frac{mV_y}{qdL}}$ | ⑨ $4\sqrt{2}\pi\sqrt{\frac{mV_y}{qdL}}$ |

[計算用余白]