

物 理

解答はすべて解答用紙の指定された場所に記入すること。

I. 次の各設問の に該当する最も適切な答えの番号を、解答群から選び、解答欄の指定の位置をマークせよ。

気球から落下する小球の運動について、地面に静止した観測者の立場で考えよう。気球は、時刻 0 s に地面から初速度 0 m/s で、鉛直上向きに一定の加速度で上昇をはじめた。重力加速度の大きさは 10.0 m/s^2 であるとして、以下の問いに答えよ。なお、気球の大きさは考えず、空気抵抗は無視できるものとする。解答の際は最も近い値を選択すること。

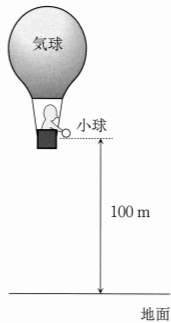


図 1

問 1 図 1 に示すように、気球にのせた小球は時刻 40.0 s に地面からの高さが 100 m の点を通過した。このことから、この気球の加速度の大きさは地面に静止した観測者から見ると m/s^2 であることがわかる。

ア)の解答群

- | | | |
|---------|---------|--------|
| ① 0.125 | ② 0.250 | ③ 1.00 |
| ④ 2.50 | ⑤ 10.0 | ⑥ 11.0 |

問 2 小球の地面からの高さが 100 m に達した時点 (時刻 40.0 s) で、気球から小球を静かにはなした。小球をはなした瞬間の小球の速さは、地面に静止した観測者から見ると m/s である。

イ)の解答群

- | | | |
|--------|--------|--------|
| ① 0.00 | ② 2.50 | ③ 5.00 |
| ④ 10.0 | ⑤ 12.5 | ⑥ 20.0 |

問 3 地面に静止した観測者から見て、小球が最高点に達するのは、小球をはなしてから 秒後である。

ウ)の解答群

- | | | |
|--------|---------|--------|
| ① 0.00 | ② 0.500 | ③ 1.00 |
| ④ 2.00 | ⑤ 5.00 | ⑥ 10.0 |

問4 小球が地面に到達するのは、小球をはなしてから \square (エ) 秒後である。
 また、地面に到達する直前の小球の速さは、地面に静止した観測者から見ると \square (オ) m/s である。

(エ)の解答群

- | | | |
|--------|--------|--------|
| ① 4.00 | ② 4.50 | ③ 5.00 |
| ④ 10.0 | ⑤ 20.0 | ⑥ 40.0 |

(オ)の解答群

- | | | |
|--------|--------|--------|
| ① 10.0 | ② 20.0 | ③ 35.0 |
| ④ 45.0 | ⑤ 40.0 | ⑥ 50.0 |

II. 次の各設問の \square に該当する最も適切な答えの番号を、解答群から選び、解答欄の指定の位置をマークせよ。

容器Aと容器Bが図2のように細管でつながれていて、コックが閉じられている。容器Aの体積は V 、容器Bの体積は $4V$ である。いま、容器Aに圧力 p 、絶対温度 T の気体を、容器Bに圧力 $3p$ 、絶対温度 $3T$ の気体を入れた。気体と容器との熱のやりとりはなく、細管の体積は無視できるものとする。気体は単原子分子からなる理想気体とし、気体定数を R とする。

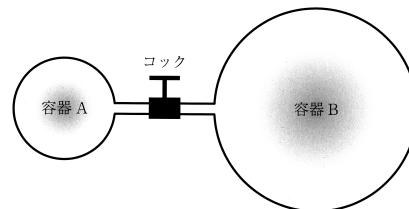


図2

問1 容器 A と容器 B 内のそれぞれの気体の物質量 n_A 、 n_B の組み合わせとして正しいものは である。

カ)の解答群

| | n_A | n_B |
|---|----------------------|----------------------|
| ① | $\frac{\rho V}{2RT}$ | $\frac{2\rho V}{RT}$ |
| ② | $\frac{\rho V}{RT}$ | $\frac{4\rho V}{RT}$ |
| ③ | $\frac{\rho V}{RT}$ | $\frac{2\rho V}{RT}$ |
| ④ | $\frac{RT}{2\rho V}$ | $\frac{2RT}{\rho V}$ |
| ⑤ | $\frac{RT}{\rho V}$ | $\frac{4RT}{\rho V}$ |
| ⑥ | $\frac{RT}{\rho V}$ | $\frac{2RT}{\rho V}$ |

問2 容器 A 内の気体の内部エネルギーは である。

キ)の解答群

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

問3 容器 B 内の気体の内部エネルギーは である。

ク)の解答群

- ① $15\rho V$ ② $18\rho V$ ③ $21\rho V$
 ④ $24\rho V$ ⑤ $27\rho V$ ⑥ $30\rho V$

つぎに、コックをゆっくり開くと、両容器内の気体はやがて平衡状態に達した。

問4 気体の絶対温度は である。

ケ)の解答群

- ① $\frac{7}{5}T$ ② $\frac{5}{3}T$ ③ $\frac{9}{5}T$
 ④ $\frac{11}{5}T$ ⑤ $\frac{7}{3}T$ ⑥ $\frac{13}{5}T$

問5 気体の圧力は である。

コ)の解答群

- ① $\frac{7}{5}\rho$ ② $\frac{5}{3}\rho$ ③ $\frac{9}{5}\rho$
 ④ $\frac{11}{5}\rho$ ⑤ $\frac{7}{3}\rho$ ⑥ $\frac{13}{5}\rho$

Ⅲ. 次の各設問の に該当する最も適切な答えの番号を、解答群から選び、解答欄の指定の位置をマークせよ。

図3-1は、ある豆電球の電流-電圧特性を示したグラフである。

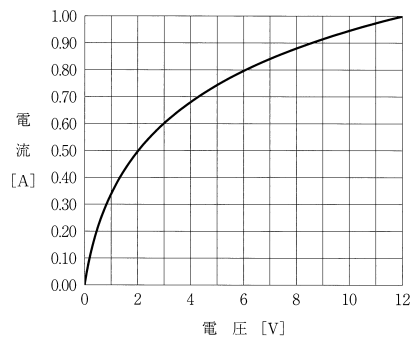


図3-1

問1 図3-1の電流-電圧特性を持つ豆電球を、図3-2のように、抵抗値 $15\ \Omega$ の抵抗、起電力 $12\ \text{V}$ で内部抵抗が無視できる直流電源に接続し、豆電球に流れる電流を i [A]、豆電球の両端の電圧を V [V] とする。図3-2の回路において、 $15\ \Omega$ の抵抗の両端の電圧は [V] であるから、キルヒホッフの第2法則より i と V の関係は となる。

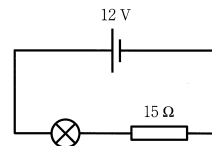


図3-2

(イ)の解答群

- | | | |
|--------|---------|---------|
| ① $5i$ | ② $15i$ | ③ $10i$ |
| ④ $4i$ | ⑤ $12i$ | ⑥ $2i$ |

(シ)の解答群

- | | | |
|------------------|------------------|------------------|
| ① $V + 15i = 12$ | ② $15V + i = 12$ | ③ $V + 12i = 12$ |
| ④ $12V + i = 12$ | ⑤ $4V + 3i = 12$ | ⑥ $3V + 4i = 12$ |

問2 つぎに、同じ豆電球を、図3-3のように、抵抗値 $10\ \Omega$ の抵抗、内部抵抗が無視できる直流電源に接続し、豆電球に流れる電流を i' [A]、豆電球の両端の電圧を V' [V]とする。図3-3のように電源から $0.70\ \text{A}$ の電流が流れ出たとすると、 $10\ \Omega$ の抵抗を流れる電流は [A]であるから、キルヒホッフの第1法則より i' と V' の関係は となる。

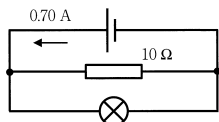


図3-3

ㄈの解答群

- ① $\frac{V'}{0.70}$ ② $0.70V'$ ③ $\frac{V'}{15}$
 ④ $10V'$ ⑤ $\frac{V'}{12}$ ⑥ $\frac{V'}{10}$

ㄗの解答群

- ① $i' + \frac{V'}{12} = 0.70$ ② $10i' + \frac{V'}{15} = 0.70$
 ③ $i' + \frac{V'}{10} = 0.70$ ④ $10i' + 0.70V' = 0.70$
 ⑤ $i' + 10V' = 0.70$ ⑥ $10i' + V' = 0.70$

問3 問1における図3-2の豆電球に流れる電流 i [A]と、問2における図3-3の豆電球の両端の電圧 V' [V]の正しい組み合わせは である。

ㄨの解答群

| | | |
|---|----------------------|----------------------|
| ① | $i = 0.60\ \text{A}$ | $V' = 2.0\ \text{V}$ |
| ② | $i = 0.70\ \text{A}$ | $V' = 7.0\ \text{V}$ |
| ③ | $i = 0.80\ \text{A}$ | $V' = 6.0\ \text{V}$ |
| ④ | $i = 0.50\ \text{A}$ | $V' = 2.0\ \text{V}$ |
| ⑤ | $i = 0.40\ \text{A}$ | $V' = 3.0\ \text{V}$ |
| ⑥ | $i = 0.90\ \text{A}$ | $V' = 9.0\ \text{V}$ |

IV. 次の各設問の に該当する最も適切な答えの番号を、解答群から選び、解答欄の指定の位置をマークせよ。

地表から火星などへ探査機を打ち上げる場合、地球の重力を振り切って飛行し続けるためには、少なくとも第2宇宙速度と呼ばれる速さが必要である。そこで、図4に示すように、探査機を地表から鉛直上向きに打ち上げることを想定して考えてみる。

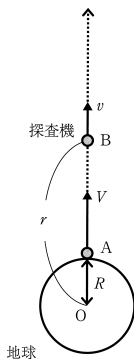


図4

地表から打ち上げる速さを V とし、地球の質量を M 、地球の半径を R 、探査機の質量を m 、地球の中心 O と探査機の距離が r になったときの探査機の速さを v 、万有引力定数を G 、地表での重力加速度の大きさを g とする。また、地球は点 O を重心とする球形であり、地球の運動や大気による影響は無視でき、探査機は地球と比較して十分に小さいとする。

問1 万有引力による位置エネルギーの基準点を無限遠とする。すると、打ち上げ直後(図4のA)における探査機が持つ力学的エネルギーは (イ) である。また、打ち上げられた探査機が地球の中心から r 離れた位置(図4のB)を飛行しているときの探査機が持つ力学的エネルギーは (ロ) である。

したがって、力学的エネルギー保存の法則から

$$\text{イ)} = \text{ロ)}$$

の関係が成り立つ。

イ)の解答群

- ① $mV + G\frac{Mm}{R^2}$ ② $mV - G\frac{Mm}{R^2}$ ③ $\frac{1}{2}mV^2 - G\frac{Mm}{R^2}$
 ④ $\frac{1}{2}mV^2 + G\frac{Mm}{R^2}$ ⑤ $\frac{1}{2}mV^2 - G\frac{Mm}{R}$ ⑥ $\frac{1}{2}mV^2 + G\frac{Mm}{R}$

ロ)の解答群

- ① $mv + G\frac{Mm}{r^2}$ ② $mv - G\frac{Mm}{r^2}$ ③ $\frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{r^2}$
 ④ $\frac{1}{2}mv^2 + G\frac{Mm}{r^2}$ ⑤ $\frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{r}$ ⑥ $\frac{1}{2}mv^2 + G\frac{Mm}{r}$

探査機が地球から離れるにつれて r が大きくなるので、探査機の位置エネルギーは0に近づき速さ v は減少する。探査機が地球へ引き戻されないためには、 r が無限大になったときに $v \geq 0$ であれば良いので、 V は (ウ) の条件を満たす必要がある。

ウ)の解答群

- ① $V \geq \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ ② $V < \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ ③ $V < \sqrt{\frac{R}{2GM}}$
 ④ $V \geq \sqrt{\frac{R}{2GM}}$ ⑤ $V \geq \sqrt{\frac{2GM}{R}}$ ⑥ $V < \sqrt{\frac{2GM}{R}}$

問2 問1で得られた結果を利用して冒頭で述べた第2宇宙速度の値を求めてみる。探査機が打ち上げ直前に地表にあるとき、探査機に作用する重力と、探査機と地球の間にはたらく万有引力は等しいとすると、

$$GM = \boxed{\text{ア}}$$

の関係が得られる。

ア)の解答群

- ① \sqrt{gR} ② $\sqrt{\frac{g}{R}}$ ③ $\sqrt{\frac{R}{g}}$
④ gR^2 ⑤ gR ⑥ g^2R

地球の半径 $R=6.4 \times 10^6$ m、地表での重力加速度の大きさ $g=9.8$ m/s² とすると、第2宇宙速度は $\boxed{\text{イ}}$ m/s となる。

イ)の解答群

- ① 8.5×10^3 ② 1.1×10^4 ③ 1.4×10^4
④ 1.6×10^4 ⑤ 2.0×10^4 ⑥ 2.3×10^4