

平成 28 年 度

# 理 科

物	理	1 ページ～ 8 ページ
化	学	9 ページ～18 ページ
生	物	19 ページ～29 ページ

## 注意事項

1. 監督者の許可があるまでは、中を見てはいけない。
2. 問題冊子に欠けている部分や印刷が不鮮明な箇所などがあれば申し出ること。
3. 解答用紙は、物理(その1, その2), 化学(その1～その4), 生物(その1～その4)の3科目分を綴ってある。

解答を始める前に、自分の選択する2科目に関係なく全科目の解答用紙に必ず受験番号を記入すること。なお、受験票の理科受験科目届の○で囲んだ科目以外を解答した場合は採点されないので注意すること。

4. 解答は、必ず解答用紙の所定の解答欄に記入すること。
5. 問題用紙の余白は、計算用紙として利用してもよい。

## 物 理

1 図1のように、水平な床の上の鉛直面内に、小物体をなめらかにすべらせることのできる一回転のループを含む曲線レールPQRSTUがある。頂点Pは床から高さ $h$ にあり、点Rは水平直線部分QS上にある。ループの半径は $\frac{h}{4}$ であり、ループの最高点を点Tとする。いま、点Pから質量 $M$ の小物体1を静かにはなして、レール上をすべらせた。重力加速度を $g$ とし、小物体と曲線レールとの間の摩擦や空気抵抗は無視できるものとして、以下の問いに答えよ。根号を用いてよい。

問 1 小物体1が点Rを通過するときの速さ $V_R$ を求めよ。

問 2 小物体1がループの最高点Tを通過するときの速さ $V_T$ を求めよ。また、このときに小物体1にはたらく垂直抗力の大きさ $N$ を求めよ。

次に、点Rに質量 $m$ の小物体2を置き、点Pから静かにはなした小物体1と衝突させた。衝突は弾性衝突であるとする。

問 3 衝突直後の小物体1の速度を $V_1$ 、小物体2の速度を $V_2$ とする。 $V_1$ 、 $V_2$ をそれぞれ問1の $V_R$ を用いて表せ。右向きを正とする。

問 4 衝突後、小物体2がループの最高点Tを通過するためには、小物体2と小物体1の質量の比 $\frac{m}{M}$ がある値以下でなければならない。この $\frac{m}{M}$ の最大値を求めよ。

問 5 衝突後、小物体1が前方へ進むための条件を $M$ と $m$ を用いて表せ。

問 6 衝突後，小物体 1 がループの最高点 T を通過するためには，小物体 2 と小物体 1 の質量の比  $\frac{m}{M}$  がある値以下でなければならない。この  $\frac{m}{M}$  の最大値を求めよ。

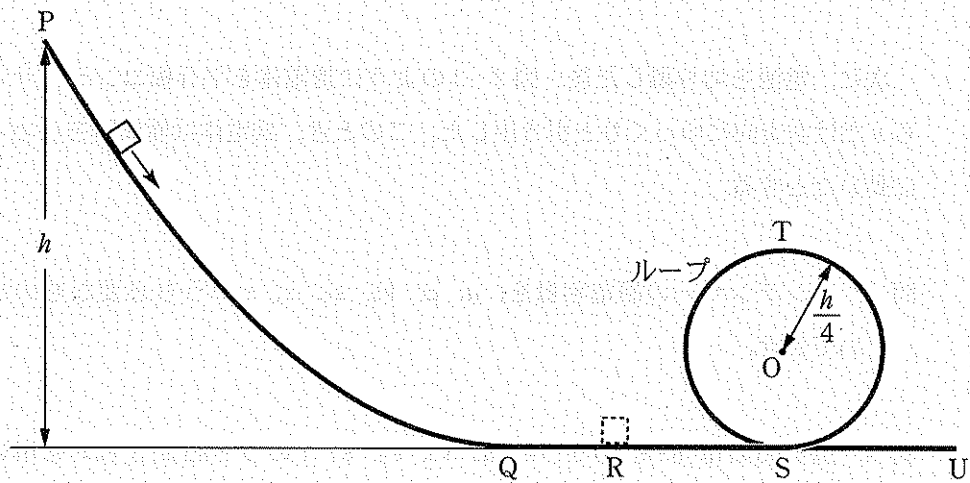


図 1

2 一辺の長さが  $a$  の正方形の極板 2 枚を間隔  $d$  だけ隔てて配置し、その間を極板と同じ大きさの正方形で厚さが  $d$  の誘電体で隙間なく満たして平行板コンデンサーを作製した。図 2-1 のように、真空中でこのコンデンサーを内部抵抗の無視できる起電力  $V_0$  の電池に接続した。十分に時間が経過したとして、以下の問いに答えよ。ただし、 $d$  は  $a$  と比べて十分に小さいとする。また、真空の誘電率を  $\epsilon_0$ 、誘電体の誘電率を  $\epsilon$  とせよ。

問 1 コンデンサーの静電容量およびコンデンサーに蓄えられた電荷を求めよ。

問 2 コンデンサーに蓄えられている静電エネルギー  $U_0$  を、 $a$ 、 $d$ 、 $V_0$ 、 $\epsilon_0$ 、 $\epsilon$  のうち必要なものを用いて表せ。

次に、電池を切り離れた後、図 2-2 のように誘電体を平行板コンデンサーから  $x$  だけ右方向にゆっくりと引き出した。このとき、誘電体は極板間をなめらかに動いたとする。

問 3 コンデンサーの静電容量を、 $a$ 、 $d$ 、 $V_0$ 、 $\epsilon_0$ 、 $\epsilon$ 、 $x$  のうち必要なものを用いて表せ。

問 4 極板間の電界(電場)を、 $a$ 、 $d$ 、 $V_0$ 、 $\epsilon_0$ 、 $\epsilon$ 、 $x$  のうち必要なものを用いて表せ。

問 5 コンデンサーの静電エネルギー  $U$  を、 $a$ 、 $d$ 、 $\epsilon_0$ 、 $\epsilon$ 、 $U_0$ 、 $x$  のうち必要なものを用いて表せ。

- 問 6 誘電体の比誘電率( $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ )が7のとき、誘電体を引き抜くことによる静電エネルギー  $U$  の変化を、 $0 \leq x \leq a$  の範囲でグラフに示せ。グラフには  $x = a$  に対応する  $U$  の値を明記せよ。

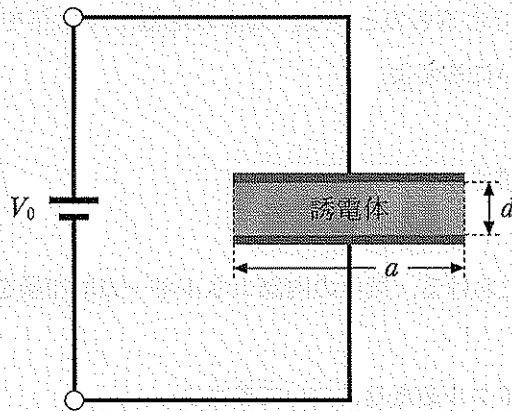


図 2-1

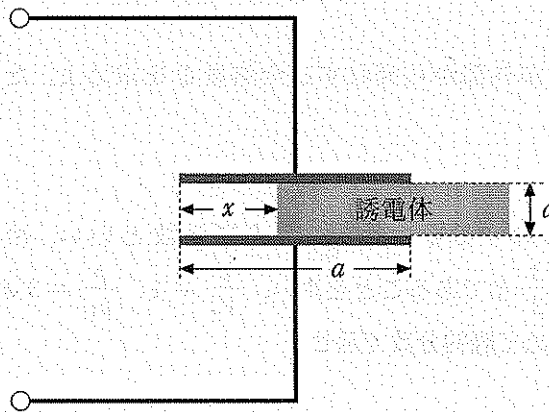


図 2-2

3 1モルの単原子分子理想気体をピストンのついたシリンダーの中に閉じ込めて、図3のグラフで示されるように、状態Aから始めてA→B→C→D→Aの順に、4つの過程によって状態Aに戻るサイクルを考える。これは、外部から熱を吸収して後に放出する、冷却サイクルとなっている。状態Aでの圧力と体積をそれぞれ $p_0$ 、 $V_0$ とし、状態BとCでの体積を $V(> V_0)$ 、状態CとDでの圧力を $p(> p_0)$ とする。ピストンはなめらかに動き、熱の漏れなどによるエネルギーの損失は無視できるものとする。気体の定積モル比熱を $C_V$ 、気体定数を $R$ として、以下の問いに答えよ。

問1 状態Cの温度を求めよ。

問2 過程A→Bにおける、気体の内部エネルギーの増加量を求めよ。

以下では、1サイクルあたりについて答えよ。

問3 外力がする正味の仕事 $W$ を求めよ。

問4 気体が外部から吸収する全熱量 $Q$ を求めよ。ただし、放出分は含まない。

問5  $W$ に対する $Q$ の比 $\frac{Q}{W}$ は成績係数といい、冷却器の性能を表す。 $C_V = \frac{3}{2}R$ であることを用い、 $\frac{V}{V_0} = 4$ 、 $\frac{p}{p_0} = 3$ の場合の成績係数 $\frac{Q}{W}$ の値を求めて既約分数で示せ。

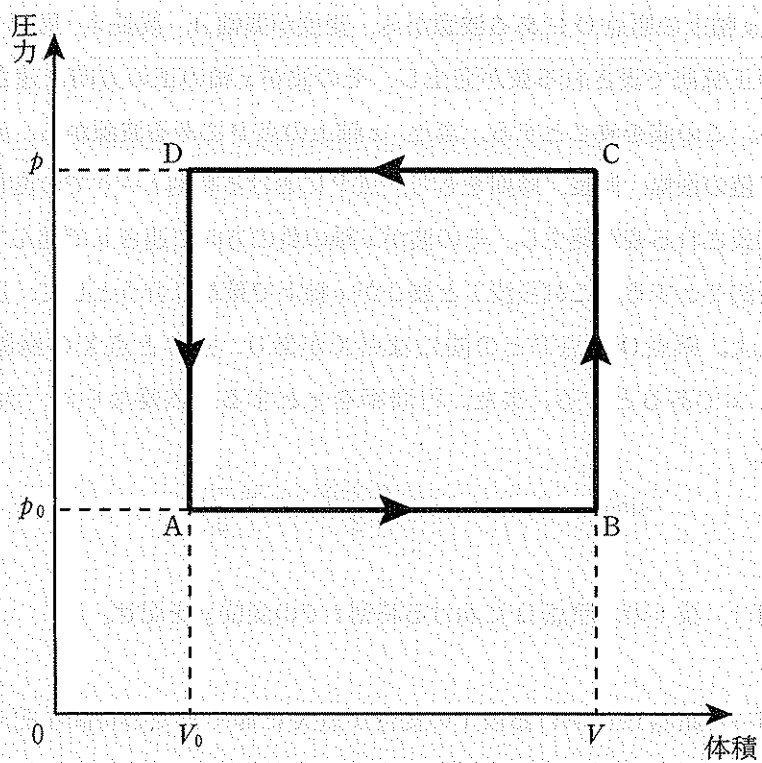


图 3

- 4  $x$  軸上の原点  $O$  にある波源から、変位が振幅  $A$ 、波長  $\lambda$ 、周期  $T$ 、初期位相  $0$  の正弦波で表される波が発生し、その波が  $x$  軸の正の方向に速さ  $v$  で進んでいる。この波を波 1 とする。また、 $x$  軸上の点  $P$  にある波源から、変位が波 1 と同じ値の振幅、波長、周期をもち、点  $P$  における時刻  $t = 0$  での位相が  $0$  の正弦波で表される波が発生し、その波が  $x$  軸の負の方向に速さ  $v$  で進んでいる。この波を波 2 とする。これら波 1 と波 2 が  $x$  軸上で重なり合うとして、以下の問いに答えよ。原点  $O$  と点  $P$  との間には点  $X$  があり、点  $P$  と点  $X$  の座標は、それぞれ  $a$ 、 $x$  であるとする。また、円周率を  $\pi$  とする。必要ならば、次の公式を用いよ。

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}$$

- 問 1 波 1 の、原点  $O$  における時刻  $t$  での変位  $y$  を記せ。
- 問 2 原点  $O$  における波 1 の変位が点  $X$  に届くまでの時間を記せ。また、波 1 の、点  $X$  における時刻  $t$  での変位  $y_1$  を記せ。
- 問 3 波 2 の、点  $X$  における時刻  $t$  での変位  $y_2$  を記せ。
- 問 4 波 1 と波 2 の合成波を波 3 とする。波 3 の、点  $X$  における時刻  $t$  での変位  $y_3$  を三角関数の積で表せ。
- 問 5 波 3 は定常波(定在波)で、 $x = \frac{3}{4}a$  では節となっていた。 $a$  を、自然数  $n$  と  $\lambda$  を用いて表せ。
- 問 6 問 5 で、 $0 < a < 3\lambda$  とする。 $x = \frac{3}{4}a$  以外で節となっている  $x$  を、 $a$  を用いて表せ。

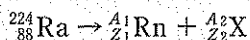


5 静止している ${}^{224}_{88}\text{Ra}$  およびその $\alpha$ 崩壊について、以下の問いに答えよ。なお、Ra はラジウムである。陽子の質量を  $m_p$ 、中性子の質量を  $m_n$ 、真空中の光の速さを  $c$ 、プランク定数を  $h$  とする。

問 1  ${}^{224}_{88}\text{Ra}$  の原子核の質量を  $m_{\text{Ra}}$  とするとき、質量欠損  $\Delta m$  を求めよ。

問 2  ${}^{224}_{88}\text{Ra}$  原子核の 1 核子あたりの結合エネルギーを、 $\Delta m$ 、 $c$ 、 $h$  のうち必要なものを用いて表せ。

問 3 核反応式を用いると、 ${}^{224}_{88}\text{Ra}$  の $\alpha$ 崩壊は



と表すことができる。Rn はラドンである。X の元素記号および  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $Z_1$ 、 $Z_2$  の値をそれぞれ記せ。

$\alpha$ 崩壊直後について、以下の問いに答えよ。 $\alpha$ 粒子の質量を  $m_\alpha$ 、速さを  $v$  とする。

問 4  ${}^{A_1}_{Z_1}\text{Rn}$  の運動量の大きさを記せ。また、運動量の向きについて述べよ。

問 5  $\alpha$ 粒子の物質波の波長を求めよ。

問 6  $\alpha$ 粒子の運動エネルギーは ${}^{A_1}_{Z_1}\text{Rn}$ の運動エネルギーの約何倍か。正しい値に最も近いものを以下から 1 つ選び、その番号を解答欄に記せ。

- ① 0.018      ② 0.98      ③ 1      ④ 55      ⑤ 56