

2023 年度

理 科 問 題

(物理・化学・生物・地学)

物理：2～7 ページ	解答用紙 4 枚
化学：8～23 ページ	解答用紙 5 枚
生物：24～41 ページ	解答用紙 4 枚
地学：42～49 ページ	解答用紙 3 枚

注 意 事 項

- 1 問題冊子は、監督者が「解答始め」の指示をするまで開かないこと。
- 2 問題冊子や解答用紙に脱落のあった場合には申し出ること。
- 3 解答用紙の各ページ所定欄に、それぞれ受験番号（最後のページは、左右 2 箇所）、氏名を必ず記入すること。なお、解答用紙は上部で接着してあるので、はがさず解答すること。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定欄に記入すること。
- 5 解答以外のことを書いたときは、該当箇所の解答を無効とすることがある。
- 6 解答用紙の裏面は計算等に使用してもよいが、採点はしない。
- 7 現代システム科学域の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから 1 科目を選択し、解答すること。
- 8 理学部の受験者は、次により解答すること。なお、第 2・3 志望がある場合、志望する学科についても確認すること。
 - (1) 数学科・生物学科・地球学科・生物化学科を志望する者は「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから 2 科目を選択し、解答すること。
 - (2) 物理学科を志望する者（第 3 志望までを含む）は、「物理」とその他に「化学」・「生物」・「地学」のうちから 1 科目を選択し、計 2 科目を解答すること。
 - (3) 化学科を志望する者（第 3 志望までを含む）は、「物理」・「化学」の計 2 科目を解答すること。
- 9 工学部の受験者は、「物理」・「化学」の計 2 科目を解答すること。
- 10 農学部・獣医学部・医学部医学科の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」のうちから 2 科目を選択し、解答すること。
- 11 生活科学部食栄養学科の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」のうちから 1 科目を選択し、解答すること。
- 12 問題冊子の余白は下書きに使用してもよい。
- 13 問題冊子及び選択しなかった科目の解答用紙は持ち帰ること。

(余 白)

物 理

第 1 問 (35点)

図のようになめらかで水平な表面をもつ板が、地面に対して常に一定の速さ V で鉛直上向きに上昇している。時刻 $t = 0$ に板の表面（上面）から質量 m の小球を地面に対して速さ v_0 ($v_0 > 2V$) で鉛直上向きに投げ上げた。地面にいる観測者から見た、この小球の運動を考えよう。小球は最高点に達した後、落下した。この最高点を「1 度目の最高点」と呼ぶ。その後、小球は板と衝突し、真上にはね返った。板と小球の間の反発係数（はねかえり係数）を 1 とする。鉛直上向きに地面に固定された z 軸をとり、時刻 $t = 0$ の板の表面（上面）の位置を原点 O とする。重力加速度の大きさを g として、以下の問いに導出過程も含めて答えよ。空気抵抗の影響は無視する。

問 1 1 度目の最高点の座標 z_1 を求めよ。

問 2 小球が板に衝突した時の、板の表面の座標 h_1 を求めよ。

問 3 衝突直後の小球の地面に対する速度 v_1 を求めよ。

衝突後、小球は再び上昇し、最高点に達した後、落下した。この最高点を「2 度目の最高点」と呼ぶ。その後、小球は板と 2 度目の衝突をした。

問 4 2 度目の最高点の座標 z_2 を v_0 , V , g を用いて表せ。

問 5 2 度目の衝突をした時の、板の表面の座標 h_2 を v_0 , V , g を用いて表せ。

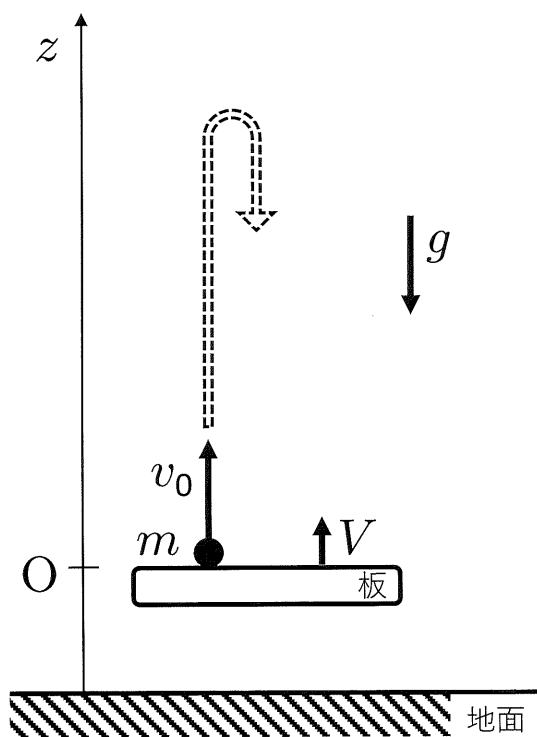
小球は板との衝突を繰り返しながら上昇する。以降 n を自然数として、 n 度目の衝突と $(n + 1)$ 度目の衝突の間に小球が到達した最高点を「 $(n + 1)$ 度目の最高点」とする。

問 6 n 度目の最高点の座標 z_n を n , v_0 , V , g を用いて表せ。

次に、同じ質量の別の小球を用いて再度、投げ上げの実験を行った。この小球と板の間の反発係数を e ($0 < e < 1$) とする。 $v_0 = 5V$ で投げ上げたところ、小球は 1 度目の最高点に達した後に落下し、板と衝突し、真上にはね返って 2 度目の最高点に達した後、落下した。このとき、1 度目の最高点と 2 度目の最高点の高さが同じであった。

問 7 1 度目の衝突直後の小球の地面に対する速度 v_1' を e , V を用いて表せ.

問 8 反発係数 e を求めよ.



図

物 理

第 2 問 (35点)

3 枚の金属板 A, B, C を平行にかつ等間隔に配置し、コンデンサーとして用いる実験を考える。3 枚の板の面積はそれぞれ S であり、A と B の間隔、及び B と C の間隔はいずれも a である。これらは真空中に設置してあり、金属板の間に発生する電場は一様で、端の影響は無視できるものとする。また真空の誘電率を ε_0 とする。以下の問いに導出過程も含めて答えよ。

最初に、全ての金属板に電荷が蓄えられていない状態にした後、図 1 に示すように A と C の間に直流の電源をつないで一定の電圧 V をかけて十分に時間をおいた。

問 1 この回路は、A と B からなるコンデンサー、及び B と C からなるコンデンサーの 2 つのコンデンサーが接続された回路とみなすことができる。該当する回路図を図 2 (ア) ～ (エ) の中から選べ。また A, B, 及び C それぞれに蓄えられる電気量 Q_A , Q_B , Q_C と、全体の電気容量 (合成容量) C_1 を求めよ。

次に電源を外し、全ての金属板に電荷が蓄えられていない状態に戻した後、今度は図 3 のように A と C を導線でつなぎ B との間に一定の電圧 V をかけて、スイッチを閉じた状態で十分時間をおいた。

問 2 この回路も、A と B 及び B と C からなる 2 つのコンデンサーが接続された回路とみなすことができる。該当する回路図を図 2 の (ア) ～ (エ) の中から選べ。ただしスイッチは回路図には表示していない。また、A, B, 及び C それぞれに蓄えられる電気量 Q_A , Q_B , Q_C , 合成容量 C_2 , 及びコンデンサー全体で蓄えられる静電エネルギー U を求めよ。

さらに、その後スイッチを開き、図 4 に示すように A, B, C を平行に保ったまま B のみを C に近づける向きに距離 Δx ($0 < \Delta x < a$) だけゆっくり動かした。

問 3 このときの A と B 及び B と C からなる 2 つのコンデンサーの合成容量 C_3 を求めよ。

問 4 AB 間と CB 間の電位差は同じである．この電位差 V' を求めよ．

問 5 B の位置が距離 Δx だけ変化するのに伴い，A と C をつなぐ導線を電荷が移動した．
A から C に移動した電気量 ΔQ を求めよ．

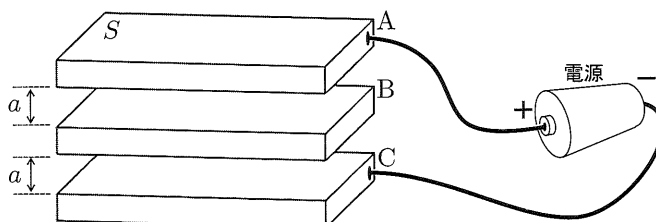


図 1

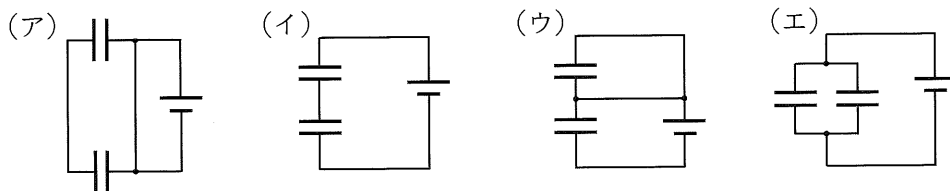


図 2

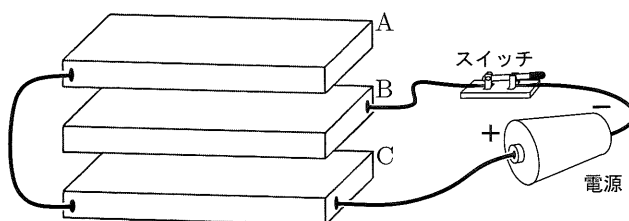


図 3

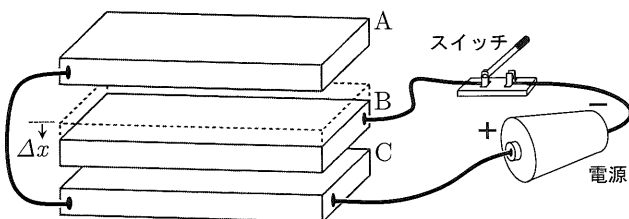


図 4

物 理

第 3 問 (30点)

振動数 f の音波を発する音源が運動するときのドップラー効果について考える．ただし，音の速さを V とし，風は吹いていないものとする．以下の問いに答えよ．問 1，問 2，問 5 以外は答えの導出過程も示すこと．

まず，図 1 のように，観測者が原点 O で静止しており，遠くにある音源が x 軸上を一定の速さ v ($v < V$) で観測者に近づいている状況を考える．

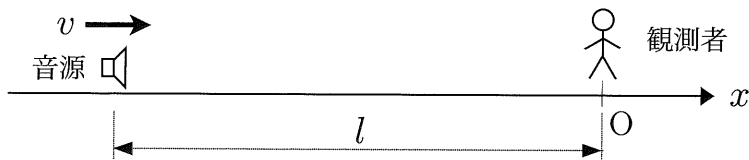


図 1

- 問 1 時刻 $t = 0$ に $x = -l$ にあった音源から出た音波が観測者に届く時刻 t_1 を求めよ．
- 問 2 音源が発する音波の周期 T と振動数 f の関係を式で表せ．
- 問 3 音源から時刻 $t = T$ に出た音波が観測者に届く時刻 t_2 を求めよ．
- 問 4 t_2 と t_1 の時間差から，観測者が観測する音波の振動数を V ， v ， f を使って表せ．

次に、図2のように音源の位置が $x = -L + A \sin \omega t$ ($A > 0$, $\omega > 0$) と表せる単振動をしている場合を考える．ただし、 A は L に比べて十分に小さく、 ω は f に比べて十分に小さいものとする．このとき、観測者が観測する音波の振動数は最小値 f_1 と最大値 f_2 の間で周期的に変化した．この観測結果から、音源の音波の振動数 f を以下の手順で求める．

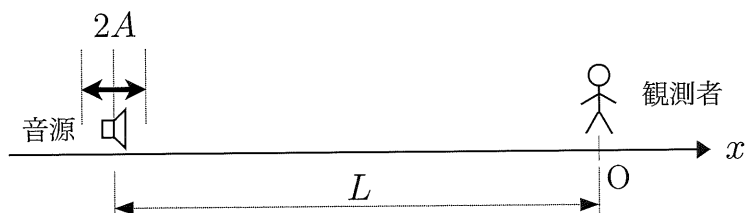


図 2

問 5 単振動をする音源の速さの最大値 u を A , ω を用いて表せ．

問 6 f_1 , f_2 を f , V , u を用いて表せ．ただし、 $u < V$ であるとする．

問 7 問 6 の結果を用いて、 f および u を f_1 , f_2 , V を用いて表せ．

さらに、観測者が x 軸に沿って一定の速度で動いたところ、観測者が観測する音波の振動数は最小値 f'_1 と最大値 f'_2 の範囲で周期的に変化するようになり、 f'_2 が問 6 で求めた f_1 と等しくなった．

問 8 観測者の速度を V , u を用いて表せ．