

2024 年度

理 科 問 題

(物理・化学・生物・地学)

物理：2～13ページ	解答用紙 4 枚
化学：14～27ページ	解答用紙 5 枚
生物：28～47ページ	解答用紙 4 枚
地学：48～52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 生活科学部栄養養学科の受験者は、「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1のように、水平な床と角度 30° をなす十分に長いなめらかな斜面がある。斜面の最下点の位置 O に自然長 l のばねの左端を固定し、ばねの右端に質量 m の小さな物体 A を取り付けたところ、ばねは自然長から d だけ縮んだ位置でつり合って静止した。このつり合いの位置から斜面に沿って距離 s の位置に質量 m の小さな物体 B を置き、物体 B を静かにはなしたところ、物体 B は斜面に沿って落下し、物体 A と衝突した。なお、物体 A と物体 B は完全非弾性衝突をするとし、衝突後は斜面に沿って運動するものとする。斜面に沿って x 軸をとり、 x 軸の原点を斜面の最下点の位置 O 、斜面の右上方向を正とする。重力加速度の大きさを g 、円周率を π とし、物体 A および物体 B の大きさ、空気抵抗は無視できるものとして、以下の問いに答えよ。ただし、問3以外は導出過程も含めて答えよ。

問1 ばね定数を求めよ。

距離 s がある値より小さいとき、図2に示すように、物体 A と物体 B は衝突後に離れることなく一体となり、斜面に沿って単振動をした。ここで、一体となった2つの物体を1つの物体として考える。

問2 物体 B が物体 A と衝突した直後における、一体となった物体の速さを求めよ。

問3 一体となった物体の位置を x 、斜面に沿った加速度を a とし、この一体となった物体の斜面に沿った運動方程式を書け。

問4 一体となった物体の単振動の中心の位置および周期を求めよ。

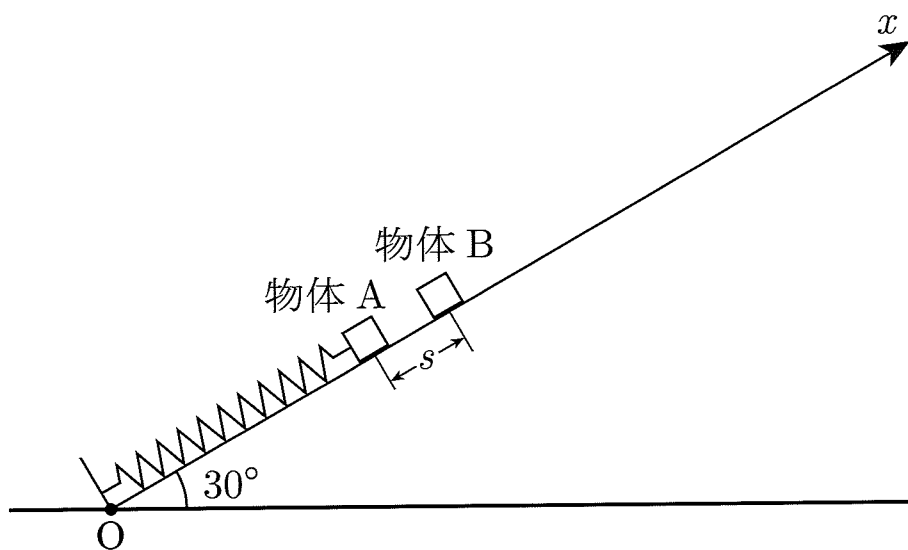


図 1

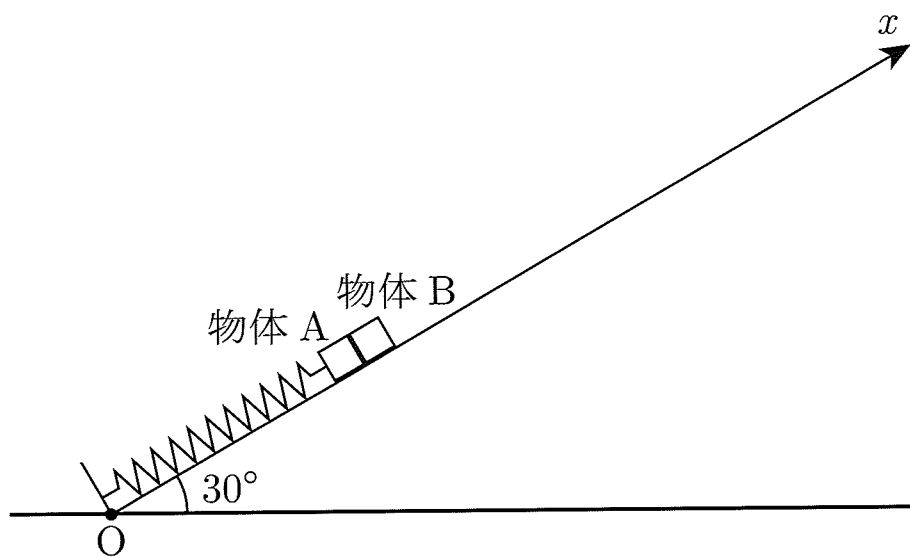


図 2

(つづく)

距離 s がある値より大きいとき、物体 B は物体 A と衝突し、一体となって斜面に沿って運動した後、物体 B は物体 A から離れる。以下では、物体 A と物体 B が一体となって運動し、離れるまでの間の運動を考える。

問 5 一体となった物体の位置を x ，斜面に沿った加速度を a として、物体 A と物体 B の斜面に沿った運動方程式を、それぞれ書け。ただし、物体 A が物体 B におよぼす力を F とする。

問 6 問 5 の F を m, l, d, s, x, g, π のうち必要なものを用いて表せ。

問 7 物体 B が物体 A から離れる瞬間における物体 B の位置および速さを求めよ。

問 8 物体 B が物体 A から離れるための s の条件を、不等式を用いて表せ。

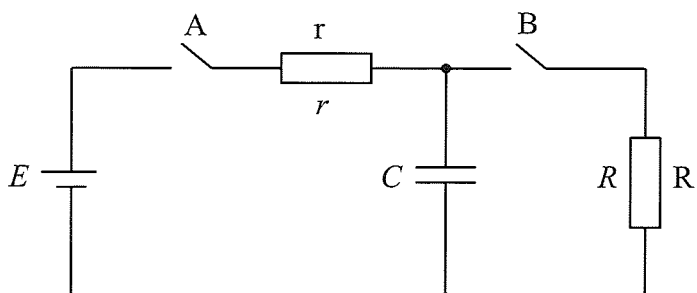
(余 白)

物 理

第 2 問 (35点)

抵抗とコンデンサーを含む回路に流れる電流について考える。

起電力 E の直流の電源と電気容量 C のコンデンサー、抵抗値 R の抵抗 R と抵抗値 r の抵抗 r 、およびスイッチ 2 個を用いて図のような回路を構成する。導線の抵抗は無いものとして以下の問いに答えよ。ただし、問 3 以降は導出過程も含めて答えよ。



図

最初、スイッチ A、スイッチ B は開いており、コンデンサーには電荷が蓄えられていない状態であった。この状態からスイッチ A を閉じ、コンデンサーが充電される過程を考える。

問 1 コンデンサーの充電について説明した以下の文を、空欄を埋めて完成させよ。ただし、空欄 ア、空欄 ウ には次のページの①～④ から、空欄 イ には次のページの①、② から、それぞれ適切なものを選び、空欄 a ～ c には適切な式、記号または数値を答えよ。

スイッチ A を閉じる前、コンデンサーには電荷が蓄えられていないため、極板間の電位差は a である。スイッチ A を閉じると、抵抗 r とコンデンサーの直列回路には電位差 E が与えられるが、スイッチ A を閉じた瞬間、コンデンサーの極板間の電位差は a であるため、この瞬間に抵抗 r を流れる電流の大きさは b である。電流が流れてコンデンサーの極板に電荷が蓄えられ始めると、蓄えられた電気量に比例してコンデンサーの極板間の電位差は大きくなるため、抵抗 r の両端間の電位差は ア なる。それにともな

い、オームの法則により、抵抗 r を流れる電流の大きさは ア なる。十分に時間がたつと、コンデンサーの極板間の電位差は c となる。

電流の大きさは、導体の断面を単位時間あたりに通過する電気量の大きさであるので、抵抗の値が イ 場合には、単位時間あたりに抵抗を通過する電気量が大きくなり、コンデンサーの充電が完了するまでの時間は ウ なる。

空欄 ア	① 0 に	② 小さく	③ 大きく	④ 無限大に
空欄 イ	① 小さい	② 大きい		
空欄 ウ	① 0 に	② 短く	③ 等しく	④ 長く

問 2 スイッチ A を閉じてから十分に時間がたったあとにコンデンサーに蓄えられた電気量 Q_0 を示せ。

続いて、コンデンサーが放電する過程を考える。スイッチ A を開けてから、時刻 $t = 0$ でスイッチ B を閉じた。

問 3 スイッチ B を閉じた瞬間に抵抗 R と抵抗 r を流れる電流の大きさを、それぞれ示せ。

その後、電流の大きさは変化する。以下では、電流の大きさが一定とみなせる程度に短い時間を Δt と表す。この Δt の間に抵抗を通過する電気量の大きさを ΔQ とすると、電流の大きさ I は $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ と表される。

問 4 時刻 $t = 0$ から時刻 $t = \Delta t$ までの間に抵抗 R を通過する電気量の大きさ ΔQ_0 を E , R , Δt を用いて示せ。

スイッチ B を閉じた後、時刻 $t = t_1$ でコンデンサーに蓄えられている電気量 Q_1 が $Q_1 = \frac{2}{3}Q_0$ となった。

問 5 時刻 $t = t_1$ に抵抗 R を流れる電流の大きさを E と R を用いて示せ。

(つづく)

問 6 時刻 $t = t_1$ から時刻 $t = t_1 + \Delta t$ までの間に抵抗 R を通過する電気量の大きさ ΔQ_1 は, ΔQ_0 の何倍となったかを求めよ. ただし, この Δt は問 4 で用いた Δt と等しいものとする.

問 7 スイッチ B を閉じた後, 時刻 $t = t_2$ では, コンデンサーに蓄えられている電気量が Q_2 となった. また, 時刻 $t = t_2$ から時刻 $t = t_2 + \Delta t$ までの間に抵抗 R を通過する電気量の大きさは ΔQ_2 であった. $\frac{\Delta Q_2}{Q_2}$ を, R , C , Δt を用いて示せ.

(余 白)

物 理

第 3 問 (30点)

気体の圧力と内部エネルギーについて、気体分子の運動の観点から考える。

図1のように、ピストン付きの片側の閉じた容器に、質量 m の単原子分子 N 個からなる気体を閉じ込めた。この容器と外部との間における熱の出入りは無視できる。容器の内壁に沿って x, y, z 軸をとり、気体と接するピストンの面を面 A とする。面 A は各辺の長さが L の正方形で y 軸に垂直であり、ピストンは y 軸に平行な向きになめらかに動かせるとする。最初、ピストンは面 A が $y = L$ の位置にあるように固定されていた。容器の内壁および面 A と分子の衝突は弾性衝突であるとする。また、分子と分子の間には力がはたらいしていないものとし、重力は無視できるとする。以下の問いに導出過程も含めて答えよ。

まず、1つの分子と面 A の衝突について考える。面 A に衝突する直前の分子の速度の y 成分を v_y とする。分子同士の衝突は生じないとしてよい。

問 1 この分子と面 A の 1 回の衝突において、面 A が分子から受ける力積の大きさを求めよ。

問 2 この分子が時間 t の間に面 A と衝突する回数を求めよ。

問 3 面 A が時間 t の間に、この分子から受ける平均の力の大きさを求めよ。

次に、 N 個の分子全体を考える。 N 個の分子について、速さの 2 乗の平均を $\overline{v^2}$ 、速度の x, y, z 成分の 2 乗の平均をそれぞれ $\overline{v_x^2}, \overline{v_y^2}, \overline{v_z^2}$ とする。分子の運動はどの方向にも均等で偏りがないため、 $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$ と考えることができる。よって、 $\overline{v_y^2} = \frac{\overline{v^2}}{3}$ としてよい。

問 4 面 A が時間 t の間に、 N 個の分子から受ける平均の力 F を求め、その結果を利用して、この気体の圧力 p を求めよ。ただし、どちらも $N, m, L, \overline{v^2}$ を用いて表すこと。

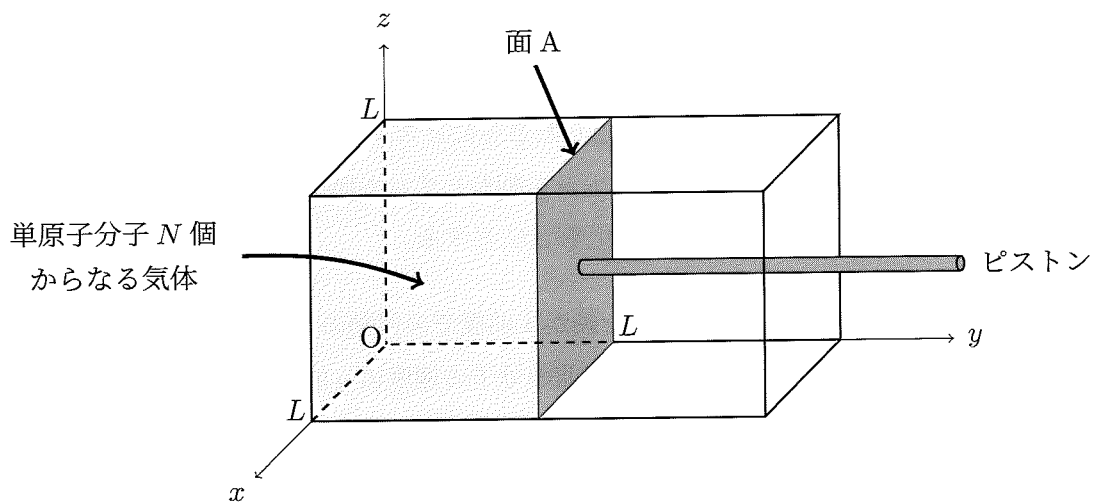


図 1

(つづく)

続いて、ピストンを動かしたときの気体の内部エネルギーの変化について考える。ピストンの固定を外した後、ピストンを一定の速さで y 軸の負の向きにゆっくりと動かし、図2のように、面 A が $y = L - \Delta L$ の位置に到達したときにピストンを再び固定した。ただし ΔL は L に比べて十分に小さいとする。ピストンを動かしていた時間を T とし、ピストンを動かす前後での気体の内部エネルギーの変化を ΔU とする。

まず、1つの分子について、ピストンを動かす前後での運動の変化を考える。ピストンを動かし始めた後、面 A と初めて衝突する直前の分子の速度の y 成分を v_y とする。

問 5 ピストンを動かし始めた後、面 A と初めて衝突した直後の分子の速度の y 成分を求めよ。

問 6 ピストンを動かし終えた後の、分子の速度の y 成分の大きさを求めよ。ただし ΔL が十分に小さいため、ピストンを動かしていた時間 T の間に分子と面 A が衝突する回数は、問 2 の答えで t を T としたものに等しいとしてよい。

次に、 N 個の分子全体について考える。

問 7 N 個の分子の運動エネルギーの総和は、ピストンを動かす前は $\frac{N}{2}m(\overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2})$ であったが、ピストンを動かし終えた後には $\boxed{\text{ア}} \times \Delta L$ だけ増加した。ただし $\frac{\Delta L}{L}$ が十分に小さいため、近似式 $\left(1 + \frac{\Delta L}{L}\right)^2 \approx 1 + 2\frac{\Delta L}{L}$ が成り立つものとする。
 $\boxed{\text{ア}}$ に入る適切な式を $N, m, L, \overline{v^2}$ を用いて表せ。

問 8 ピストンの移動によりこの気体が外部からされた仕事 W を求め、断熱変化における熱力学第 1 法則 $\Delta U = W$ が成り立っていることを示せ。ただし ΔL が十分に小さいため、気体の圧力 p は問 4 の答えに等しいとしてよい。

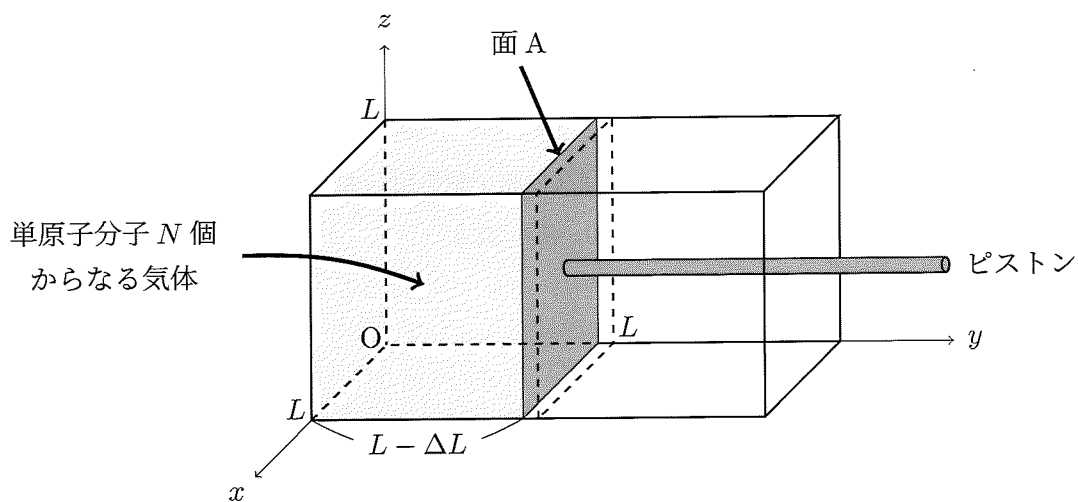


図 2