

物 理・化 学

問 題

2011年度

< H23050017 >

注 意 事 項

1. この問題冊子には、物理および化学の問題が印刷されています。
受験票に記載されている理科解答パターンの問題のみを解答してください。

解答 パターン	物 理	化 学	生物 (別冊配布)
A	○	○	×
B	○	×	○
C	×	○	○

2. この試験では、解答パターンがAの受験生には、この問題冊子、記述解答用紙（2種類）およびマーク解答用紙の計4種類を配付します。
解答パターンがBおよびCの受験生には、これらに加え「生物」の問題冊子の計5種類を配付します。
3. 問題冊子および解答用紙は、試験開始の合図があるまで開かないでください。
4. 物理の問題は2～9ページ、化学の問題は12～19ページに記載されています。試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れに気付いた場合は、手を挙げて監督員にお知らせください。
5. 記述解答用紙については、所定欄（2か所）に受験番号および氏名を記入してください。
6. マーク解答用紙については、受験番号を確認したうえ所定欄に氏名のみを記入してください。
7. 解答は解答用紙の所定欄に、黒鉛筆（HB）またはシャープペンシル（HB）で記入してください。
8. マーク解答用紙については、以下の点に注意してください。
 - a) マーク欄は、はっきりとマークしてください。また、訂正する場合は、消しゴムで消し残しがないようにきれいに消してください（砂消しゴムは使用不可）。
 - b) 解答は指定された解答欄にマークし、解答用紙のその他の部分には何も記入しないでください。

良い例 (a)

1	2	3	4	5	6
○	○	●	○	○	○

 ○の中を正確にぬりつぶす

悪い例 (a)

1	2	3	4	5	6
●	●	○	○	○	○

1. はみ出してぬりつぶす
2. ぬり残す
3. ○で囲む
4. 薄い
5. ✓点(ぬりつぶしていない)
6. ×印(ぬりつぶしていない)

9. 下書きは問題冊子の余白を使用してください。
10. 問題冊子は持ち帰ってください。
11. 解答用紙は必ず提出してください。

物理（マーク解答問題）

〔Ⅰ〕 以下の空欄に当てはまる答を各解答群から一つだけ選び、マーク解答用紙の該当欄にマークせよ。
(必要であれば解答群の中の同じ答を何度用いてもよい)

原点に電気量 Q ($Q > 0$) の点電荷が置かれている。

問 1 原点からの距離が r の点における電場の強さ $E(r)$ は (1) であり、電位 $V(r)$ は (2) である。ただし、無限遠 ($r \rightarrow \infty$) を電位の基準 (0) とし、クーロンの法則における比例定数を k とする。

問 1 の解答群

- | | | | | |
|-------------|-----------------------|-----------|---------------------|----------|
| a. kQr^2 | b. $k \frac{Q}{r^2}$ | c. kQr | d. $k \frac{Q}{r}$ | e. kQ |
| f. $-kQr^2$ | g. $-k \frac{Q}{r^2}$ | h. $-kQr$ | i. $-k \frac{Q}{r}$ | j. $-kQ$ |

問 2 電場の強さが E であるときには、電場に垂直な単位面積当たり E 本の電気力線を書くことにすると、電気量 Q の点電荷に対しては総数 (3) 本の電気力線が書かれることになる。

問 2 の解答群

- | | | | | |
|-------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| a. 0 | b. kQ | c. $2kQ$ | d. $4kQ$ | e. $\frac{4}{3}kQ$ |
| f. πkQ | g. $2\pi kQ$ | h. $\frac{4\pi}{3}kQ$ | i. $4\pi kQ$ | j. $\frac{8\pi}{3}kQ$ |

次に、点電荷の代わりに電気量 Q に帯電させた半径 a の球形の導体（導体球）を原点に置いた。球の中心を原点とする。

問 3 この場合に原点から半径 R ($R > a$) の球面を貫く電気力線の総数は、電気量 Q の点電荷に対して書かれる電気力線の総数の（すなわち問 2 の解答の） (4) 倍となる。

問 3 の解答群

- | | | | | |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|
| a. $\left(\frac{a}{R}\right)^3$ | b. $\left(\frac{a}{R}\right)^2$ | c. $\frac{a}{R}$ | d. $\sqrt{\frac{a}{R}}$ | e. $\frac{1}{2}$ |
| f. $\sqrt{\frac{R}{a}}$ | g. $\frac{R}{a}$ | h. $\left(\frac{R}{a}\right)^2$ | i. $\left(\frac{R}{a}\right)^3$ | j. 1 |

問 4 導体球の内外の電場の様子は電気力線の様子から理解することができる。原点（球の中心）からの距離を r とすると、導体球の内部 ($0 \leq r < a$) の電場の強さ $E(r)$ は (5) , 外部 ($r > a$) での電場の強さ $E(r)$ は (6) となる。また、導体球の内部 ($0 \leq r < a$) の電位 $V(r)$ は (7) , 外部 ($r > a$) での電位 $V(r)$ は (8) である。

問 4 の解答群

- | | | | | |
|------------|----------|---------|--------------------|----------------------|
| a. kQr^2 | b. kQr | c. kQ | d. $k \frac{Q}{r}$ | e. $k \frac{Q}{r^2}$ |
| f. kQa^2 | g. kQa | h. 0 | i. $k \frac{Q}{a}$ | j. $k \frac{Q}{a^2}$ |

導体球に代えて、今度は位置 $(-d, 0, 0)$ に電気量 Q の点電荷を、位置 $(d, 0, 0)$ には電気量 $-Q$ の点電荷を置いた。

問5 y 軸上の点 $(0, y, 0)$ における電場 $\vec{E} = (E_x, E_y, E_z)$ を求めると、 $E_x = \boxed{(9)}$ ， $E_y = \boxed{(10)}$ ， $E_z = 0$ となる。

問5の解答群

- a. $\frac{2kQd}{(d^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}}$ b. $\frac{kQd}{(d^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}}$ c. $\frac{\sqrt{2}kQ}{d^2 + y^2}$ d. $\frac{kQ}{\sqrt{d^2 + y^2}}$
 e. 0 f. $-\frac{kQ}{\sqrt{d^2 + y^2}}$ g. $-\frac{\sqrt{2}kQ}{d^2 + y^2}$ h. $-\frac{kQd}{(d^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}}$
 i. $-\frac{2kQd}{(d^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}}$

問6 xy 平面内で原点から十分離れた点Pにおける電位を、原点からの距離 r と x 軸から測った角度 θ (5 ページの図参照) を用いて表すと $\boxed{(11)}$ となる。ただし、 d に比べて r は十分大きいとして $\frac{d^2}{r^2}$ は無視するとともに、その大きさが1に比べて十分小さい数 t ($|t| < 1$) に対して成り立つ近似式 $(1+t)^n \div 1 + nt$ (n は実数) を用いた。

問6の解答群

- a. $-\frac{kQ \sin \theta}{r}$ b. $-\frac{2kQ \sin \theta}{r}$ c. $-\frac{kQd \sin \theta}{r^2}$ d. $-\frac{2kQd \sin \theta}{r^2}$
 e. $-\frac{kQ \cos \theta}{r}$ f. $-\frac{2kQ \cos \theta}{r}$ g. $-\frac{kQd \cos \theta}{r^2}$ h. $-\frac{2kQd \cos \theta}{r^2}$
 i. 0

問7 点Pにおける電場を求めるためには、電気量 Q の点電荷と点Pを結ぶ線分が x 軸となす角度 θ_+ 、電気量 $-Q$ の点電荷と点Pを結ぶ線分が x 軸となす角度 θ_- を求める必要がある。上と同じ近似を用いると、 $\cos \theta_+ = \boxed{(12)}$ となる。 $\cos \theta_-$ も同様にして求めることができる。

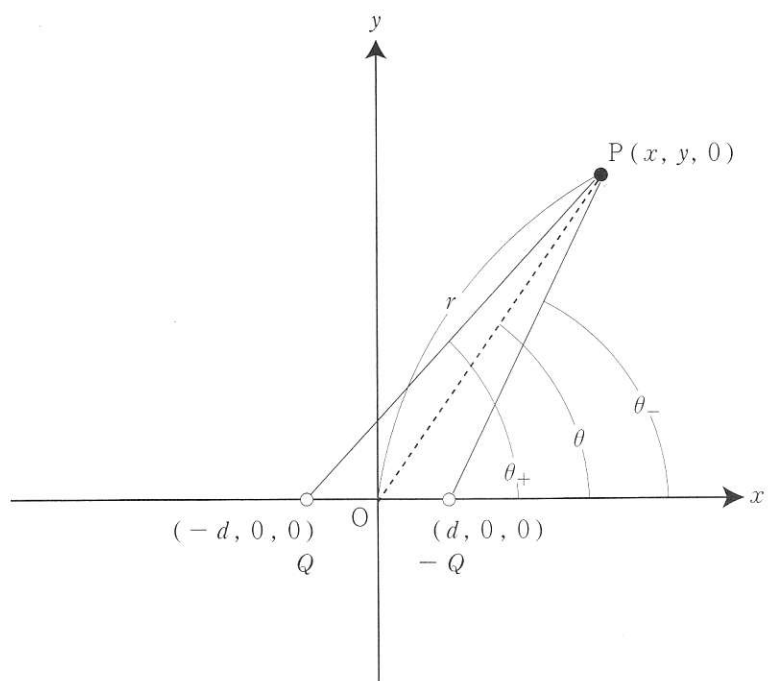
問7の解答群

- a. $\cos \theta + \frac{d}{r} \cos \theta \sin \theta$ b. $\cos \theta + \frac{d}{r} \cos^2 \theta$ c. $\cos \theta + \frac{d}{r} \sin^2 \theta$
d. $\cos \theta + \frac{d}{r} \cos^3 \theta$ e. $\cos \theta - \frac{d}{r} \cos \theta \sin \theta$ f. $\cos \theta - \frac{d}{r} \cos^2 \theta$
g. $\cos \theta - \frac{d}{r} \sin^2 \theta$ h. $\cos \theta - \frac{d}{r} \cos^3 \theta$

問8 同じ近似のもとで点Pにおける電場 $\vec{E} = (E_x, E_y, E_z)$ を求めると $E_x = \boxed{(13)}$, $E_y = \boxed{(14)}$, $E_z = \boxed{(15)}$ となる。

問8の解答群

- a. $\frac{2kQd}{r^3} (1 - 3\cos^2 \theta)$ b. $\frac{2kQd}{r^3} (1 + 3\cos^2 \theta)$ c. $\frac{6kQd}{r^3} \sin \theta \cos \theta$
d. $-\frac{2kQd}{r^3} (1 - 3\cos^2 \theta)$ e. $-\frac{2kQd}{r^3} (1 + 3\cos^2 \theta)$ f. $-\frac{6kQd}{r^3} \sin \theta \cos \theta$
g. 0



☒

物理（記述解答問題）

〔Ⅱ〕 以下の問の答を解答用紙の該当欄に記入せよ。

図に示すように、高さを調節できる発射台から水平面上の台車にむけて大きさの無視できる鉄球を水平右方向に打ち出す。台車は、水平で厚みの無視できる上板およびばね定数 k のばねから構成されている。上板の質量を M とし、ばねなど台車のそれ以外の部分の質量は無視できるものとする。上板はなめらかで、鉄球に対する反発係数を e とする。ばねと上板は、台車に対して鉛直方向になめらかに運動するものとする。ばねの伸縮が平衡状態のときの上板の位置を鉛直方向の座標原点とし、発射高さはこの点から測った高さとする。床面はなめらかで、台車は水平方向に自由に運動できる。鉛直上方および右方を座標の正の向きとし、重力加速度の大きさを g とする。

上板を平衡位置で静止させたあと、質量 m の鉄球を発射高さ H の位置から初速度 v_0 で水平方向に打ち出し、静止した台車の上板に落下させた。ただし、 $m \leq M$ とする。

問1 鉄球が台車の上板に到達したとき、鉄球の速度の水平成分、鉛直成分はいくらか。

問2 鉄球が上板に衝突した直後、上板の速度の水平成分、鉛直成分はいくらか。

問3 衝突後、上板は鉛直方向には単振動した。その振幅はいくらか。本問以降の間では、一度衝突した鉄球が再び上板に衝突することはないものとする。

高さ H の位置から打ち出した鉄球により上板が単振動しているとき、2つ目の質量 m の鉄球を水平方向に打ち出し、その初速度を調節して台車の上板に落下させた。発射高さおよび発射時刻を調節したところ、衝突後上板の振動が止まり、振幅が0になった。

問4 2つ目の鉄球の発射高さを H' とするとき、高さの比 $\frac{H'}{H}$ はいくらか。

発射高さを再び H とし、上板を平衡位置で静止させる。上板には質量の無視できる電磁石が設置されていて、鉄球を吸着・切り離し、あるいは鉄球に力を加えることができるものとする。今度は上板と同じ質量 M の鉄球を初速度 v_0 で水平方向に打ち出し、静止した台車に落下させた。鉄球が上板に衝突する瞬間に、電磁石を動作させて鉄球を上板に吸着させた。

問5 衝突直後の台車の速度はいくらか。

衝突後ばねが収縮しはじめ、最も収縮した時点で電磁石の動作を止めたところ、鉄球は上昇途中で上板を離れた。

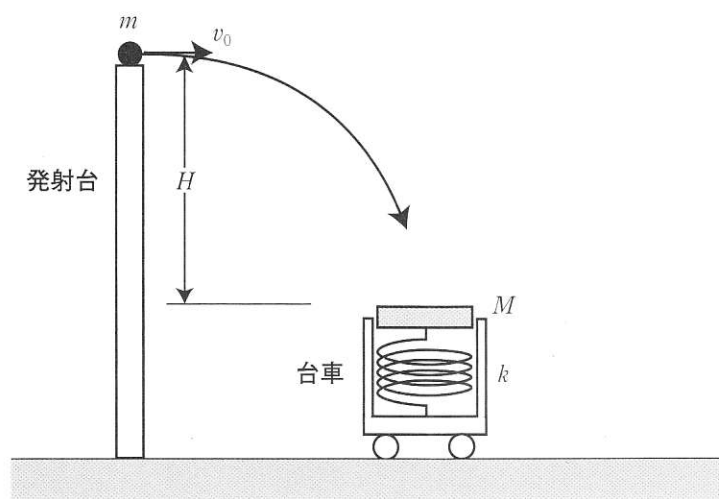
問6 ばねが最も収縮したときの上板の鉛直方向の位置を求めよ。

問7 鉄球が上板を離れるときの上板の鉛直方向の位置を求めよ。

問8 鉄球が上板を離れるときの鉄球の速度の鉛直成分は、衝突する直前に鉄球のもつ速度の鉛直成分の何倍か。

一方、衝突後ばねが最も収縮したときから、電磁石の動作を完全には止めずに、磁力を調節して上板から鉄球に下向きに一定の力をかけ続けたところ、鉄球は上板から離れることなく単振動を続けた。

問9 鉄球が上板から離れることなく単振動を続けるのに必要な力の大きさの最小値はいくらか。



図

物理（記述解答問題）

〔Ⅲ〕 以下の問の答を解答用紙の該当欄に記入せよ。

可動壁によって体積を変えることができる直方体の容器に1モルの単原子分子理想気体が封入されている。容器内部の理想気体を「系」、容器の外部を「環境」とよぶことにする。容器の壁を通して系は環境と熱のやりとりができる。はじめに、可動壁を固定し、環境の温度を T にしてしばらく待ったところ、系は熱平衡に達し、系の圧力が P になった。重力の影響は無視できるとし、以下の問に答えよ。なお、気体定数は R とする。

問1 まず、可動壁を固定したまま、環境の温度を ΔT だけゆっくり上げた。この過程で系が環境から吸収した熱量はいくらか。

問2 つぎに、環境の温度を $T + \Delta T$ に保ったまま、可動壁の固定を解除し、外力によってつりあいを保ちながら可動壁をゆっくり動かし、系が圧力が P にもどった。この過程で系の体積はどれだけ変化したか。

問3 最後に、系の圧力を P に保ったまま、環境の温度をゆっくり下げて T にもどした。この過程で系が環境から吸収した熱量はいくらか。

問4 以上の一連の過程を1サイクルとする熱機関の効率はいくらか。ただし、問2の過程で系がした仕事を W とせよ。

つぎに、理想気体を用いた熱機関のかわりに、石けん膜を用いた熱機関を考えてみよう。

図に示すように、可動棒によって面積を変えることができる長方形の枠に石けん膜が張られている。石けん膜の張力により、可動棒の石けん膜と接する部分には単位長さあたり f の力が図の左向きにはたらく。石けん膜を「系」、石けん膜の外部を「環境」とよぶことにする。系の面積は枠で囲まれた長方形の面積に等しいとし、系の内部エネルギーは単位面積あたり u であるとする。可動棒をゆっくり動かして系の面積を変化させても f , u は系の面積によらず一定であるとする。ただし、 f , u は環境の温度 T によって変化するものとする。

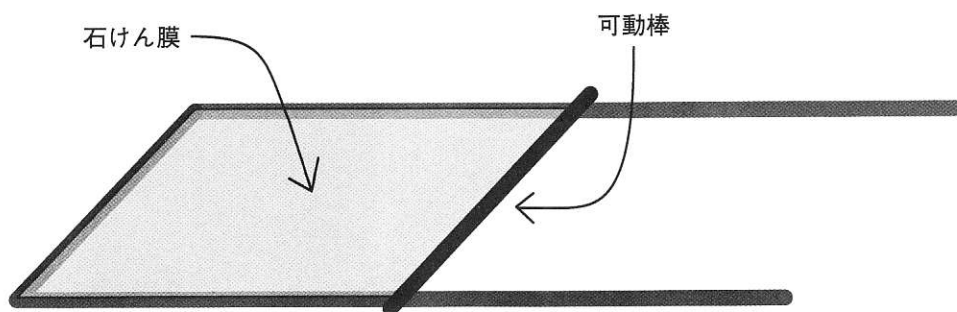
はじめに、可動棒を固定して系の面積を A にし、環境の温度を T にして系が熱平衡に達するまでしばらく待つ。系を構成する物質の出入りはなく、重力の影響は無視できるとして、以下の問に答えよ。

問5 まず、可動棒の固定を解除し、外力によってつりあいを保ちながら可動棒をゆっくりと右に動かし、系の面積を $x A$ だけ増加させる ($x > 0$)。この過程で系がする仕事はいくらか。

問6 問5の過程で系が環境から吸収する熱量はいくらか。

問7 つぎに、可動棒を再び固定し、系の面積を $(1+x)A$ に保ったまま、環境の温度を $y T$ だけゆっくり下げる ($0 < y \ll 1$)。この過程で系が環境から吸収する熱量はいくらか。ただし、本問以降の間では、 f , u はそれぞれ $f = a - bT^2$, $u = a + bT^2$ (a, b は正の定数, $f > 0$) と表せるとせよ。また、本問以降の間では、答は a, b, A, T, x, y の中から必要なものを用いて表し、さらに、 $0 < y \ll 1$ であるため y に比べて y^2 は無視できるとせよ。

- 問8 つづいて、可動棒の固定を解除し、環境の温度を $(1-y)T$ に保ったまま、外力によってつりあいを保ちながら可動棒をゆっくり左に動かし、系の面積を A にもどす。この過程で系が環境から吸収する熱量はいくらか。
- 問9 最後に、可動棒をもう一度固定し、系の面積を A に保ったまま、環境の温度をゆっくり上げて T にもどす。以上の一連の過程を1サイクルとして熱機関が構成される。この熱機関が1サイクル中にする仕事はいくらか。また、この熱機関の効率はいくらか。



図

化学の問題は12～19ページに記載されている

このページは下書きに使用してよい。

化学の問題は12～19ページに記載されている

このページは下書きに使用してよい。