

# 物 理・化 学

## 問 題

2004年度 早稲田大学理工学部

### 注 意 事 項

1. この問題冊子には、以下の8問が掲載されています。
  - a) 以下の表で、「○」印の問題のみを解答してください。
  - b) 解答パターンについては、受験票に記載されています。
  - c) 解答用紙は、「○」印の解答欄のみが印刷されたものを配付します。

解答 パターン	物 理				化 学				備 考
	問1	問2	問3	問4	問1	問2	問3	問4	
A	○	○	○	○	○	○	×	×	
B	○	○	×	×	○	○	○	○	
C	○	○	○	×	○	○	○	×	
D	○	○	○	○	×	×	×	×	生物（別冊） も解答のこと
E	×	×	×	×	○	○	○	○	

2. この試験では、解答パターンがA, BおよびC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DおよびE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下さい。
4. 問題は2～14ページに記載されています。
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. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出してください。

【物理・化学】

問題冊子 表紙 注意事項1の表

(誤)

解答 パターン	物理				化学				備考
	問1	問2	問3	問4	問1	問2	問3	問4	

(正)



解答 パターン	物理				化学				備考
	[I]	[II]	[III]	[IV]	[I]	[II]	[III]	[IV]	

## 物理（マーク解答問題）

〔I〕 以下の文章の空欄にあてはまる答を解答群の中から一つだけ選び、マーク解答用紙の該当欄に記入せよ。

電子や光は、真空中から物質内に入るときに物質の表面で屈折する。

まず、表面の電界によっておこる電子の屈折について考える。図1のように、表面に垂直な方向を  $z$  軸にとり、平行な方向に  $x$  軸をとる。このとき、電子は  $xz$  面内で運動するとしよう。ここで、入射角を  $\theta$ 、屈折角を  $\theta'$  で表し、電子の質量を  $m$ 、電荷を  $-e$  とする。

一般に、物質内部では原子核の正電荷と電子の負電荷がたがいに打ち消し合っている。しかし、表面では電子が外へわずかにしみ出ているため、表面付近には強い電界が生じている。いま、厚さ  $d$  の表面領域内には、 $z$  軸の負の方向を向いた、強さが  $E$  の電界があるとし、その他の場所の電界は無視できるほど弱いものとする。

真空中を運動エネルギー  $K$  で運動している電子が表面領域を通りぬけて物質内に入ると、その運動エネルギーは ① となる。このとき、電子が電界から受ける力積は ② 方向を向いているため、厚さ  $d$  の表面領域を通過する前後で、電子の運動量の ③ 方向成分は保存される。その運動量成分は、真空中での運動エネルギー  $K$  と入射角  $\theta$  を用いて ④ と表され、物質内部でも同じ運動量成分が計算できる。この二つの運動量成分が等しいことから、屈折の式  $\frac{\sin\theta}{\sin\theta'} =$  ⑤ が求まる。

次に、光の屈折について考える。真空中を光速  $c$  で伝わる波長  $\lambda$  の光の波が、屈折率  $n$  の物質内に入ると、その波長は ⑥ となる。このため、図2に示すように、物質に入射した光の進行方向が変わる。図2の点線は、光の波面を表す。図2における物質表面上の2点A、Bの間隔は、真空中の波長と入射角  $\theta$  を用いて ⑦ と表される。また、同じ2点の間隔A Bは物質内の波長と屈折角  $\theta'$  を用いても表すことができ、これらが等しいことから、光の屈折の式

$$\frac{\sin\theta}{\sin\theta'} = \text{⑧} \quad (1)$$

が求まる。

一方、光は粒子的な性質も示す。波動と粒子の二重性に関する関係式により、プランク定数を  $h$  とすると、波長  $\lambda$  の光は運動量 ⑨ の量子（光子）としてふるまう。光子の運動量の表面平行成分は、真空中の波長と入射角  $\theta$  を用いて、運動量 ⑨ の ⑩ 倍と表される。同様に、その成分は物質内部の波長と屈折角  $\theta'$  を用いても表すことができ、これらが等しいという条件からも(1)式の屈折の式が得られる。

解答群

① a.  $K$     b.  $K+eE$     c.  $K+Ed$     d.  $K+eEd$     e.  $K-eE$     f.  $K-Ed$     g.  $K-eEd$

② a. 入射する電子の進行    b. 屈折した電子の進行    c. 入射する電子の進行方向と垂直な  
d. 屈折した電子の進行方向と垂直な    e.  $x$  軸    f.  $z$  軸

③ a. 入射する電子の進行    b. 屈折した電子の進行    c. 入射する電子の進行方向と垂直な  
d. 屈折した電子の進行方向と垂直な    e.  $x$  軸    f.  $z$  軸

④ a.  $\sqrt{\frac{2K}{m}} \sin\theta$     b.  $\sqrt{\frac{2K}{m}} \cos\theta$     c.  $\frac{\sqrt{2K}}{\sin\theta}$     d.  $\frac{\sqrt{2K}}{\cos\theta}$     e.  $\sqrt{2mK} \sin\theta$

f.  $\sqrt{2mK} \cos\theta$     g.  $\frac{\sqrt{2mK}}{\sin\theta}$     h.  $\frac{\sqrt{2mK}}{\cos\theta}$

⑤ a.  $\sqrt{1+\frac{eE}{K}}$     b.  $\sqrt{1+\frac{Ed}{K}}$     c.  $\sqrt{1+\frac{eEd}{K}}$     d.  $\sqrt{\frac{K}{K+eE}}$     e.  $\sqrt{\frac{K}{K+Ed}}$     f.  $\sqrt{\frac{K}{K+eEd}}$

- ⑥ a.  $(n-1)\lambda$    b.  $n\lambda$    c.  $\frac{\lambda}{(n-1)}$    d.  $\frac{\lambda}{n}$    e.  $\frac{(n-1)\lambda}{c}$    f.  $\frac{n\lambda}{c}$    g.  $\frac{\lambda}{(n-1)c}$    h.  $\frac{\lambda}{nc}$
- ⑦ a.  $\lambda \sin\theta$    b.  $\lambda \cos\theta$    c.  $\lambda \tan\theta$    d.  $\frac{\lambda}{\sin\theta}$    e.  $\frac{\lambda}{\cos\theta}$    f.  $\frac{\lambda}{\tan\theta}$
- ⑧ a.  $n-1$    b.  $n$    c.  $\sqrt{n}$    d.  $\sqrt{n^2+1}$    e.  $\sqrt{n^2-1}$    f.  $\frac{1}{n-1}$    g.  $\frac{1}{n}$    h.  $\sqrt{1-\frac{1}{n}}$
- ⑨ a.  $h\lambda$    b.  $h\lambda c$    c.  $\frac{h}{\lambda}$    d.  $\frac{hc}{\lambda}$    e.  $\frac{h\lambda}{c}$    f.  $\frac{h}{\lambda c}$
- ⑩ a.  $\sin\theta$    b.  $\cos\theta$    c.  $\tan\theta$    d.  $\frac{1}{\sin\theta}$    e.  $\frac{1}{\cos\theta}$    f.  $\frac{1}{\tan\theta}$

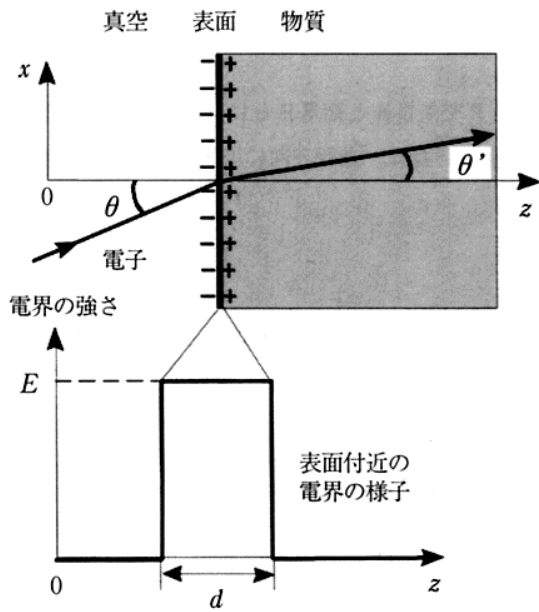


図1

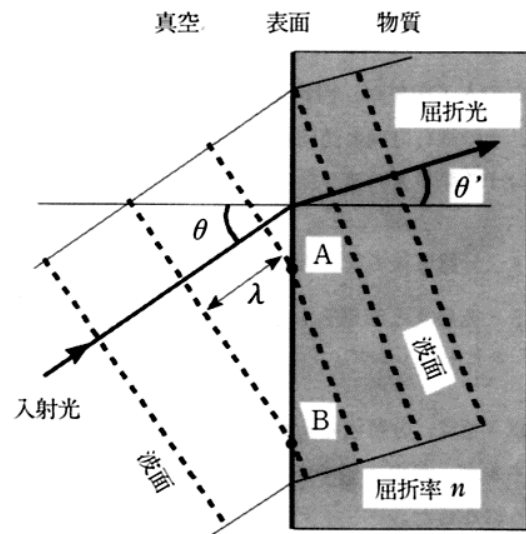


図2

## 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。

地球のまわりの半径  $r$  の円軌道上を、人工衛星が一定の速さ  $v_0$  でまわっている。この人工衛星は図のように、質量がともに  $m$  である衛星 A と衛星 B が連結した状態（全質量  $2m$ ）にある。人工衛星は、地球の引力以外の力を受けていない。地球の質量を  $M$ 、万有引力定数を  $G$  とし、人工衛星の大きさは無視できるものとする。

問1  $v_0$  を、 $G$ 、 $M$ 、 $r$  を用いて表せ。

問2 人工衛星の公転周期を、 $G$ 、 $M$ 、 $r$  を用いて表せ。

問3 人工衛星の運動エネルギーを  $K$  とする。人工衛星がもつ万有引力による位置エネルギーを、 $K$  を用いて表せ。ただし、地球から無限に離れた場所での万有引力による位置エネルギーを  $0$  とする。

この人工衛星が、円軌道上を運動しているある瞬間に、図の点 P で衛星 A と衛星 B とに分離した。このとき衛星 A は、その進行方向と逆向きに衛星 B を押し出し、その反作用で衛星 A 自身は、進行方向に加速した。分離直後の衛星 B に対する衛星 A の速さは  $v$  であった。

問4 分離直後の衛星 A の速さを、 $v_0$  と  $v$  を用いて表せ。

問5 衛星 A と衛星 B を分離させるのに必要な仕事は、運動エネルギーの総和の増加分に等しい。この仕事を、 $m$  と  $v$  を用いて表せ。

以下では、分離後の衛星 A の運動を考えよう。分離直後の衛星 A の運動エネルギーは、分離前の人工衛星全体の運動エネルギー  $K$  の  $\alpha$  倍であった。図の点 P で人工衛星が分離した後、衛星 A は楕円軌道を描いて地球のまわりをまわるようになった。

問6 分離直後の衛星 A がもつ万有引力による位置エネルギーを、 $K$  を用いて表せ。

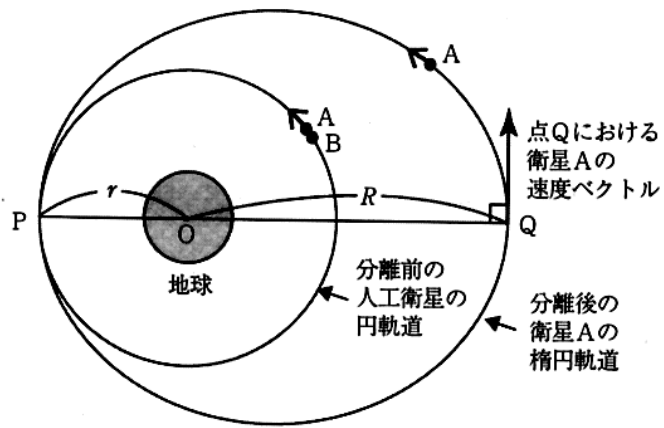
問7 もしも分離の際に衛星 A が加速し過ぎて、 $\alpha$  がある数値以上になると、衛星 A は楕円軌道を描かずに、無限遠に飛び去ってしまう。その数値を求めよ。

分離により衛星 A が加速した点 P は、図の楕円軌道上で、地球の中心 O に最も近い点となる。一方、楕円軌道上で点 O から最も遠い点 Q では、衛星 A の速度ベクトルは、点 O と点 Q を結ぶ直線に垂直である。また、点 O から点 Q までの距離を  $R$  とする。

問8 点 Q での衛星 A の速さは、点 P での分離直後の衛星 A の速さの何倍か。 $r$ 、 $R$  を用いて表せ。

問9 点 Q において、衛星 A がもつ万有引力による位置エネルギーを、 $K$ 、 $r$ 、 $R$  を用いて表せ。

問10  $\alpha$  を、 $r$  と  $R$  を用いて表せ。



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。

ヘリウム気体は単原子分子の気体であり、以下では理想気体で近似できるものとする。

A. アボガドロ定数を $6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$ 、気体定数を $8.3 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ として、以下の問の答を有効数字2桁で求めよ。

問1 絶対温度  $300 \text{ K}$  においてヘリウム気体分子1個あたりの平均運動エネルギーは何Jか。

問2  $1 \text{ mol}$  のヘリウム気体の圧力を一定に保ちながら、外部から熱を加えて温度を  $1 \text{ K}$  上昇させたとき、ヘリウム気体が外部にした仕事は何Jか。

問3 また、そのときヘリウム気体が外部からもらった熱量は何Jか。

B. 図に示すように  $1 \text{ mol}$  のヘリウム気体が、バネとヒーターを備えたシリンダー内部に封入されている。シリンダーの底面とピストンは、バネ定数  $k[\text{N/m}]$  のバネで結ばれている。シリンダーとピストンは断熱材でできており、シリンダーの内側の底面積は  $S[\text{m}^2]$  であり、シリンダー外部の気体の圧力  $P_0[\text{Pa}]$  は一定であるとする。また、ピストンの動きはなめらかであるとして以下の問に答えよ。

はじめ、ヘリウム気体は圧力  $P_0$ 、体積  $V_0[\text{m}^3]$  で、ピストンは静止していた（状態1）。この状態の気体にヒーターで熱  $Q[\text{J}]$  を加えたとき、ピストンがゆっくりと動き、ヘリウム気体の体積が  $2V_0$  になった（状態2）。

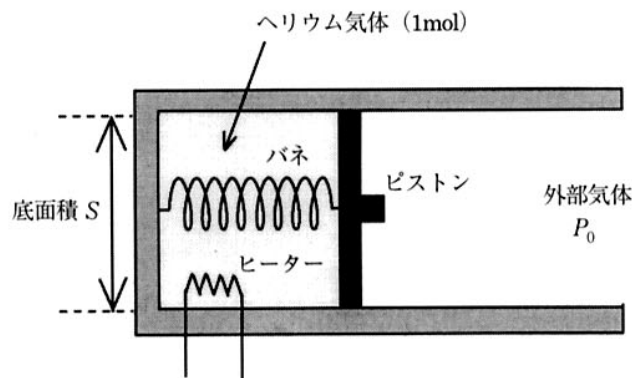
問4 状態2におけるヘリウム気体の圧力  $P[\text{Pa}]$  を、 $P_0$ 、 $V_0$ 、 $S$ 、 $k$  を用いて表せ。

問5 状態1から状態2に変化する過程で、シリンダー外部の気体がされた仕事  $W[\text{J}]$  を、 $P_0$ 、 $V_0$  を用いて表せ。

問6 状態2におけるヘリウム気体の内部エネルギー  $U[\text{J}]$  を、 $P_0$ 、 $V_0$ 、 $S$ 、 $k$  を用いて表せ。

問7 状態2におけるヘリウム気体の内部エネルギー  $U$  が、状態1での内部エネルギー  $U_0[\text{J}]$  の3倍になっていたとする。そのときのバネの弾性エネルギー  $L[\text{J}]$  を、 $U_0$  を用いて表せ。

問8 また、そのときにヘリウム気体にヒーターから与えられた熱量  $Q$  を、 $U_0$  を用いて表せ。



図

# 物理（記述解答問題）

〔IV〕 以下の問の答を解答用紙の該当欄に記入せよ。

図1のように、2本の長い直線の金属線を平行に置く。2本の金属線の間隔は  $a$  であり、2本の金属線が作る平面は床に平行である。この2本の金属線に、図1のようにスイッチ、抵抗（抵抗値  $R$ ）、平行板コンデンサー（電気容量  $C_0$ ）をつないで、回路を作る。さらに、この2本の金属線に直角に金属棒Aを渡す。この金属棒Aを、2本の金属線との電気的な接触を保ちつつ、つねに一定の速さ  $v$  で、図1の右から左へ手で動かす。金属線と金属棒Aの間の摩擦は無視できるものとする。このとき、床に垂直に下から上へ磁束密度  $B$  の一様な磁界があるとし、以下の問に答えよ。

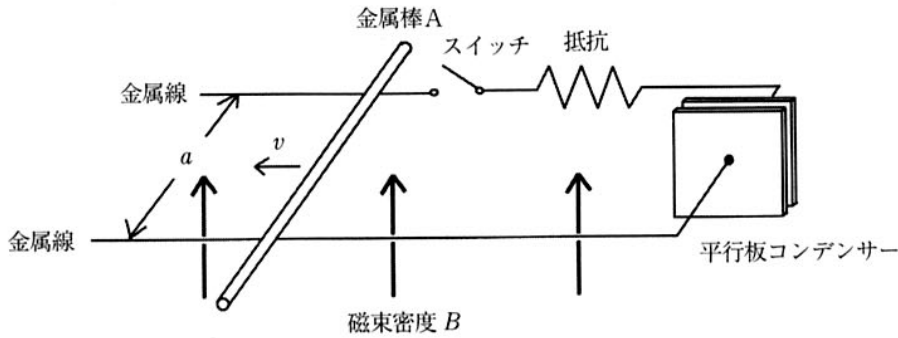


図1

はじめに、スイッチが開いている状態で、金属棒Aを一定の速さ  $v$  で動かした。

問1 金属棒Aが金属線と接触している二点間の電位差はいくらか。

つぎに、金属棒Aを一定の速さ  $v$  で動かしたまま、スイッチを閉じた。

問2 スイッチを閉じた直後に流れる電流はいくらか。

問3 十分に時間がたつと回路に電流が流れなくなった。このとき、コンデンサーに蓄えられている電荷はいくらか。

問4 スイッチを閉じてから電流が流れなくなるまでに、手が金属棒Aにした仕事はいくらか。

問5 スイッチを閉じてから電流が流れなくなるまでに、抵抗で発生するジュール熱はいくらか。

さらに、金属棒Aを一定の速さ  $v$  で動かしたまま、図2に示すように、平行板コンデンサーの極板間に誘電体Pを手でゆっくりと挿入した。その結果、コンデンサーの容量は時間とともに変化し、時刻  $t$  の電気容量  $C(t)$  は  $C(t) = C_0 + \frac{t}{R_0}$  ( $R_0$ は定数) として表された。このとき、 $t = t_1$  から  $t = t_2$  まで、回路には時刻  $t$  によらず一定の電流  $I_0$  が流れた。極板と誘電体Pとの間の摩擦は無視できるものとする。

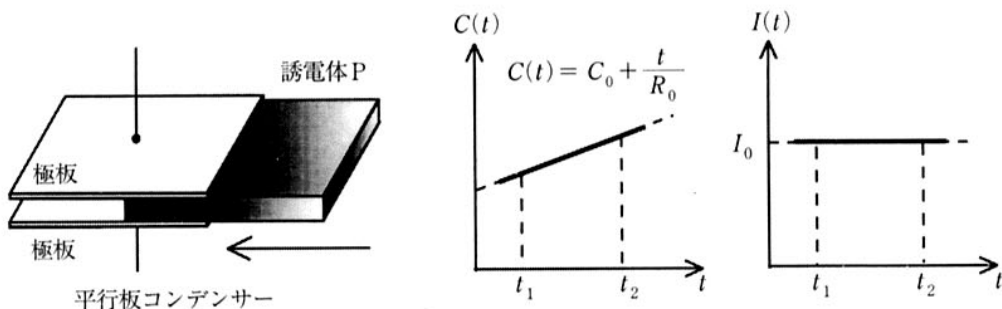


図2

金属棒Aが金属線と接触している二点間の電位差を  $V_0$  として以下の問に答えよ。

問6 コンデンサーには一定の電流  $I_0$  が流れこむため、時刻  $t$  にコンデンサーに蓄えられている電荷  $Q(t)$  は  $Q(t) = Q_0 + I_0 t$  ( $Q_0$  は定数) と表される。回路における各点での電位を考えると、次の式が成り立つ。

$$V_0 = RI_0 + \boxed{\phantom{000000}} \quad (1)$$

(1) 式の空欄にあてはまる量を  $C_0$ ,  $R_0$ ,  $Q_0$ ,  $I_0$ ,  $t$  を用いて表せ。

問7 (1) 式は  $t = t_1$  と  $t = t_2$  の間で、つねに成り立つ。このことから、 $I_0$  を  $V_0$ ,  $R_0$ ,  $R$  を用いて表せ。

問8  $t = t_1$  から  $t = t_2$  までに、抵抗で発生したジュール熱  $E_0$  はいくらか。 $V_0$ ,  $R_0$ ,  $R$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  を用いて答えよ。

問9  $t = t_1$  から  $t = t_2$  までの間に手が金属棒Aにした仕事は、 $E_0$  の何倍か。 $R_0$ ,  $R$  を用いて答えよ。

問10  $t = t_1$  から  $t = t_2$  までの間に手が誘電体Pにした仕事は、 $E_0$  の何倍か。 $R_0$ ,  $R$  を用いて答えよ。