

# K<sub>b</sub> 物 理 問 題

## 注 意

1. 試験開始の指示があるまでこの問題冊子を開いてはいけません。
2. 解答用紙はすべてHBの黒鉛筆またはHBの黒のシャープペンシルで記入することになっています。HBの黒鉛筆・消しゴムを忘れた人は監督に申し出てください。(万年筆・ボールペン・サインペンなどを使用してはいけません。)
3. この問題冊子は12ページまでとなっています。試験開始後、ただちにページ数を確認してください。なお、問題番号はI～IVとなっています。
4. 解答用紙にはすでに受験番号が記入されていますので、出席票の受験番号が、あなたの受験票の番号であるかどうかを確認し、出席票の氏名欄に氏名のみを記入してください。なお、出席票は切り離さないでください。
5. 解答は解答用紙の指定された解答欄に記入し、その他の部分には何も書いてはいけません。
6. 解答用紙を折り曲げたり、破ったり、傷つけたりしないように注意してください。
7. 計算には、この問題冊子の余白部分を使ってください。
8. この問題冊子は持ち帰ってください。

### マーク・センス法についての注意

マーク・センス法とは、鉛筆でマークした部分を機械が直接よみとって採点する方法です。

1. マークは、下記の記入例のようにHBの黒鉛筆で枠の中をぬり残さず濃くぬりつぶしてください。
2. 1つのマーク欄には1つしかマークしてはいけません。
3. 訂正する場合は消しゴムでよく消し、消しきずはきれいに取り除いてください。

マーク記入例：

A	1	2	3	4	5
	○	○	●	○	○

 (3と解答する場合)

I. 次の文A・Bの空所  ・  それぞれにあてはまる数式を解答用紙の所定欄にするせ。また、次の文C・Dの空所  ~  それぞれにあてはまる数値を有効数字2桁で解答用紙の所定欄にするせ。

A. 図1のような起電力が  $V$  の電池，電気容量が  $C_1$ ， $C_2$  であるコンデンサー，自己インダクタンスが  $L$  であるコイルとスイッチ  $S_1$ ， $S_2$  をつないだ回路がある。はじめ，スイッチは両方開いており，コンデンサーには電荷はないものとする。また，回路の抵抗は無視できる。今，スイッチ  $S_1$  を閉じ充分時間が経つとコンデンサーが充電された。その後に，スイッチ  $S_1$  を開け，スイッチ  $S_2$  を閉じると回路に振動する電流が流れた。振動の様子をオシロスコープで観察すると，その周期は  であった。

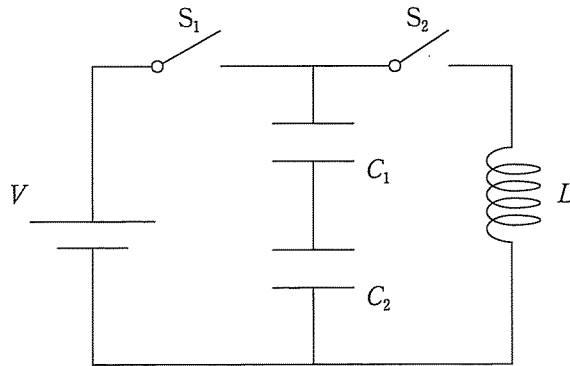


図1

B. 一定の振動数  $f_0$  [Hz] の音を出している音源がある。音の速さを  $V$  [m/s] とする。観測者、音源、反射板はこの順に一直線上に並んでおり、観測者と反射板が静止したまま、音源が速さ  $u$  [m/s] で反射板に近づいている。このとき、観測者には音源から直接伝わる音と反射板で反射された音によるうなりが聞こえる。ここで観測者が1秒間に聞くうなりの回数は  である。ただし、音源の速さ  $u$  は、 $V$  より小さいとする。

C. 図2のような断熱容器に水温  $20^{\circ}\text{C}$  の水  $100\text{ g}$  が入っており、水中に  $3.0\ \Omega$  の抵抗が設置されている。抵抗に起電力  $30\text{ V}$  の直流電源とスイッチ  $S$  をつなぎ、 秒間だけスイッチを閉じたところ、水温は  $80^{\circ}\text{C}$  になった。その後スイッチが開いた状態で、温度  $0^{\circ}\text{C}$ 、質量  $50\text{ g}$  の金属球を断熱容器に入れたところ、十分に時間がたつと水と金属球の温度は  $75^{\circ}\text{C}$  になった。金属球の比熱は   $\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$  である。ただし、水の比熱を  $4.24\text{ J}/(\text{g}\cdot\text{K})$  とし、熱のやりとりは水、抵抗、金属球の間でのみ起こるものとする。また、抵抗の熱容量は無視してよい。

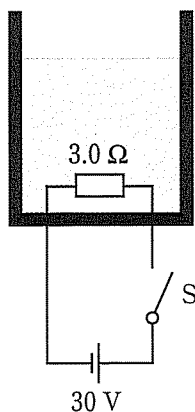
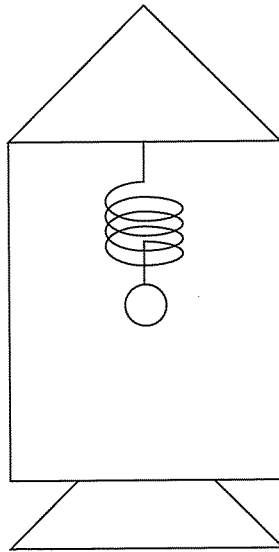


図 2

D. 携帯電話やスマートフォンには GHz 帯の電波がしばしば用いられている。周波数 1.0 GHz の電波の波長は、400 nm（可視光線の波長）の  倍である。ただし、光速を  $3.0 \times 10^8$  m/s とする。

II. 次の文の空所  ～  それぞれにあてはまる数式を解答用紙の所定欄にしるせ。

打ち上げ前で静止している宇宙船内部に、図のようにばね定数  $k$  の軽いばねに取り付けられた質量  $m$  の小球が吊り下がって静止している。重力加速度を  $g$  とし、この時のばねの長さを  $r$  とする。この状態から距離  $d$  だけ小球を下方にひっぱり静かに手を離した。この後に再びばねの長さが  $r$  となった時の小球の速さは  である。ばねの長さが  $r$  となった瞬間に、宇宙船は一定の加速度  $a$  で鉛直上向きに上昇を開始した。上昇中、重力加速度の変化が充分小さく重力加速度が  $g$  で一定とみなせる高度にいる間、宇宙船内の観測者から見た小球の運動の振幅は  である。その後、宇宙船はそのまま一定の加速度  $a$  で上昇を続け、地球の重力圏から充分遠方まで離れ重力加速度が 0 と見なせる高度に到達した。ここで小球をつり合いの位置に移動させた。この時のばねの長さは  である。その後、小球をばねの伸びる向きに距離  $d$  だけひっぱり静かに手を離した。このとき、小球の振動の周期は  となる。



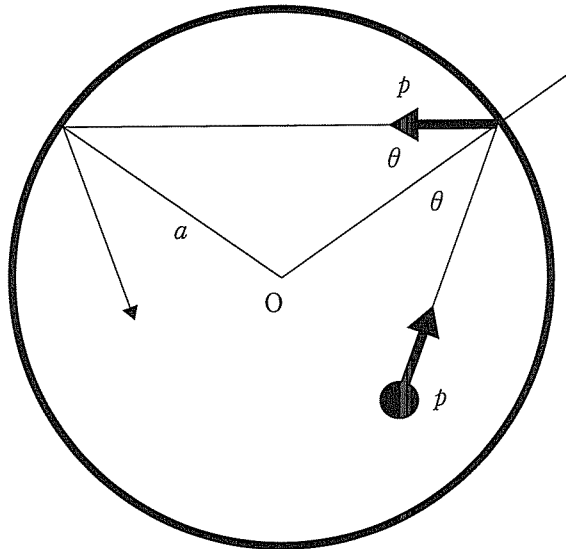
図

【必要があれば、このページは計算用紙に使用してよい】

Ⅲ. 光の圧力に関する次の文を読み、下記の設問1～6に答えよ。解答は解答用紙の所定欄にしるせ。ただし、光速を  $c$ 、プランク定数を  $h$  とする。

アインシュタインの光量子仮説によると、振動数が  $\nu$  である光は、エネルギーが  $E = \boxed{\text{あ}}$  であり運動量の大きさが  $p = \boxed{\text{い}}$  を持つ粒子のようにふるまい、光子と呼ばれる。光が粒子としての性質を持つことを使って、光の持つ圧力を調べよう。

光子の圧力を調べるために、半径  $a$  の球形の容器に  $N$  個の光子が入っている状況を考える。今、光子は大きさがなく、すべて等しい運動量の大きさ  $p$  をもち、容器内では常に光速で直線運動すると仮定する。また、光子は容器の壁と衝突すると、図で表されているように弾性衝突し、反射角は入射角と同じであり、運動量の大きさは変わらない。以下では光子どうしの衝突は無視できるものとする。



図

運動量  $p$  を持つ、ある1つの光子が入射角  $\theta$  で壁に衝突するとき、その光子が壁に与える力積の大きさは  $\boxed{\text{う}}$  である。このとき、壁に衝突してから、その光子が次に壁に衝突するまでにかかる時間は  $\Delta t = \boxed{\text{え}}$  である。よって、時間  $t$  の間に1つの光子が壁に衝突する回数は平均して  $\frac{t}{\Delta t}$  である。

容器内に  $N$  個の光子があり、あらゆる方向に同じ確率で運動しているとする。このとき、全光子が壁におよぼす力の大きさを時間的に平均すると  $\boxed{\text{お}}$  となる。よって、体積が  $V = \frac{4}{3}\pi a^3$  で表面積が  $S = 4\pi a^2$  である球形の容器内の光子は圧力  $\boxed{\text{か}}$  を持つ



ことがわかる。一方で、容器内の全光子の持つ内部エネルギー  $U$  は1つの光子のエネルギーを  $E$  として  $U = NE$  であり、これと冒頭で議論した光子のエネルギーと運動量の関係式を用いて運動量の大きさ  $p$  を消去すると、容器内の光子の内部エネルギー  $U$  と圧力  $P$  には  $U = 3PV$  の関係があることがわかる。この関係式は単原子分子理想気体の状態方程式を内部エネルギーで書き直した式  $U = \boxed{\text{き}} PV$  とは比例定数が異なっている。

1. 文中の空所  $\boxed{\text{あ}}$  ・  $\boxed{\text{い}}$  それぞれにあてはまる数式を  $\nu$ ,  $c$ ,  $h$  の中から必要なものを用いて表せ。
2. 文中の空所  $\boxed{\text{う}}$  にあてはまる数式を  $p$ ,  $\theta$  を用いて表せ。
3. 文中の空所  $\boxed{\text{え}}$  にあてはまる数式を  $c$ ,  $a$ ,  $p$ ,  $\theta$  の中から必要なものを用いて表せ。
4. 文中の空所  $\boxed{\text{お}}$  にあてはまる数式を  $N$ ,  $a$ ,  $p$ ,  $c$  を用いて表せ。
5. 文中の空所  $\boxed{\text{か}}$  にあてはまる数式を  $N$ ,  $p$ ,  $c$ ,  $V$  を用いて表せ。
6. 文中の空所  $\boxed{\text{き}}$  にあてはまる数をしるせ。

IV. 次の文A～Dの空所  ～  それぞれにあてはまる数式または記号を，解答用紙の所定欄にしるせ。

図1のように  $x$ - $z$  平面内で，正の電気量  $q$  をもった質量  $m$  の荷電粒子を電位差  $V_0$  で加速する。荷電粒子は電極 A から初速度 0 で出て，AB 間に発生する  $z$  軸に平行な一様電場で加速され，極板 B の小孔を通過して  $z$  方向に向かうものとする。

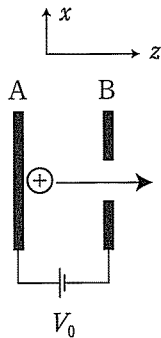
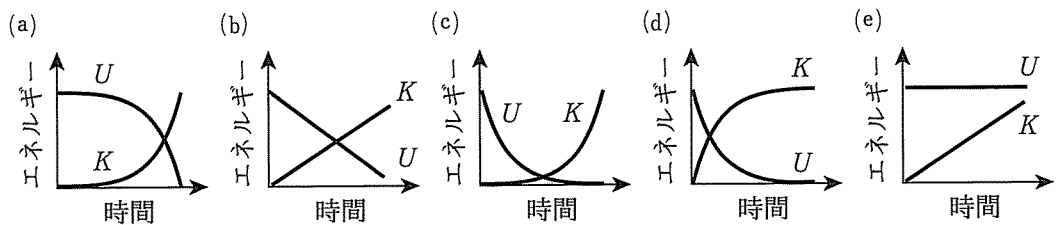


図 1

A. 極板 AB 間で加速されている最中の荷電粒子について，静電気力による位置エネルギー  $U$  と，運動エネルギー  $K$  の時間変化の様子として正しいものは，以下の a～e のうち  である。



B. 加速された荷電粒子が極板 B を通り抜けるときの速度の大きさは  である。

このようにして加速された荷電粒子を，図2のように，平行板コンデンサーの極板間に，極板に対して平行に入射させた。コンデンサーの極板は  $x$  軸に垂直で，極板間隔は  $d$  であり， $z$  軸方向の長さが  $l$  である。2つの極板の電位はそれぞれ  $+V$ ， $-V$  であり，荷電粒子は極板間にできる垂直で一様な電場の中を極板にぶつかることなく通過する。

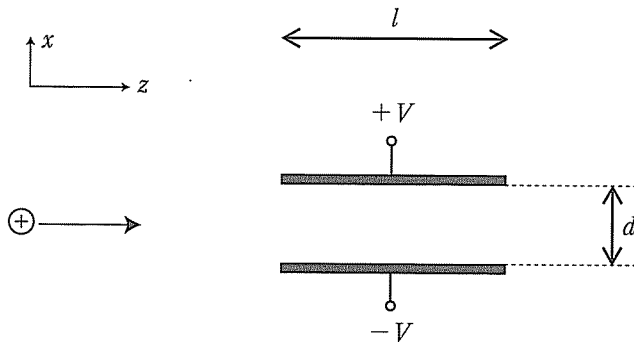


図2

C. 荷電粒子の軌道がコンデンサー内の電場によって曲げられるとき，コンデンサー右端における  $x$  方向の変位は  であり，コンデンサー通過後の荷電粒子は， $z$  軸に対して角度  $\theta$  ( $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ ) の方向に直進する。このとき， $\tan \theta =$   と表される。

D.  $x$ - $z$  平面に垂直に磁束密度の大きさ  の一様磁場を加えることにより，荷電粒子はコンデンサー内を直進することが可能である。ただし，磁場はコンデンサーの電極間のみが発生するものとする。

【以下余白】