

# 物 理

以下の各問題の解答はすべて解答欄に記入し、必要なら単位も含めて答えなさい。[2]～[5]は特に指示のない限り解答の過程も簡潔に示しなさい。

[1] 以下の文章の ( ① ) から ( ⑩ ) に適切な語句、数値または式を入れなさい。

[1] 真空中でも液体として存在する密度  $d$  [kg/m<sup>3</sup>] の液体を考える。この液体の中に質量  $m$  [kg]、一辺の長さが  $L$  [m] の立方体を入れ、立方体の上面が液面より  $h$  [m] の深さになるまで水平に沈めたときに立方体が受ける浮力と立方体の上面が受ける圧力を測定する実験を、地球上と月面上でおこなう。地球上での重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>]、液面での大気圧を  $P$  [Pa] とするとき、測定される浮力と全圧力はそれぞれ ( ① ) [N] と ( ② ) [Pa] である。この全圧力のうち、液体のみから受ける圧力は ( ③ ) [Pa] である。また、月面上はほぼ真空中で重力の大きさは地球上のおよそ 6 分の 1 であることが知られている。月面上では、立方体の上面が受ける全圧力は ( ④ ) [Pa] になる。一方で、無重力とみなせる宇宙ステーション内部で、立方体を入れた液体に  $P_0$  [Pa] の圧力を加えて密閉したとき、立方体が受ける浮力は ( ⑤ ) [N] である。

[2] 波の進む方向を  $x$  軸の正の方向として位置  $x$  [m]、時刻  $t$  [s] での変位  $y$  [m] が

$y = \frac{3}{10} \sin\{10\pi(t - \frac{x}{2})\}$  で表される波を考える。この波の、山の 변位と谷の 변位との差、周期、波長の物理量はそれぞれ ( ⑥ )、( ⑦ )、( ⑧ ) である。また、 $x = \frac{3}{2}$  m では  $x = 0$  m に比べ、位相が ( ⑨ ) だけ遅れる。ただし、位相の遅れは  $0 \sim 2\pi$  の範囲とする。このような式で表すことができる進行波を ( ⑩ ) 波という。

[3] 水素原子の線スペクトルの各波長  $\lambda$  は  $\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$  で与えられる。ここで定数  $R$  を ( ⑪ ) 定数といい、 $m$  は正の整数であり、 $n$  は ( ⑫ ) 以上の整数である。このうち  $m$  の値が ( ⑬ ) の輝線群はおもに可視光の波長領域にあり、( ⑭ ) 系列と呼ばれる。一方、太陽光や白熱電球から出る光は連続スペクトルである。このうち、太陽光の連続スペクトル中にみられる吸収スペクトル (暗い線、または暗線) を特に ( ⑮ ) 線という。

[4] 体積  $V$  [m<sup>3</sup>]、温度  $T$  [K]、圧力  $P$  [Pa] の理想気体 1 mol の状態方程式は、ボルツマン定数を  $k$  [J/K]、アボガドロ数を  $N$  [mol] として ( ⑯ ) と書ける。理想気体に 100 J の熱量を与えて定積変化させた場合、内部エネルギーの増加は ( ⑰ ) J である。理想気体に 100 J の熱量を与えて等温変化させた場合、内部エネルギーの増加は ( ⑱ ) J である。理想気体に 100 J の熱量を与えて定圧変化させた場合、内部エネルギーの増加が 60 J であったとすると、気体が外部からされた仕事は ( ⑲ ) J である。理想気体を断熱変化させた場合、内部エネルギーの増加が 100 J であったとすると、気体が外部からされた仕事は ( ⑳ ) J である。



2 図1のように、一端を壁に固定したばね定数  $k$  の軽いばねを滑らかな水平面上に置き、他端に質量  $M$  の薄い板を取り付ける。ばねが自然の長さにある状態で質量  $m$  の小球を板に隣接させ静止させる。このときの小球の位置を  $x = 0$  とし、ばねが伸びる方向を正方向として  $x$  軸を導入する。小球を手で押すこ

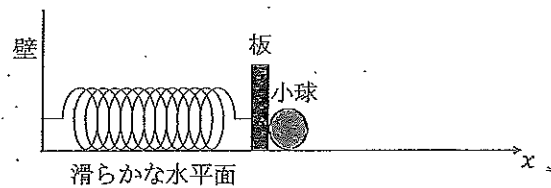
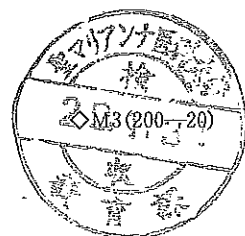


図1

とでばねを長さ  $D$  だけ縮め、小球から静かに手を放すと、板と小球は運動を開始した。以下の各問に答えなさい。ただし、〔1〕は解答の過程を示す必要はない。

- 〔1〕 小球と板が運動を開始してからしばらくは、2つの物体は互いに接した状態で運動した。このとき、小球が板から受ける垂直抗力の大きさを  $N$ 、小球と板の加速度を  $a$  ( $a > 0$ ) とする。小球の位置が  $x$  ( $x < 0$ ) であるときの小球の運動方程式と板の運動方程式を、それぞれ  $N$  を含む形で書きなさい。
- 〔2〕 小球が  $x = 0$  に到達したときの小球の速さを求めなさい。
- 〔3〕 小球が運動を開始してから、 $x = 0$  に到達するまでの時間を求めなさい。
- 〔4〕 板と小球が離れた後の板の位置  $x$  を時刻  $t$  の関数として表しなさい。ただし、小球が板から離れた時刻を  $t = 0$  とする。
- 〔5〕 ばねが最初にもっとも伸びた瞬間の小球の位置  $x$  を求めなさい。



3 真空中に2枚の極板A、Bからなる平行板コンデンサーがある。極板Bを接地し、極板Aに $Q$  [C] ( $Q > 0$ )の電荷量を与えた。AB間の距離を $d$  [m]、極板の面積をともに $S$  [m<sup>2</sup>]、真空中のクーロンの法則の比例定数を $k$  [N・m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>]とする。以下の各問に答えなさい。ただし、〔5〕は解答の過程を示す必要はない。

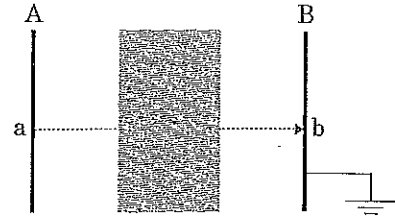
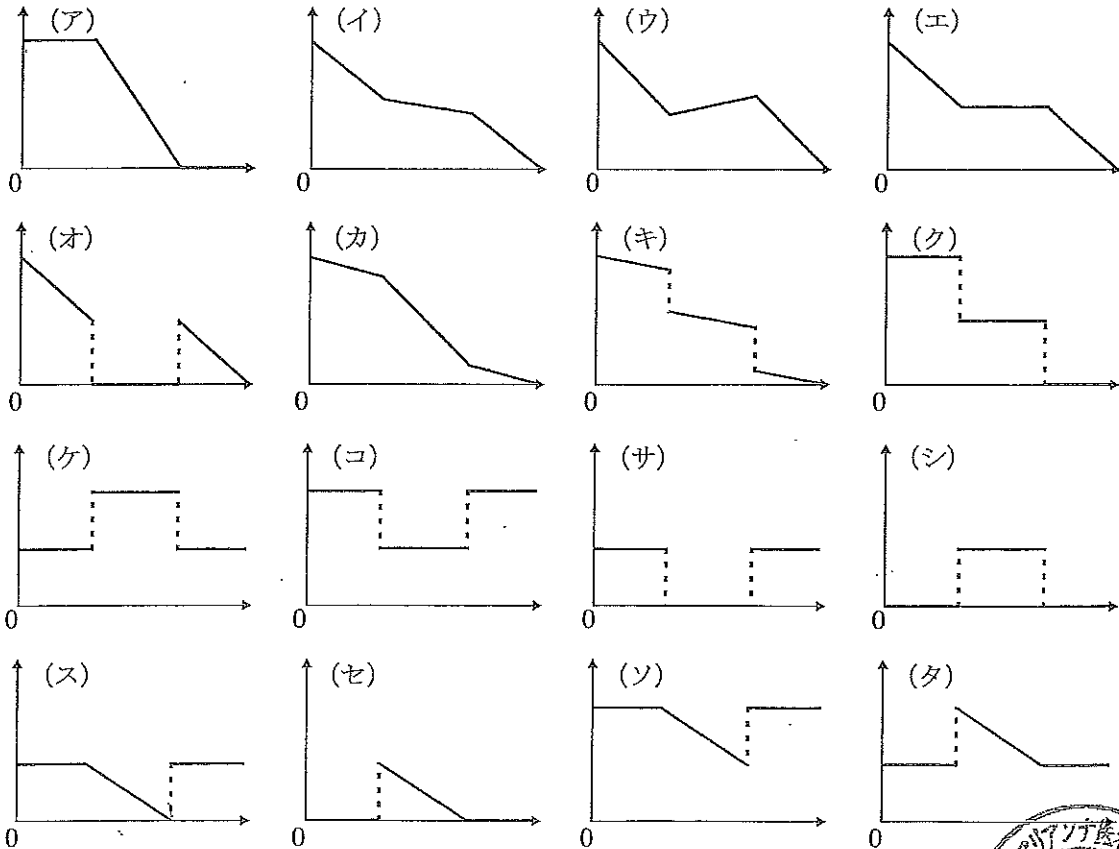


図2

- 〔1〕 極板間の電気力線の本数を求めなさい。ただし、電場に垂直な1 m<sup>2</sup>の面を貫く電気力線の本数は、その場所の電場の強さ[N/C]に等しいとする。
- 〔2〕 極板間の電場の大きさを求めなさい。ただし、極板間の電場は一様であるとする。
- 〔3〕 極板間の電圧を求めなさい。
- 〔4〕 極板Aが極板Bから受ける力の大きさを求めなさい。
- 〔5〕 図2に示すように極板間に帯電していない様な物体を挿入した。以下の1)、2)の場合について、図中のab間における電位および電場の大きさの変化を示すのもっとも適当なグラフを【選択肢】(ア)～(タ)から選び、その記号をそれぞれ答えなさい。ただし、グラフの横軸はab間の位置とし、aを原点としてaからbへ向かう方向を正の向きとする。また、縦軸は電位もしくは電場の大きさとする。
  - 1) 不導体を挿入した場合。
  - 2) 導体を挿入した場合。

【選択肢】



4 X線管によるX線の発生を考える。X線管の陰極に生じた速さ  $0 \text{ m/s}$  の熱電子が  $V \text{ [V]}$  の電圧により加速され、陽極（ターゲット）に衝突することによってX線が発生する。ここで陽極の原子の定常状態は基底状態と2つの励起状態からなるとする。図3は発生したX線の強さを、横軸に波長をとって示したものである。このうち波長  $\lambda_1 \text{ [m]}$ 、 $\lambda_2 \text{ [m]}$  における2つの鋭いピークはいずれも、陽極の原子内で、電子が定常状態間の移動により基底状態に移ったことによって生じたものである。電子の電荷を  $-e \text{ [C]}$ 、質量を  $m \text{ [kg]}$ 、真空中の光速を  $c \text{ [m/s]}$ 、プランク定数を  $h \text{ [J} \cdot \text{s]}$  とし、以下の各問に答えなさい。ただし、〔5〕、〔7〕は解答の過程を示す必要はない。

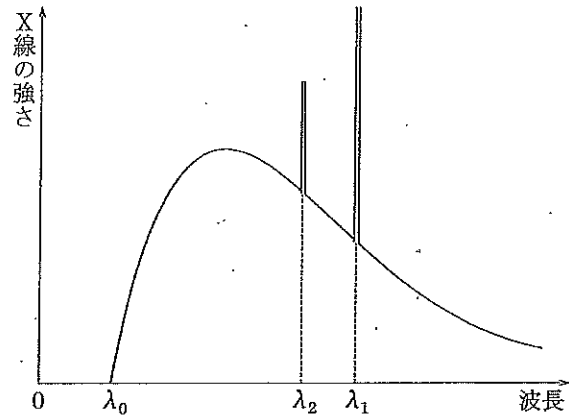


図3

- 〔1〕 陽極に衝突する直前の電子の速さを求めなさい。
- 〔2〕 〔1〕の速さにおける、電子の波長を求めなさい。
- 〔3〕 陰極から陽極へ向かう電子によってつくられる電流が  $I \text{ [A]}$  のとき、陽極に衝突する電子の数は毎秒何個かを求めなさい。
- 〔4〕 発生するX線の最短波長  $\lambda_0 \text{ [m]}$  を求めなさい。
- 〔5〕 波長  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  における2つのピークで特徴づけられるX線を一般に何と呼ぶかを答えなさい。
- 〔6〕 陽極の原子における、基底状態（量子数1）とそのすぐ上の励起状態（量子数2）とのエネルギー準位の差を求めなさい。
- 〔7〕 X線の発生にともなって、陽極の温度が上昇した。陽極の温度上昇と関係するX線はどのような波長  $\lambda \text{ [m]}$  をもつか。以下の【選択肢】(a)～(f)から該当するものをすべて選び、解答欄中の適切な記号を丸で囲みなさい。

【選択肢】 (a)  $\lambda = \lambda_0$  (b)  $\lambda_0 < \lambda < \lambda_2$  (c)  $\lambda = \lambda_2$  (d)  $\lambda_2 < \lambda < \lambda_1$  (e)  $\lambda = \lambda_1$  (f)  $\lambda_1 < \lambda$

- 〔8〕 X線管の電圧を  $V$  から下げてゆくと、ある電圧のときに陽極の原子の基底状態にある電子を電離させることができなくなった。このときに発生するX線の最短波長を求めなさい。ただし、励起状態（量子数2）のエネルギー準位を  $E \text{ [J]}$  ( $E < 0$ ) とし、静止した自由電子のエネルギーを  $0 \text{ J}$  とする。



5 容積が自由に変化する容器の中に水、氷、鉄球を入れて熱の移動を観察する実験をおこなった。用いる容器は外部との熱の出入りが無いものとし、容器の熱容量は無視できるものとする。また、水、氷、鉄球の比熱は温度によらず一定であるとし、すべて1気圧下での現象とする。以下の各問に答えなさい。

[1] 容器に20°Cの水150gと80°Cの水100gを入れて密閉し、しばらく放置して熱平衡の状態にした。このときの温度をセルシウス温度で求めなさい。

[2] 容器に20°Cの水150gと225°Cの鉄球を入れて密閉し、しばらく放置して熱平衡の状態にした。このときの温度は25°Cであった。鉄球の熱容量はこの水全体の熱容量の何倍かを求めなさい。

[3] 容器に-20°Cの氷100gを入れて密閉し、容器の内部に熱量を一定の割合  $W$  [W] で与え続けたら、図4のように温度が変化した。水の比熱、氷の比熱、および氷の融解熱を  $W$  を用いて表しなさい。ただし、比熱の単位は  $[J/(g \cdot K)]$ 、融解熱の単位は  $[J/g]$  を用いなさい。

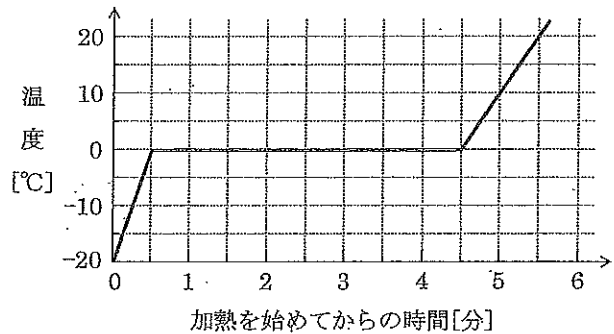


図4

[4] 容器に  $t$  [°C] の水100gと-30°Cの氷20gを入れて密閉し、しばらく放置して熱平衡の状態にした。このときの水の質量も100gであった。 $t$  を求めなさい。

[5] 容器に25°Cの水100gと-30°Cの氷20gを入れて密閉し、しばらく放置して熱平衡の状態にした。このときの温度をセルシウス温度で求めなさい。

以上

