H—31 Ⓐ

# 理　　科

15：00～17：30

## 解答上の注意

1. 試験開始の合図があるまで，この問題紙を開いてはならない。
2. 問題紙は 60 ページある。このうち，「物理」は 2 ～11 ページ，「化学」は 12～28 ページ,「生物」は 29～53 ページ,「地学」は 54～60 ページである。
3. 「物理」，「化学」，「生物」，「地学」のうちから，あらかじめ届け出た 2 科目について解答せよ。各学部・系・群・学科・専攻の必須科目(◎印)と選択科目(○印)は下表のとおりである。

| 学部・系・群・学科・専攻 ＼ 科目 | 総合入試 | | | | | 学部別入試 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 理系 | | | | | 医学部 | | | | | | 歯学部 | 獣医学部 | 水産学部 |
| | | | | | | | 保健学科 | | | | | | | |
| | 数学重点選抜群 | 物理重点選抜群 | 化学重点選抜群 | 生物重点選抜群 | 総合科学選抜群 | 医学科 | 看護学専攻 | 放射線技術科学専攻 | 検査技術科学専攻 | 理学療法学専攻 | 作業療法学専攻 | | | |
| 物理 | ○ | ◎ | ○ | ○ | ○ | ◎ | ○ | ◎ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 化学 | ○ | ○ | ◎ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 生物 | ○ | ○ | ○ | ◎ | ○ | ○ | ◎ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 地学 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | ○ |

4. **受験する科目のすべての解答用紙には，受験番号および座席番号(上下 2 箇所)を，監督者の指示に従って，指定された箇所に必ず記入せよ。**
5. 解答はすべて解答用紙の指定された欄に記入せよ。
6. 必要以外のことを解答用紙に書いてはならない。
7. 問題紙の余白は下書きに使用してもさしつかえない。
8. 下書き用紙は回収しない。



◇M11(517—97)

# 物　　理

**1**　以下の文中の $\boxed{(1)}$ ～ $\boxed{(11)}$ に適切な数式を入れよ。また，$\boxed{(あ)}$ には末尾の選択肢から適切なものを選べ。

図1のように，水平でなめらかな床の上に質量 $M$〔kg〕の台がある。台は左右対称で，中心がO，半径 $R$〔m〕の半円形状のなめらかなすべり面を有する。最上点AおよびCの最下点Bからの高さが $R$〔m〕となっている。大きさを無視できる質量 $m$〔kg〕の物体がこの台のすべり面上を運動する。右方向を正とする $x$ 軸を図1のようにとり，以下の物体および台の速度は床からみたものであり，重力(重力加速度の大きさを $g$〔m/s$^2$〕とする)が $x$ 軸に垂直で下方向に働くとしなさい。また，床と台および台と物体の間の摩擦は無視できるとしてよい。

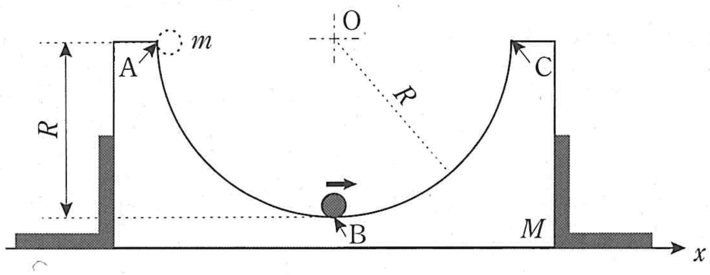


図1

**問1**　最初に，図1のように台が二つの固定具で床に固定されている場合を考える。時刻 $t=0$ s に最上点Aに保持された物体を静かに放すと，物体はすべり面に沿って初速度 0 m/s で動き始めた。物体が最下点Bを通過するときの物体の速さは $\boxed{(1)}$ 〔m/s〕となり，物体が台から受ける垂直抗力は $\boxed{(2)}$ 〔N〕となる。

**問 2**　次に，図 2 のように二つの固定具を外した場合を考える。台は $x$ 軸に平行な運動だけをする。前問と同様に，時刻 $t = 0$ s に最上点 A に保持された物体を静かに放すと，物体はすべり面に沿って初速度 0 m/s で動き始めた。このとき，物体が運動を開始すると台も運動を開始した。物体が初めて最下点 B を通過するときの物体の速度の $x$ 方向成分を $v$〔m/s〕，台の速度の $x$ 方向成分を $V$〔m/s〕とすると，運動量保存の法則より $\boxed{\quad(3)\quad}$，力学的エネルギー保存の法則より $\boxed{\quad(4)\quad}$ の関係が成り立つ。これらのことより，$v =$ $\boxed{\quad(5)\quad}$〔m/s〕，$V =$ $\boxed{\quad(6)\quad}$〔m/s〕であることがわかる。また，物体が最下点 B を通過するときまでに，台は初期位置から $\boxed{\quad(7)\quad}$〔m〕だけ $x$ 軸の $\boxed{\quad(あ)\quad}$ 方向に移動する。

$\boxed{\quad(あ)\quad}$ の選択肢：(ア)正　　(イ)負

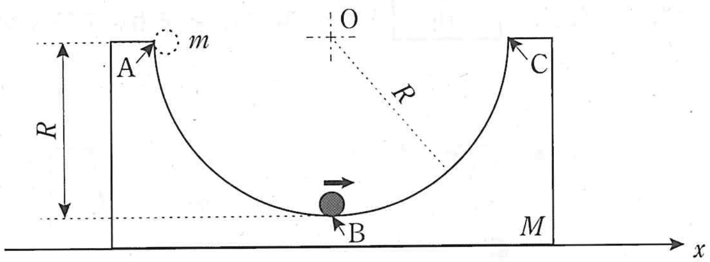


図 2

**問 3**　図3のように左の固定具を残し，右の固定具のみを外し，台が$x$軸の正方向のみに運動することができる場合を考える。時刻$t = 0$ sに最上点Aに保持された物体を静かに放すと，物体はすべり面に沿って初速度0 m/sで動き始めた。物体は初めて最下点Bを通過した後に，最下点Bからの高さが$h$〔m〕の最高到達点に到達した。物体が最下点Bを通過するときの速さは $\boxed{(1)}$〔m/s〕なので，最高到達点での物体の速度の$x$方向成分を$v_1$〔m/s〕，台の速度の$x$方向成分を$V_1$〔m/s〕とすると，最高到達点における運動量保存の法則より $\boxed{(8)}$ ，力学的エネルギー保存の法則より $\boxed{(9)}$ の関係が成り立つ。これより，$m$，$M$，$R$を用いて，$h =$ $\boxed{(10)}$〔m〕であることがわかる。

次に，時刻$t = 0$ sに物体が最上点Aから鉛直下向き初速度$v_0$〔m/s〕で，すべり面に沿って動き始める場合を考える。物体が最下点Bから$R$の高さの最上点Cに到達するためには，$v_0$が $\boxed{(11)}$〔m/s〕以上でなければいけない。なお， $\boxed{(11)}$ は$m$，$M$，$R$，$g$を用いて答えなさい。

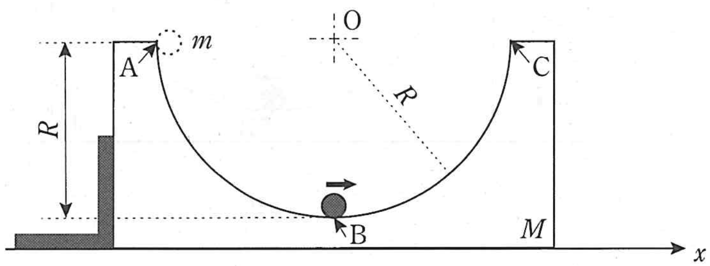


図 3

**2** 以下の文中の $\boxed{(1)}$ ～ $\boxed{(11)}$ に適切な数式を入れよ。また，$\boxed{(あ)}$，$\boxed{(い)}$，$\boxed{(う)}$ には以下の選択肢から適切なものを選べ。空気の誘電率は真空の誘電率 $\varepsilon_0$〔F/m〕に等しいものとし，重力の影響は無視せよ。

$\boxed{(あ)}$，$\boxed{(い)}$，$\boxed{(う)}$ の選択肢：

(ア) $A_1$ に向かう方向に合力が働く

(イ) $A_2$ に向かう方向に合力が働く

(ウ) 働く力の合力は0となる

**問 1** 1辺の長さが $L$〔m〕の正方形の2枚の電極 $A_1$，$A_2$ を $d$〔m〕だけ離して固定した平行板コンデンサーを考える（$d$ は $L$ に比べて十分小さいとする）。図1のように電極間に1辺の長さが $L$〔m〕，厚みが $t$〔m〕（$0 < t < d$）の正方形導体板を挿入する。導体板は電極に平行であり，かつ導体板と電極 $A_2$ との距離は $x$〔m〕であるとする。導体板を挿入する前のコンデンサーの電気容量は $\boxed{(1)}$〔F〕であったが，導体板を挿入することによりコンデンサーの電気容量は $\boxed{(2)}$〔F〕となる。ここで，電極 $A_1$，$A_2$ にそれぞれ $Q$〔C〕，$-Q$〔C〕（$Q > 0$）の電荷を与えたとき，導体板に働く力について考えてみよう。このとき，導体板の上面と下面にはそれぞれ，$-Q$〔C〕，$Q$〔C〕の電荷が誘起される。電極 $A_1$ と導体板の間の電場の大きさは $\boxed{(3)}$〔V/m〕であり，電極 $A_1$ 上の電荷が導体板上面に誘起された電荷 $-Q$〔C〕に対して与える力の大きさは $\frac{1}{2} \times Q \times \boxed{(3)}$〔N〕となる。電極 $A_2$ と導体板の間に働く力についても同様に考えると，電極 $A_1$，$A_2$ に与えられた電荷によって導体板に $\boxed{(あ)}$。

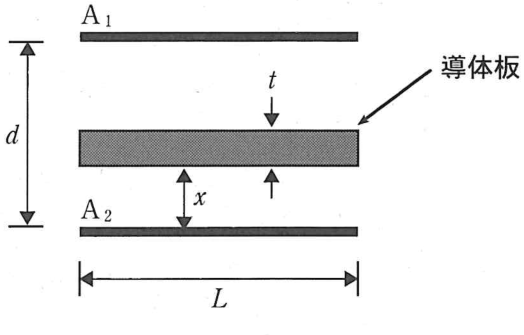


図1



◇M11(517—101)

**問 2**　図1のコンデンサーを図2のように絶縁体の容器の中におさめ，電極 $A_1$，$A_2$ にそれぞれ電荷 $Q$〔C〕，$-Q$〔C〕($Q > 0$)を与えた。導体板と電極 $A_2$ 間の距離を $x$〔m〕に保ったまま，電極 $A_2$ と導体板の間に誘電率 $2\varepsilon_0$〔F/m〕の液状の誘電体をすきまなく注入した。

このように誘電体を満たした状態で，導体板に働く力を求めてみよう。まず，コンデンサーの電気容量は $\boxed{\quad(4)\quad}$〔F〕であり，コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーは $\boxed{\quad(5)\quad}$〔J〕である。ここで導体板を $\Delta x$〔m〕だけ電極 $A_1$ に向かってゆっくり動かしたとしよう。このとき，導体板と電極 $A_2$ 間には常に誘電体が満ちているものとする。この間にコンデンサーに蓄えられた静電エネルギーの変化量は $\boxed{\quad(6)\quad}$〔J〕となり，これは導体板に働く力に対して外力がした仕事に相当する。以上から，コンデンサーに蓄えられた電荷によって導体板に $\boxed{\quad(い)\quad}$。また，その力の大きさは $\boxed{\quad(7)\quad}$〔N〕となる。

この力について電場の観点から考えてみる。電極 $A_1$，$A_2$ に蓄えられた電荷によって導体板の上面及び下面には $-Q$〔C〕，$Q$〔C〕の電荷が誘起される。電極 $A_1$ 上の電荷が導体板の上面に誘起された $-Q$〔C〕の電荷に対して及ぼす力の大きさは $\frac{1}{2} \times Q \times \boxed{\quad(3)\quad}$〔N〕であり，電極 $A_2$ 上の電荷が導体板の下面に誘起された $Q$〔C〕の電荷に対して与える力の大きさは $\boxed{\quad(8)\quad}$〔N〕となる。これらの値からも導体板が受ける力が $\boxed{\quad(7)\quad}$〔N〕であることが確かめられる。

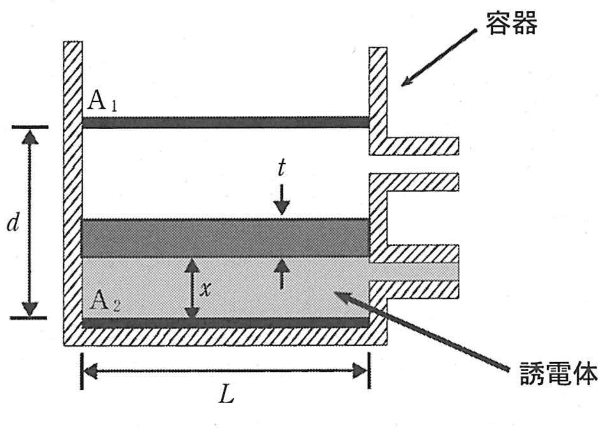


図 2

**問 3**　図1のコンデンサーの電極間に図3のようにスイッチを導入する。スイッチが開いた状態で導体板に $Q$〔C〕，電極 $A_1$ に $-Q$〔C〕の電荷を与えたとしよう($Q > 0$)。次にスイッチを閉じて十分時間が経った後，電極 $A_1$，$A_2$ に蓄えられている電荷はそれぞれ $\boxed{(9)}$〔C〕，$\boxed{(10)}$〔C〕となる。ここで $0 < x < \dfrac{d-t}{2}$ としたとき，導体板に働く力の大きさは $\boxed{(11)}$〔N〕となり，導体板に $\boxed{(う)}$ 。

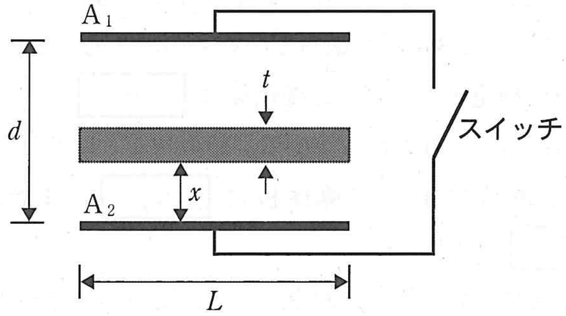


図 3

**3** 以下の文中の $\boxed{\quad(1)\quad}$ ～ $\boxed{\quad(11)\quad}$ に適切な数式，または数値を入れよ。

図1は，半径 $r$〔m〕の球形の中空容器で，質量 $m$〔kg〕の単原子分子 1 mol からなる理想気体が入っている。容器は断熱材でできており，球形を保ったまま大きさを変化させることができ，気体分子は器壁と完全弾性衝突する。容器の質量は分子の質量と比べ十分に大きく，分子の衝突によって容器の位置が変わることはなく，球の中心 O は動かない。また，分子同士の衝突は考えない。

すべての分子の速さを $v$〔m/s〕とすると，理想気体の内部エネルギー $U$〔J〕は分子の運動エネルギーの総和 $\dfrac{1}{2}mv^2N_A$〔J〕である。ここで，$N_A$ はアボガドロ数である。気体定数は $R$〔J/(mol·K)〕とする。

**問 1**　図1のように，半径を $r$〔m〕に固定した球形の中空容器内で速さ $v$〔m/s〕の分子が器壁の点Pに，点Pと球の中心Oとを結ぶ線と角度 $\theta$〔rad〕で衝突した。衝突前，速度のOP方向成分が $\boxed{\quad (1) \quad}$〔m/s〕であった分子は器壁との衝突により，速度のOP方向成分が $-\boxed{\quad (1) \quad}$〔m/s〕となる。ただし，OP方向成分はOからPの方向を正とする。この衝突により器壁が分子から受ける力積のOP方向成分は $\boxed{\quad (2) \quad}$〔N･s〕である。この分子が次に器壁に衝突するまでに $\boxed{\quad (3) \quad}$〔m〕移動するので，この分子は1秒間に $v/\boxed{\quad (3) \quad}$ 回器壁に衝突する。したがって，器壁がこの分子から1秒間に受ける力の大きさの平均は $\boxed{\quad (4) \quad}$〔N〕である。容器内の分子の速さがすべて $v$〔m/s〕であるとしたとき，全分子が器壁に与える力の大きさは $\boxed{\quad (4) \quad} \times N_A$〔N〕となる。この気体の圧力 $p$〔Pa〕は気体の内部エネルギー $U$〔J〕および球形容器の体積 $V$〔m$^3$〕を用いて $\boxed{\quad (5) \quad}\dfrac{U}{V}$〔Pa〕となる。この関係と理想気体の状態方程式より，内部エネルギー $U$ は，絶対温度 $T$〔K〕を用いて $U = \boxed{\quad (6) \quad} RT$ となる。

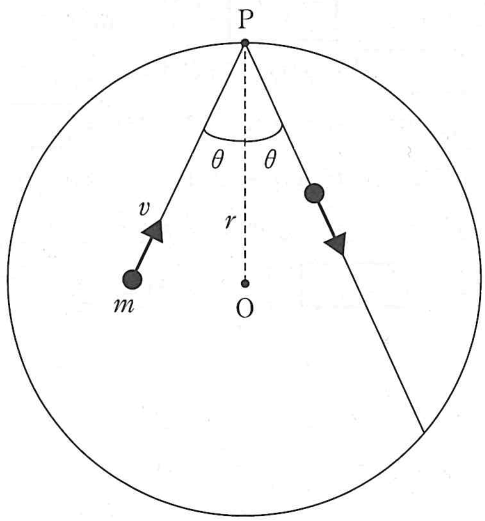


図1

**問 2**　つぎに断熱圧縮における体積，圧力，内部エネルギー，温度の変化について考えてみよう。図 2 のように，器壁が一定の速さ $w$〔m/s〕で $\Delta t$ 秒間収縮し，球形容器の半径が $r$〔m〕から $r - w\Delta t$〔m〕に減少した。ただし，器壁の収縮の速さ $w$〔m/s〕は分子の速さより十分に小さい。また，器壁が収縮した距離 $w\Delta t$〔m〕は半径 $r$〔m〕と比べ十分に小さく，器壁が収縮している間に分子は何度も器壁と衝突する。

球形の中空容器内で速さ $v$〔m/s〕の分子が速さ $w$〔m/s〕で収縮する器壁の点 P に，点 P と球の中心 O とを結ぶ線と角度 $\theta$〔rad〕で衝突した。衝突前，速度の OP 方向成分が $\boxed{\quad (1) \quad}$〔m/s〕であった分子は器壁との衝突により，跳ね返り係数が 1 であることから，速度の OP 方向成分が $-\boxed{\quad (7) \quad}$〔m/s〕となる。この分子の運動エネルギーの増分は，$w$ が $v$ より十分に小さいことから，$w$ の 2 乗に比例する項を無視すると，$\boxed{\quad (8) \quad}$〔J〕となる。

$\Delta t$ 秒間に球形容器の体積が $V$〔$m^3$〕から $V + \Delta V$〔$m^3$〕に変化した。器壁の収縮距離 $w\Delta t$〔m〕が半径 $r$〔m〕と比べ十分に小さいので，$\Delta V$ を $\dfrac{w\Delta t}{r}$ の 1 乗の項まで求めると，$\boxed{\quad (9) \quad}\dfrac{w\Delta t}{r}V$〔$m^3$〕である。分子が問 1 と同様に 1 秒間に $v/\boxed{\quad (3) \quad}$ 回器壁に衝突するものとすると，器壁が収縮している $\Delta t$ 秒間に気体の内部エネルギーは，$\Delta U = \boxed{\quad (10) \quad}\dfrac{U}{V}\Delta V$ 増加する。

一方，理想気体の状態方程式より，気体の圧力上昇分を $\Delta p$〔Pa〕とすると，$V\Delta p + p\Delta V = R\Delta T$ の関係があるので，温度変化 $\Delta T$〔K〕と圧力上昇分 $\Delta p$ には $\Delta T = \boxed{\quad (11) \quad}\dfrac{T}{p}\Delta p$ の関係があることがわかる。

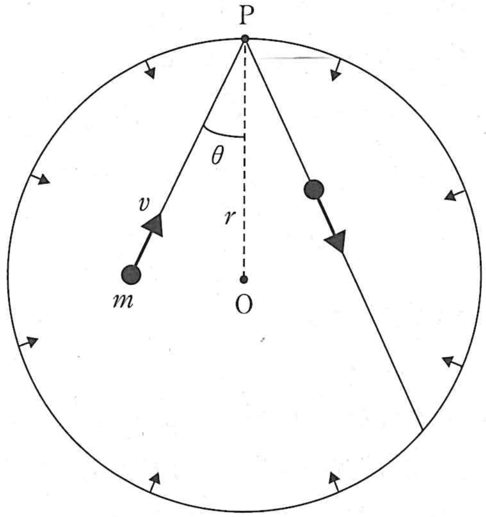


図 2