北海道大学　医学部 歯学部

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。

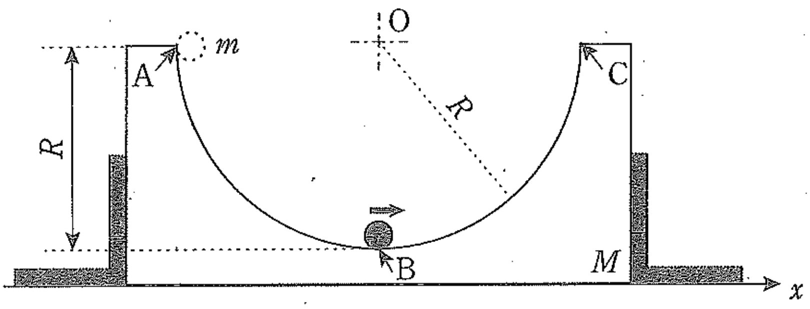

図1

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。

◇M11(517—98)

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

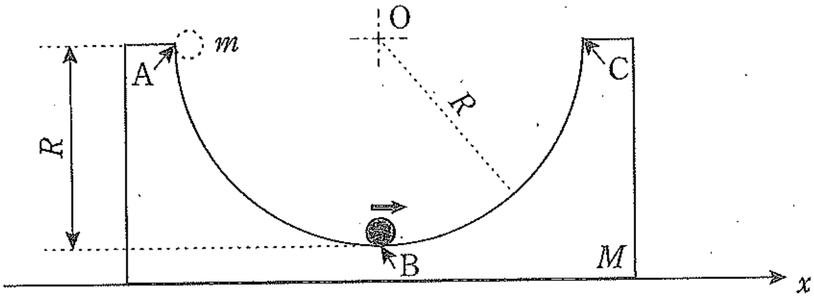

図 2

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 $\boxed{\quad(1)\quad}$〔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 $\boxed{\quad(8)\quad}$，力学的エネルギー保存の法則より $\boxed{\quad(9)\quad}$ の関係が成り立つ。これより，m，M，Rを用いて，$h =$ $\boxed{\quad(10)\quad}$〔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 $\boxed{\quad(11)\quad}$〔m/s〕以上でなければいけない。なお，$\boxed{\quad(11)\quad}$ はm，M，R，gを用いて答えなさい。

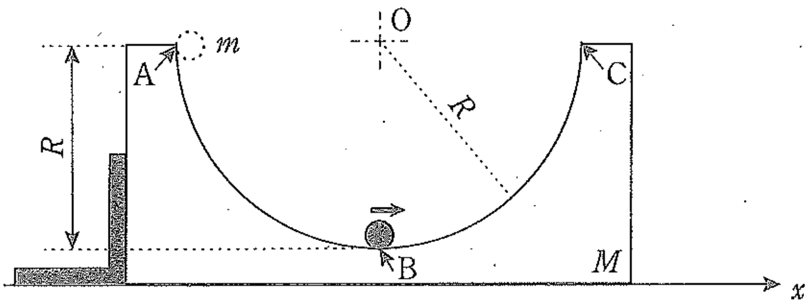

図 3

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 ε_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 $\boxed{(あ)}$ 。

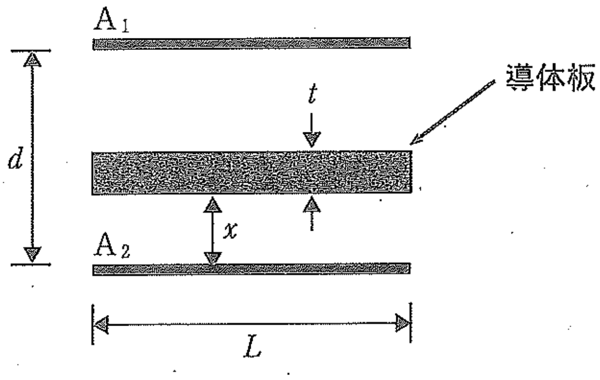

図 1

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Δx〔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$\dfrac{1}{2}\times Q\times$ $\boxed{\quad(3)\quad}$ 〔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。

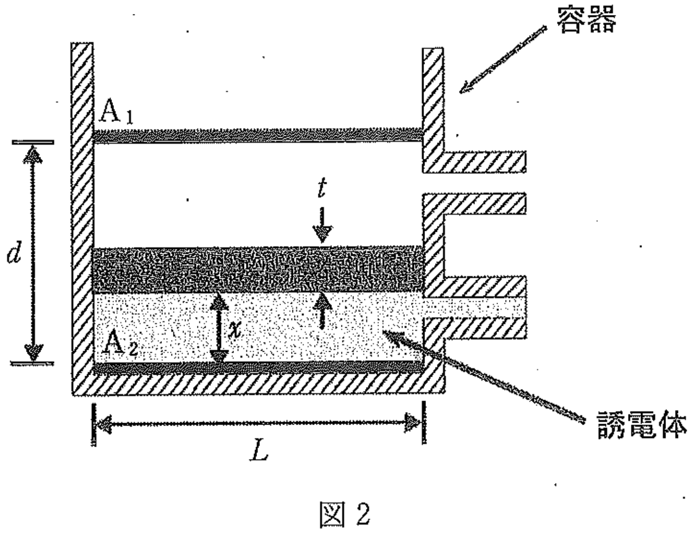

図 2

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 $\boxed{(う)}$ 。

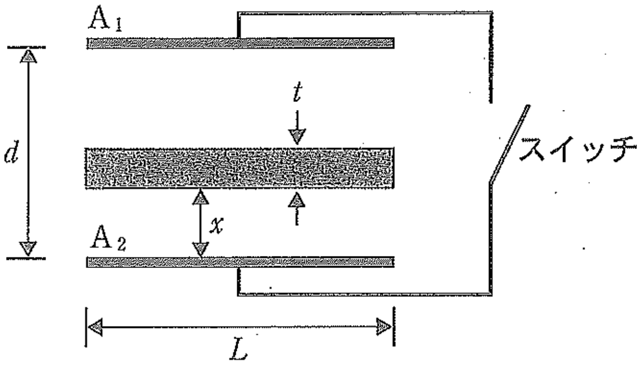

図3

$\boxed{3}$ 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 θ〔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。

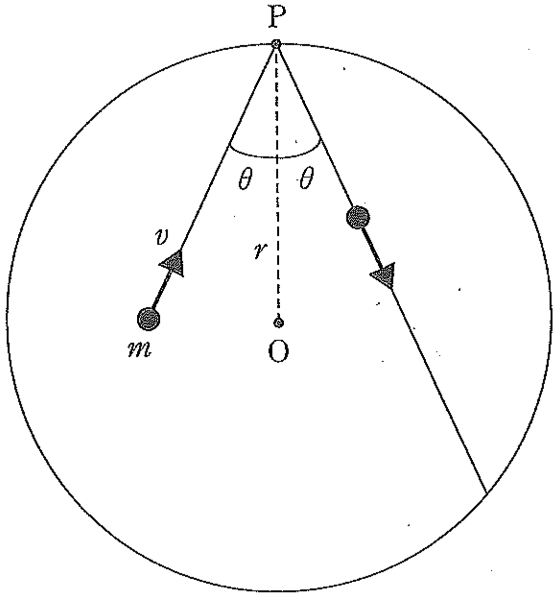

図 1

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 $\varDelta t$ 秒間収縮し，球形容器の半径が r〔m〕から $r-w\varDelta t$〔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 $w\varDelta t$〔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 θ〔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。

$\varDelta t$ 秒間に球形容器の体積が V〔m^3〕から $V+\varDelta V$〔m^3〕に変化した。器壁の収縮距離 $w\varDelta t$〔m〕が半径 r〔m〕と比べ十分に小さいので，$\varDelta V$ を $\dfrac{w\varDelta t}{r}$ の 1 乗の項まで求めると，$\boxed{\quad(9)\quad}\dfrac{w\varDelta t}{r}V$〔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 $\varDelta t$ 秒間に気体の内部エネルギーは，$\varDelta U=\boxed{\quad(10)\quad}\dfrac{U}{V}\varDelta V$ 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 $\varDelta p$〔Pa〕とすると，$V\varDelta p+p\varDelta V=R\varDelta T$ の関係があるので，温度変化 $\varDelta T$〔K〕と圧力上昇分 $\varDelta p$ には $\varDelta T=\boxed{\quad(11)\quad}\dfrac{T}{p}\varDelta p$ の関係があることがわかる。

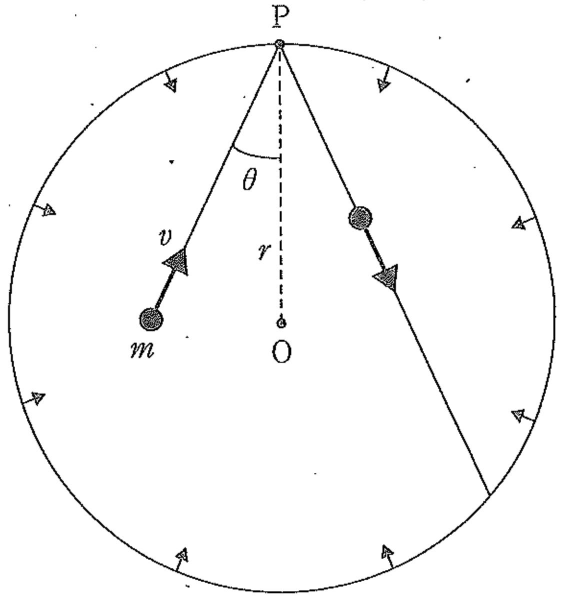

図 2