平成21年度入学試験問題

理　　科

（注 意 事 項）

1. 問題冊子は指示があるまで開かないこと。
2. 届け出た選択科目以外は解答してはならない。
3. 問題冊子のページ及び解答紙は次のとおりである。「始め」の合図があったら届け出た選択科目についてそれぞれを確認すること。

	問題冊子	解答紙	
科目	ページ	解答紙番号	枚数
物理Ⅰ・物理Ⅱ	1 ～ 12	18 ～ 20	3
化学Ⅰ・化学Ⅱ	13 ～ 30	21 ～ 27	7
生物Ⅰ・生物Ⅱ	31 ～ 50	28 ～ 32	5
地学Ⅰ・地学Ⅱ	51 ～ 63	33 ～ 37	5

4. 各解答紙の2箇所に受験番号を記入すること。
5. 解答はすべて解答紙の所定の欄に記入すること。
6. 計算その他を試みる場合は，解答紙の裏又は問題冊子の余白を利用すること。
7. この教科は，2科目250点満点（1科目125点満点）です。なお，医学部保健学科（看護学専攻）については，2科目100点満点に換算します。

物　理　Ⅰ・物　理　Ⅱ

〔1〕 以下の問いに答えよ。(45 点)

問 1. 文中の空欄にあてはまる語句または数式を答えよ。ただし，$\boxed{\text{ア}}$ などの一重欄には数式，$\boxed{\boxed{\text{ウ}}}$ などの二重欄には語句，また，同じ記号の欄には同じものが入る。

図 1 のように，なめらかな水平面上に置かれた質量 m の物体 A と質量 M の物体 B の運動を考える。物体 A と B は同一直線上を運動するものとし，速度や力などのベクトル量は，その直線方向の成分のみを持ち，図で右向きを正とする。

いま，物体 A が速度 V で右に向かって運動し，静止している物体 B と衝突したとする。その際，物体 A と物体 B は時間 T の間接触し，その間に物体 A は物体 B に一定の力 F_0 を及ぼしたものとする。2 つの物体が接触している間の物体 B の加速度は $\boxed{\text{ア}}$ であり，2 つの物体が離れた後(衝突後)の物体 B の速度は $\boxed{\text{イ}}$ となる。それに対して，物体 A が物体 B から受ける力は，$\boxed{\boxed{\text{ウ}}}$ の法則より $\boxed{\text{エ}}$ であるから，衝突後の物体 A の速度は $\boxed{\text{オ}}$ となる。これらの結果より，衝突の際に働く力に関わらず，衝突の前後で 2 つの物体の $\boxed{\boxed{\text{カ}}}$ の和が変化しないことが分かる。

衝突のように短い時間に大きな力を及ぼし合う場合の運動は，力積を用いると記述しやすい。力積の単位は基本単位(kg, m, s)で表すと $\boxed{\text{キ}}$ である。いま考えている衝突の場合，物体 A が物体 B に及ぼした力積は $\boxed{\text{ク}}$ である。

また，衝突前後の物体の $\boxed{\boxed{\text{カ}}}$ の変化から衝突の際に働いた力積を求めることもできる。この関係から，物体 A が物体 B に及ぼした力積が最も小さくなるのは，反発係数(はねかえり係数)が $\boxed{\text{ケ}}$ の場合で，その時の力積は $\boxed{\text{コ}}$ となることが分かる。

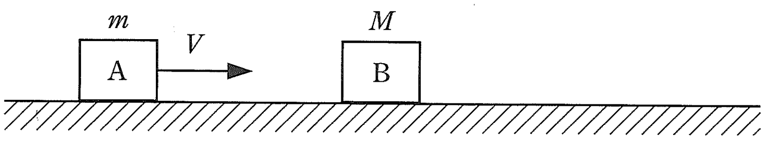


図 1

問 2. 図 2 に示すように，勾配 θ[rad] が $\tan\theta = 0.3$ で与えられる斜面上での，質量 m の 2 つの物体 C および D の運動を考える。斜面と物体 C との間には摩擦はないが，斜面と物体 D の間には摩擦力が働くものとする。

最初，物体 D は静止摩擦で斜面上に静止している。時刻 $t = 0$ に物体 C が物体 D から距離 X 離れたところから初速ゼロで滑り始め，時刻 $t = t_1$ に静止状態の物体 D と弾性衝突(完全弾性衝突)した。その後， 2 つの物体はいったん離れ，時刻 $t = t_2$ に再び斜面の途中で衝突した。

衝突している時間は極めて短く，衝突に対する静止摩擦の影響も無視できるものとする。また，斜面と物体 D との動摩擦係数を $\mu' = 0.3$ とし，重力加速度の大きさを g，速度は斜面に沿って下向きを正とする。

以下の問いに答えよ。ただし，(1)，(2)および(5)については答えだけではなく，導出過程も記すこと。

(1) 最初の衝突直前の物体 C の速度 V_0，および衝突の時刻 t_1 を求めよ。ただし，勾配は θ と記してよい。

(2) 最初の衝突直後の，物体 C の速度 V_C および物体 D の速度 V_D を求めよ。ただし，物体 C の衝突直前の速度として V_0 を用いてよい。

(3) 最初の衝突後に物体 D に作用する力をすべて，解答用紙の図中に矢印で記入せよ。さらに，それぞれの力の名称およびその大きさを書け。ただし，矢印の向きと長さは力の向きと大きさに対応させること。

(4) 時刻 $t = 0$ から再び衝突する時刻 $t = t_2$ までの物体 C および D の速度の時間変化を，それぞれ破線および実線で，解答用紙のグラフに示せ。ただし，グラフの軸の目盛は V_0 と t_1 を基準とすること。

(5) 物体 C と D が再び衝突するまでに物体 D が移動する距離 Y を，X を用いて表せ。

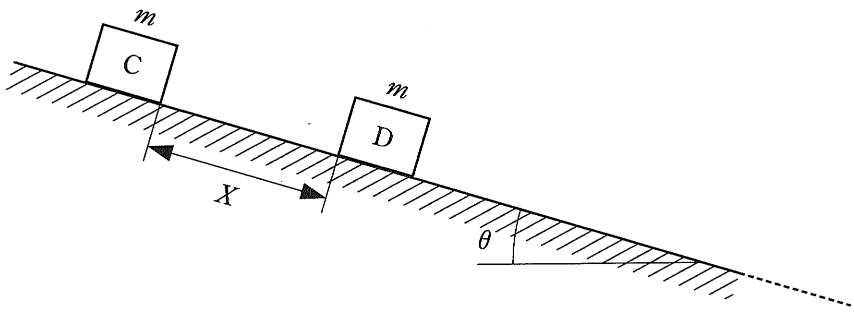


図 2

〔2〕 以下の問いに答えよ。(40 点)

図 3 のように，真空中に二枚の平板電極 1， 2 を水平に配置し，平行板コンデンサーを構成する。電極 1 は天井の絶縁壁に固定されており，電極 2 はバネ定数 k のバネを介して，床の絶縁壁に固定されている。電極 1， 2 はともに一辺が L の正方形である。はじめに，バネが自然長となる位置に周囲と絶縁されたストッパーを用いて電極 2 を固定したところ，電極 1 と電極 2 の距離は d であった。この状態を初期状態とする。鉛直方向に x 軸をとり，初期状態の電極 2 の位置を原点とする。

両者の電極は，導線を介して，図に示す回路に接続されている。L は電極間距離に比べ十分大きく，電極表面の電荷は均一に分布するものとし，電極端部の影響は無視する。また，バネおよび導線の質量，導線の電気抵抗ならびに電池の内部抵抗は無視できるものとする。最初，スイッチ S_1，S_2 は共に開いており，電極 1， 2 には電荷は無かった。真空の誘電率を ε_0 とする。

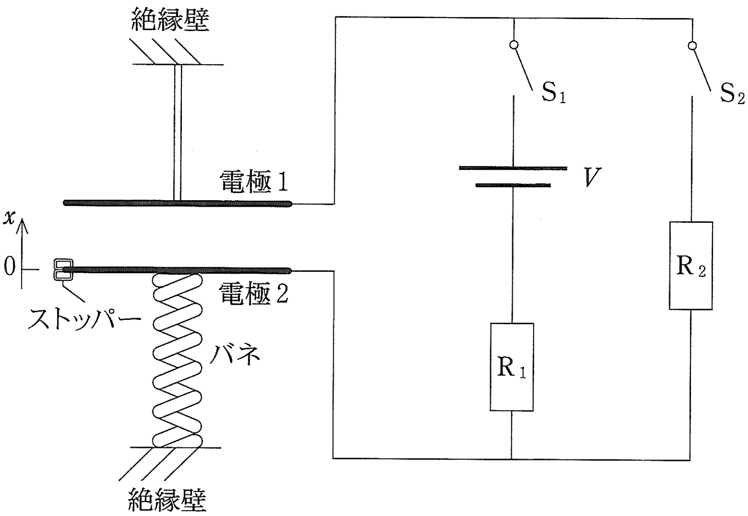


図 3

問 1. まず，電極 2 を $x=0$ の位置に固定した状態で，スイッチ S_1 を閉じ起電力 V の電池を用いてコンデンサーを充電した。

(1) 十分に時間が経過した後，電極 1 に蓄えられた電荷 Q はいくらか。L，d，V，ε_0，k の中から必要な記号を用いて答えよ。

(2) また，コンデンサーに蓄えられた静電エネルギー U_C はいくらか。L，d，Q，ε_0，k の中から必要な記号を用いて答えよ。

問 2. 次に，スイッチ S_1 を開いて電池を切り離した。

(1) 仮に，電極 1 を水平を保ったまま微小距離 Δx だけゆっくりと上昇させたとする。この場合の静電エネルギーの増加 ΔU_C を答えよ。

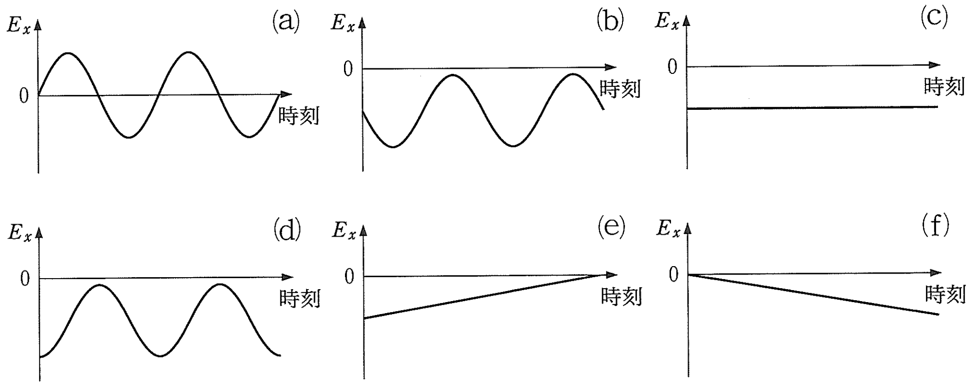
(2) 二枚の電極は正負に帯電しているので，引力を及ぼしあっている。電極を動かす時の外力の大きさがこの引力の大きさに等しいとして，電極間に働く引力 F の大きさを答えよ。ただし，電極 1 の質量は無視する。

問 3. さらに，スイッチ S_1 を開いたまま，電極 2 のストッパーを静かに外したところ，電極 2 は上昇を始めた。ストッパーを外した瞬間の時刻を 0 とし，その後の電極 2 の運動について考察する。ただし，電極 2 は水平を保って運動するものとし，電極 1 に触れないものとする。また，電極 2 の質量を m，重力加速度の大きさを g とする。

(1) 時刻 0 で電極が上昇するために Q が満たすべき条件を答えよ。

(2) 電極 2 が到達する最上点の座標 x_M はいくらか。L，d，Q，ε_0，k，m，g から必要な記号を用いて答えよ。

(3) 電極間の電界の x 成分 E_x の時間変化を表すグラフとして，最も適するものを，次の(a)から(f)の中から選べ。



問 4. 最後に，電極 2 が最上点の位置に来たところで，電極位置を再び固定し，次にスイッチ S_2 を閉じた。スイッチを閉じて十分時間が経つまでに抵抗 R_2 で消費されるエネルギーを U_{R2} とすると，U_{R2} と問 1 (2)で求めた，最初にコンデンサーに蓄えられた静電エネルギー U_C との差は次式によって与えられる。d，Q，ε_0，k，m，g から必要な記号を用いて $\boxed{}$ を埋めよ。

$$U_C - U_{R2} = \boxed{}\, x_M^2 + \boxed{}\, x_M$$

〔3〕 文中の空欄 $\boxed{\text{ア}}$ から $\boxed{\text{ソ}}$ にあてはまる数式を答えよ。ただし，角度および角速度の単位は，それぞれ rad および rad/s とし，円周率は π とする。必要があれば，三角関数の公式

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$$

を用いてよい。また，θ の大きさが十分小さいときには，$\sin\theta = \theta$，$\cos\theta = 1$ とせよ。(40 点)

問 1. 図4のように，xy 平面上で時計回りに角速度の大きさが ω で等速円運動をする物体を考える。xy 座標の原点を円の中心とし，時刻 t での物体の位置 $\vec{r}(t)$ を $\vec{r}(t) = (x(t),\ y(t))$ と表す。ただし，円の半径を r とし，時刻 0 では $\vec{r}(0) = (0,\ r)$ とする。同様に，速度 $\vec{v}(t)$ を $\vec{v}(t) = (v_x(t),\ v_y(t))$，加速度 $\vec{a}(t)$ を $\vec{a}(t) = (a_x(t),\ a_y(t))$ と表す。答えは，r，ω，t の中から必要な記号を用いて表せ。

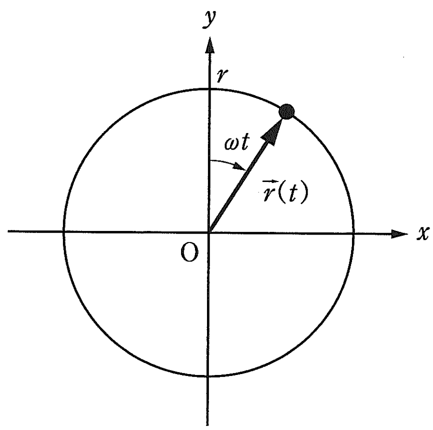


図4

時刻 t での物体の位置については，$x(t) = \boxed{\text{ア}}$，$y(t) = \boxed{\text{イ}}$ である。時刻 0 から Δt までの位置の変化 $\vec{r}(\Delta t) - \vec{r}(0)$ は，Δt が十分小さいときには $\vec{v}(0)\Delta t$ に等しいので，$v_x(0) = \boxed{\text{ウ}}$，$v_y(0) = \boxed{\text{エ}}$ である。$\vec{v}(0)$ と $\vec{v}(t)$ のなす角は ωt であるから，$v_x(t) = \boxed{\text{オ}}$，

$v_y(t) =$ $\boxed{\text{カ}}$ となる。同様に，速度の変化 $\vec{v}(\Delta t) - \vec{v}(0)$ は $\vec{a}(0)\Delta t$ に等しいので，$a_x(0) =$ $\boxed{\text{キ}}$ ，$a_y(0) =$ $\boxed{\text{ク}}$ である。$\vec{a}(0)$ と $\vec{a}(t)$ のなす角は ωt であるから，$a_x(t) =$ $\boxed{\text{ケ}}$ ，$a_y(t) =$ $\boxed{\text{コ}}$ となる。

問 2. 図5のように，質量 m の多数の物体を，質量が無視できるバネ定数 k の同じバネでつなぎ，なめらかな水平面上の直線(x 軸)に沿って静止させる。このとき，各物体の間隔は d であり，左端から n 番目の物体の位置 x_n を $x_n = nd$ とする。次に，それぞれの物体を振幅 r，角振動数 ω で x 方向に単振動させる。時刻 t において，n 番目の物体がはじめに静止していた位置 x_n からの変位を $u_n(t)$ とする。以下では，すべての物体の変位が図6に示すように波長 λ の正弦波上にあり，時間の経過にしたがって，この正弦波が x 軸の正の向きに進む場合を考える。このとき，λ は d にくらべて十分に大きく，物体に作用する力はバネによるもののみとする。答えは，r，ω，t，d，λ，m，k の中から必要な記号を用いて表せ。

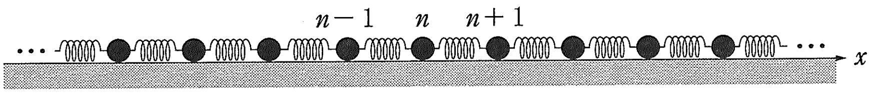


図5

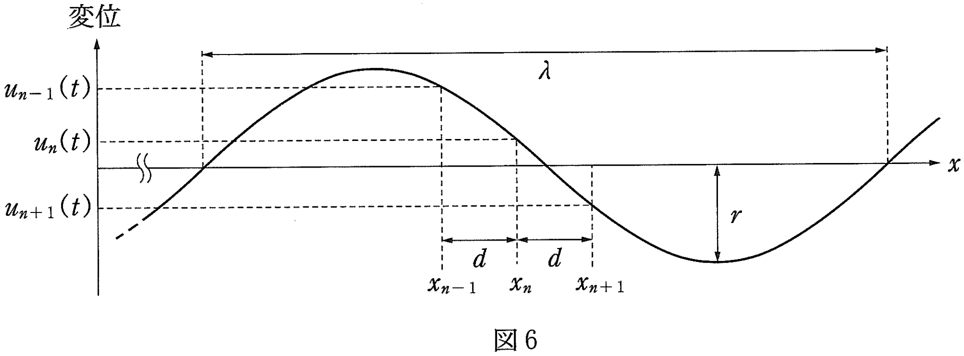


図6

それぞれの物体の単振動は，等速円運動を直線上に投影した運動と考えてよい。いま，P 番目の物体についてみたところ，対応する等速円運動の回転角が ωt であり，単振動の変位は $u_P(t) = r\sin(\omega t)$ であった。このとき，$P-1$ 番目と $P+1$ 番目の物体に対応する等速円運動の回転角は，それぞれ $\boxed{\text{サ}}$ と $\boxed{\text{シ}}$ となり，$u_{P-1}(t) = r\sin(\boxed{\text{サ}})$，$u_{P+1}(t) = r\sin(\boxed{\text{シ}})$ となる。時刻 t において，P 番目の物体の加速度は $\boxed{\text{ス}}$ であり，P 番目の物体が左右のバネから受ける力の合力は $\boxed{\text{セ}} \times r\sin(\omega t)$ であるので，この物体の運動方程式から，ω と λ の間には $\omega^2 = \boxed{\text{ソ}}$ の関係がある。