物　　　　　　理　(120分)

(令和6年度　前期日程)

注 意 事 項

問題冊子	解答用紙
1. 試験開始の合図があるまで，この問題冊子を開いてはいけない。 2. 問題冊子は全部で12ページである。表紙を開くと白紙があり，その裏が1ページ目である。不鮮明な印刷，ページの脱落に気付いたときは，試験監督者に申し出ること。 3. 問題冊子は持ち帰ること。	1. すべての解答用紙に受験番号，氏名を記入すること。記入を忘れたとき，あるいは誤った番号を記入したときは失格となることがある。 2. 解答用紙の枚数は，6枚である。 3. 解答(答えおよび導出過程)は，指定された箇所に記入すること。

I　図のように，水平面 BE 上に接続された半径 h〔m〕のなめらかな円弧状斜面の点 A に質量 m〔kg〕の大きさが無視できる小物体 α を手で保持する。E の位置にある壁にばね定数 k〔N/m〕のばねの右端を固定している。ばねが自然長のときの左端の位置を点 D とし，左端には板が接続されている。板には質量 $3m$〔kg〕の大きさが無視できる小物体 β が接触し静止している。

板とばねの質量および板の厚さは無視できるものとする。BC 間の距離は l〔m〕である。BC 間での小物体 α，β と水平面との動摩擦係数は μ であり，BC 間以外では小物体 α，β と円弧状斜面および水平面の間には摩擦はない。また，板と水平面および板と小物体 β との間には摩擦はない。

静かに手を離すと小物体 α は点 A を離れ，点 B，点 C を通過し，点 D で小物体 β と一体となった。さらに，一体となった小物体 α と β は，ばねを自然長から最大 d〔m〕だけ縮めた。その後，小物体 α と β は左方へ運動し，一体となったまま，ばねから離れ，点 D，点 C，点 B を通過し，円弧状斜面を移動した。小物体 α と β，ばね，板は，紙面に垂直な方向には運動しない。空気抵抗は無視できるものとする。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。以下の問いでは g，h，k，l，m，μ のうち必要なものを用いて答えよ。導出過程も記すこと。　(配点：50 点)

(1)　小物体 α が点 B をはじめて通過したときの速さを求めよ。

(2)　小物体 α が点 C をはじめて通過したときの速さを求めよ。

(3)　小物体 α と β が一体となった直後の速さを求めよ。

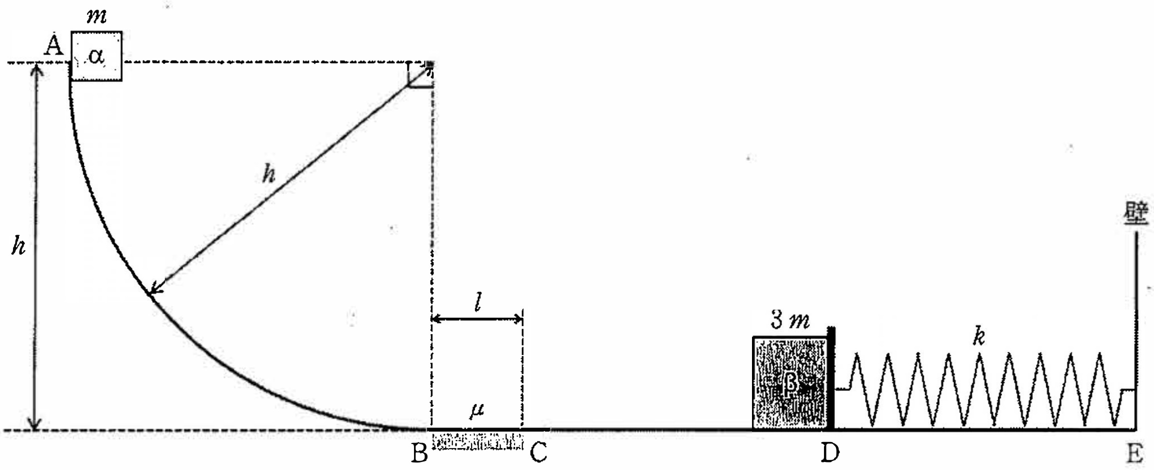
(4)　d を求めよ。

(5)　一体となった小物体 α と β がばねと接触してから離れるまでの時間を求めよ。

(6)　一体となった小物体 α と β が点 C をはじめて通過する直前の速さを求めよ。

(7)　一体となった小物体 α と β が点 B をはじめて通過した直後の一体となった小物体 α と β の運動エネルギーを求めよ。

(8)　一体となった小物体 α と β が円弧状斜面を移動したときに到達する最高点の水平面 BE からの高さを求めよ。



図

Ⅱ　図1のように水平右向きに x 軸を，鉛直上向きに z 軸をとる。水平面上に x 軸と平行に敷かれたレール上に台車が静止している。台車上の点Pに発射装置が搭載されている。台車と発射装置を合わせた質量は $24m$〔kg〕である。x 軸の正の方向には台Aがレール上に固定されている。台車と台Aの上面は水平面に平行であり，高さは等しい。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とし以下の問いに答えよ。ただし，台車は常にレールに接し，台車とレール間の摩擦，台車および小球への空気抵抗は無視できるものとする。導出過程も記すこと。　（配点：40点）

(1) 発射装置に，質量 m〔kg〕で大きさが無視できる2つの小球 $\mathrm{M_1}$ と $\mathrm{M_2}$ を装填する。図1のように xz 面内で台車上面となす角 θ〔rad〕$\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$ の方向に速さ v_0〔m/s〕で小球 $\mathrm{M_1}$ を打ち出した。発射後の台車の速度 u〔m/s〕および小球 $\mathrm{M_1}$ を打ち出すのに要したエネルギーを求めよ。

(2) 打ち出された小球 $\mathrm{M_1}$ は図2のように，台A上の点Qに衝突した。このとき点Qと台車上の点Pの距離が最大となる角度 θ を求めよ。

(3) (2)で小球 $\mathrm{M_1}$ が点Qに衝突した瞬間，速度 u で移動する台車上の点Pから，台車から見て速さ v_0，かつ台車から見て(2)で求めた角度 θ で小球 $\mathrm{M_2}$ を打ち出した。小球 $\mathrm{M_2}$ を打ち出した後の台車の速度 u_1〔m/s〕を m，v_0，g から必要なものを用いて表せ。

(4) (3)で打ち出した小球 $\mathrm{M_2}$ が台A上面に衝突するのに必要な，台A上の点RとQの間の最小の長さ D〔m〕を m，v_0，g から必要なものを用いて表せ。

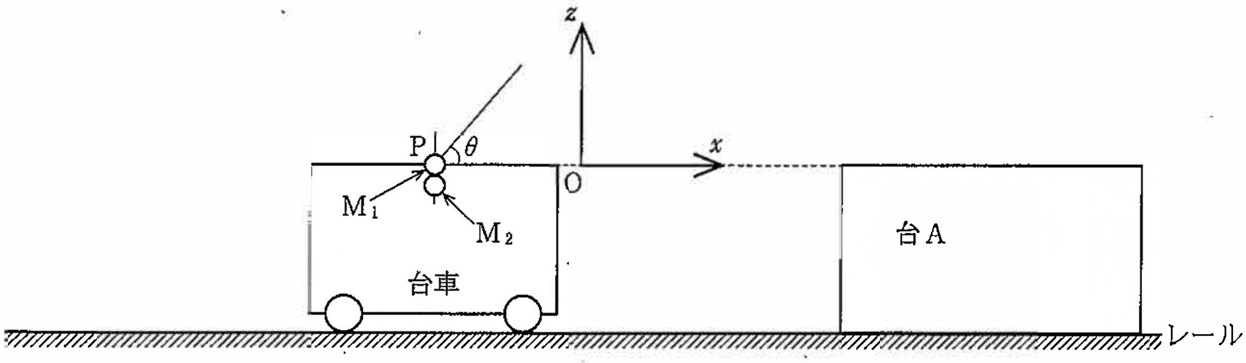


図1

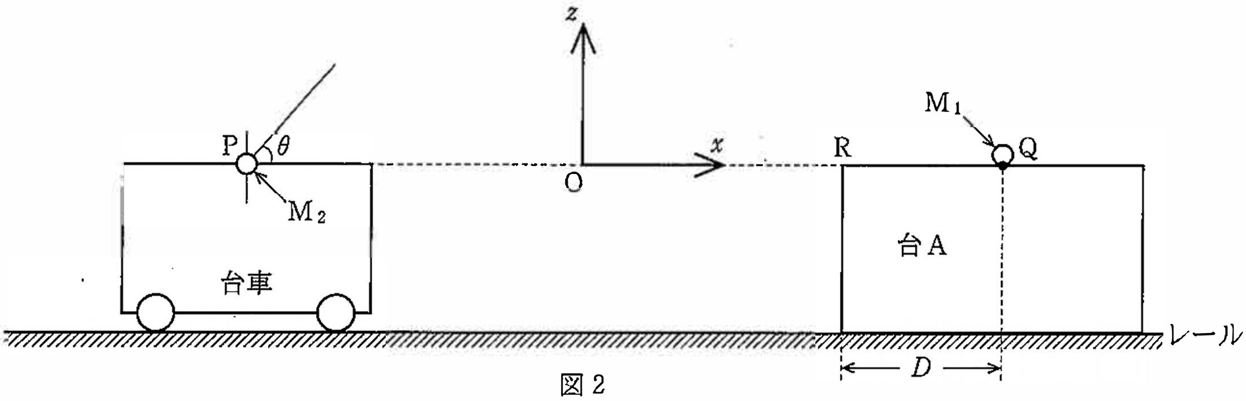


図2

Ⅲ　原点をO，水平軸をx軸，鉛直軸をz軸とする。図のように，真空中のxz面内に，点Cを中心とする半径r〔m〕の絶縁体でできた円環がある。円環の最高点Qには電気量$-q$〔C〕($q \geqq 0$)を持つ点電荷があり，円環に固定されている。質量m〔kg〕，電気量q〔C〕を持つ穴の開いた導体球を円環に通し，円環をz軸周りに回転させる。重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕，クーロンの法則の比例定数をk〔N･m^2/C^2〕，導体球のxz面内の$x > 0$での位置をPとするとき，線分COと線分CPのなす角度をθ〔rad〕($0 < \theta < \pi$)とする。円環の質量および太さ，導体球の大きさは無視できるものとし，以下の問いに答えよ。導出過程も記すこと。　　　　　　　　(配点：40点)

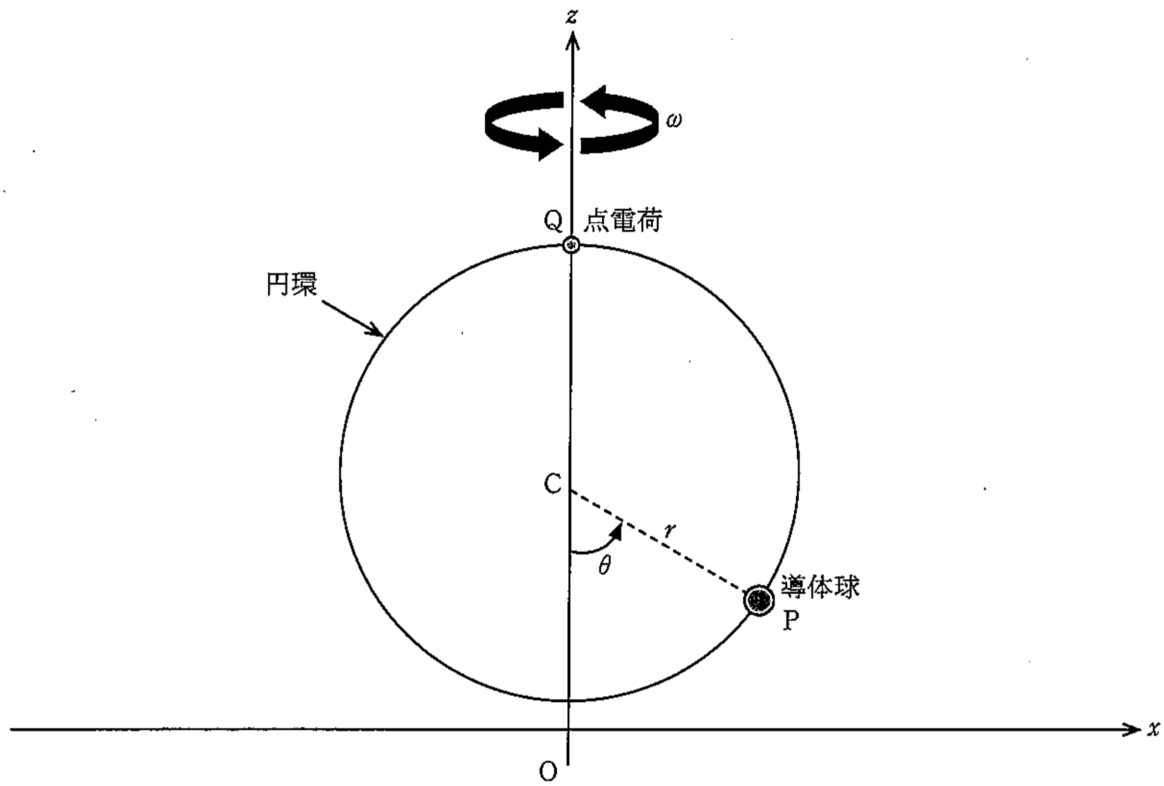
$q = 0$の場合を考える。

(1)　導体球と円環との間に摩擦がない場合について考える。円環をz軸周りに一定の角速度ω(> 0)〔rad/s〕で回転させた。円環がxz面を通過するとき，導体球は$\theta = \dfrac{\pi}{3}$ radの位置にあり，円環に沿って動かなかった。このとき，導体球が円環から受ける抗力をN_A〔N〕とする。ωおよびN_Aをm，g，rのうち必要なものを用いて答えよ。

(2)　導体球と円環との間に摩擦がある場合について考える。導体球と円環との間の静止摩擦係数はμ($< \dfrac{1}{\sqrt{3}}$)とする。まず，(1)と同じ一定の角速度ωで円環を回転させる。円環がxz面を通過するとき，導体球は$\theta = \dfrac{\pi}{3}$ radの位置にあり，円環に沿って動かなかった。角速度をωから，ゆっくり増加させ，ω_1〔rad/s〕より大きくなったとき，導体球は動きはじめた。また，角速度をωから，ゆっくり減少させ，ω_2(> 0)〔rad/s〕より小さくなったときにも，導体球は動きはじめた。ω_1とω_2をωとμを用いて答えよ。

$q > 0$の場合を考える。

(3)　導体球と円環との間に摩擦が働かない場合について考える。円環を(1)の場合と同じ一定の角速度ωで回転させた。円環がxz面を通過するとき，導体球は$\theta = \dfrac{2\pi}{3}$ radの位置にあり，円環に沿って動かなかった。このとき，導体球が円環から受ける抗力をN_B〔N〕とする。qおよびN_Bをm，g，r，kのうち必要なものを用いて答えよ。



図

$\boxed{\text{IV}}$ 以下の文章を読んで $\boxed{(イ)}$ ～ $\boxed{(ホ)}$ に適切な式を答えよ。$\boxed{(あ)}$，$\boxed{(い)}$ については，そのあとの括弧の中から適切なものを選択せよ。　(配点：40 点)

$y(x,\ t)$〔m〕を，x 方向に進行する正弦波の，時刻 t〔s〕における変位として $y(x,\ t) = A\cos\left\{2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)\right\}$ と書く。A〔m〕，λ〔m〕，T〔s〕は，その正弦波の振幅，波長，周期である。この波は，角周波数 $\omega = \frac{2\pi}{T}(>0)$〔rad/s〕と，$k = \frac{2\pi}{\lambda}(>0)$〔rad/m〕で定義される波数と呼ばれるものを用いることで，$y(x,\ t) = A\cos(kx - \omega t)$ と書き直せる。この波は，$\boxed{(イ)}$ の速さで，x の $\boxed{(あ)}$（① 正　② 負）の方向に進行する。

次に，図 1，2 のように振幅 A は同じだが，波数と角周波数が，わずかに異なる 2 種類の正弦波 $y_1 = A\cos(k_1x - \omega_1t)$，$y_2 = A\cos(k_2x - \omega_2t)$ を考える。ここで $k_1 = k + \frac{\Delta k}{2}$，$k_2 = k - \frac{\Delta k}{2}$，$\omega_1 = \omega + \frac{\Delta\omega}{2}$，$\omega_2 = \omega - \frac{\Delta\omega}{2}$ と定義し，$0 < \frac{\Delta k}{k} \ll 1$，$0 < \frac{\Delta\omega}{\omega} \ll 1$ を仮定している。両正弦波の和は三角関数に関する恒等式 $\cos(a-b) + \cos(a+b) = 2\cos a\cos b$ を使うと $y_1 + y_2 = (\boxed{(ロ)})\cos(kx - \omega t)$ と書き換えられる。

図 3 の実線は $y_1 + y_2$ の変位，破線は実線の極大と極小をなめらかに結んだ線を示す。実線で示される部分の x 方向への進行速度 v〔m/s〕は $\boxed{(ハ)}$ であり，破線で示される部分の x 方向への進行速度 v_g〔m/s〕は $\boxed{(ニ)}$ である。破線の節から節までの距離は $\boxed{(ホ)}$〔m〕になる。この図から，$\frac{\Delta k}{k}$ は約 $\boxed{(い)}$（① 0.01　② 0.02　③ 0.05　④ 0.1）であることもわかる。

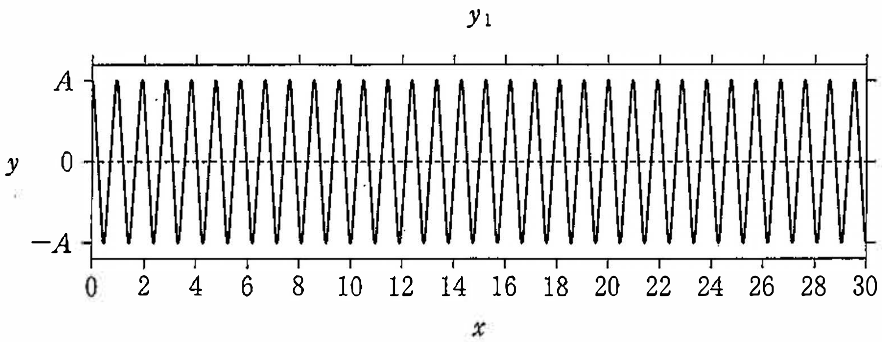


図 1　時刻 $t=0$ においての y_1 を示す。縦軸は変位，横軸には約 30 波長分までを含む。

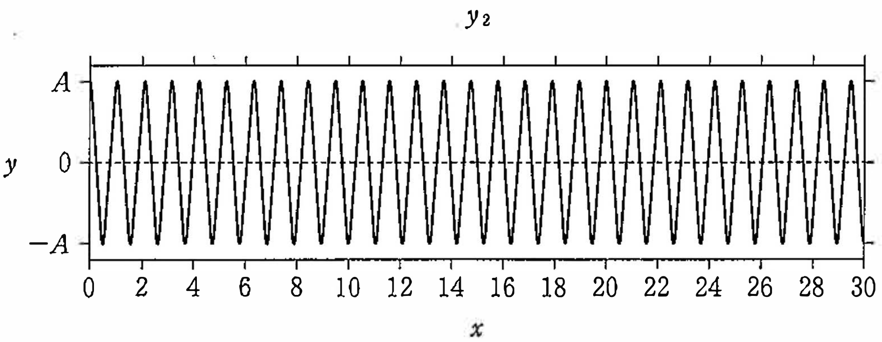


図 2　時刻 $t=0$ においての y_2 を示す。縦軸は変位，横軸には約 30 波長分までを含む。

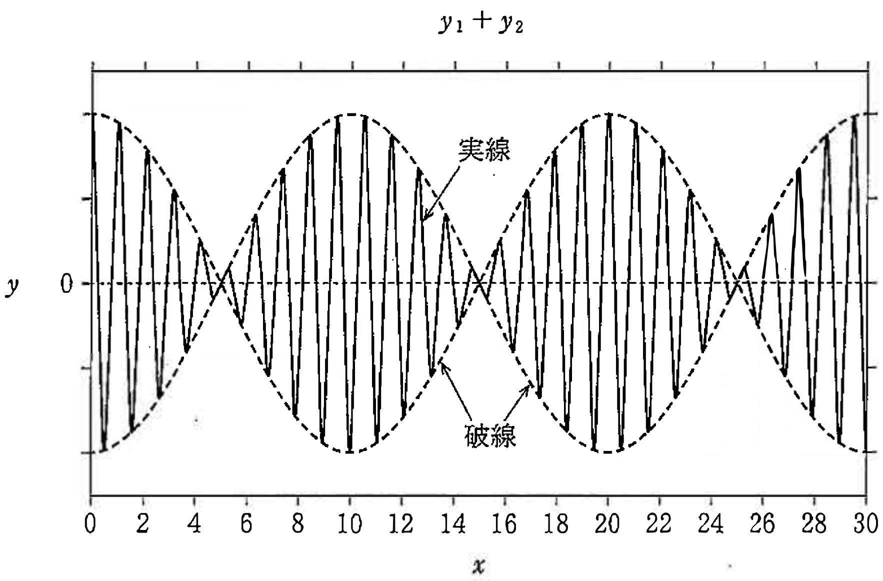


図 3　時刻 $t=0$ においての y_1+y_2 を示す。縦軸は変位，横軸には y_1 または y_2 の約 30 波長分までを含む。

令和６年度　海洋生命科学部・海洋資源環境学部

一般選抜（前期日程）

問 題 訂 正

物　理

訂正箇所　１ページ　$\boxed{\mathrm{I}}$　設問文　下から４行目

（誤）一体となったまま，<u>ばね</u>から離れ・・・

（正）一体となったまま，<u>板</u>から離れ・・・

訂正箇所　１ページ　$\boxed{\mathrm{I}}$　（５）

（誤）一体となった小物体αとβがばねと接触してから離れるまでの時間を求めよ。

（正）小物体αとβが一体となった時から，板から離れるまでの時間を求めよ。

以上