山形大学

2026 年度　前期日程　物理

（2 科目　120 分）

注意事項　問題を解く際の計算があれば，途中計算も解答用紙に書いてください。

1 図 1 のように，半径 r の半円形のレールを内面に取り付けた台を，水平でなめらかな床の上に静止させる。この状態を初期状態と呼ぶ。レールの円弧の中心を点 C，最下点を点 O とする。レールの表面はなめらかで，空気抵抗は無視できる。重力加速度の大きさを g とする。

はじめに初期状態のまま，台を床に固定する。点 O からレールにそって反時計回りに x_0 だけ離れた点 P に，質量 m の小球を置く（図 2)。x_0 は十分に小さく，小球から静かに手を離したところ，単振動をはじめた。小球の点 O からのレールにそった変位が x のとき，小球と点 C を結ぶ半径方向と鉛直方向のなす角を θ とする（単位はラジアン)。ただし，x，θ はいずれも反時計回りを正とする。

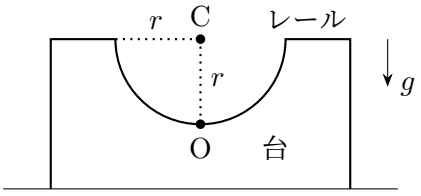


図 1

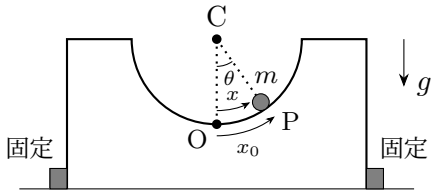


図 2

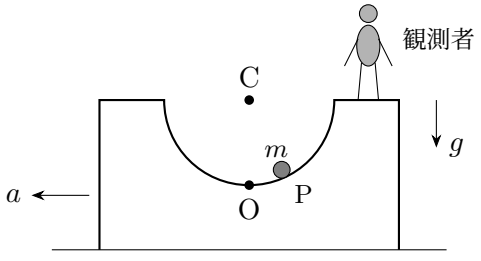


図 3

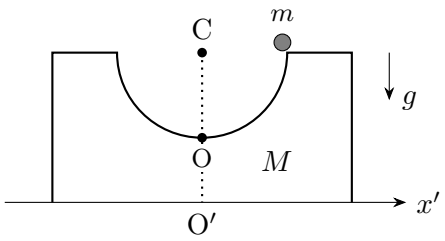


図 4

問 1　r，x を用いて θ を表せ。

問 2　振動中の小球に作用するレールの接線方向の力を求めよ（ただし，反時計回りを正とし，θ を用いること)。

問 3　レールの接線方向の加速度を求めよ（ただし，反時計回りを正とし，r，x を用いること）。その際，θ の大きさが十分小さいときに成立する近似式，$\sin\theta \fallingdotseq \theta$ を用いよ。

問 4　単振動の周期を求めよ。

台を初期状態に戻す。点 P に質量 m の小球を置き，静かに手を離す。同時に，図の水平方向左向きに加速度の大きさ a で台を等加速度直線運動させる（図 3）。台上の観測者から見た小球は単振動をはじめた。

問 5　観測者から見て小球の速さが最大となるとき，小球と点 C を結ぶ直線が鉛直方向となす鋭角を θ' とする。$\tan\theta'$ を求めよ。

問 6　単振動の周期を求めよ。

台を初期状態に戻す。点 O を通る鉛直線上の床上の点 O′ を原点とし，水平方向右向きに x' 軸をとる。台を固定せず，レールの右上端に小球を置き，静かに手を離す（図 4）。台の質量を M とし，レールの質量は無視できる。また台の形状は直線 CO に対して対称で，密度は一様とする。

問 7　小球が点 O に達したとき，その座標 x' を求めよ。

問 8　小球が点 O に達したとき，床に対する小球の速さを求めよ。

2 ソレノイド（コイル）を含む回路について以下の設問に答えよ。円周率を π とする。

図 1 のように半径 a [m] の円筒に一様に巻かれた巻数 N，長さ K [m] のコイル 1 がある。コイル 1 は，起電力 E [V] の電源，抵抗 x [Ω] の可変抵抗，およびスイッチ S と接続して回路をつくっている。なお，可変抵抗により回路に流れる電流値を変えることができる。コイル 1 の内部の透磁率は μ_0 [N/A^2] であり，コイル 1 の長さ K は，半径 a に比べて十分に長く，コイルの内部には一様な磁場が発生すると考えよ。また，コイル 1 の抵抗および円筒の厚さは無視できるほど小さいとして考えよ。

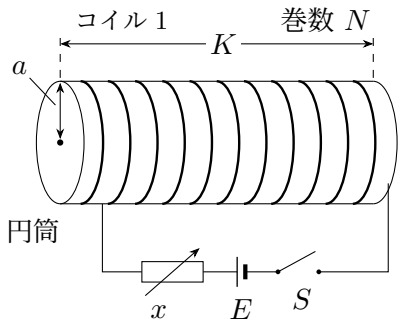


図 1

問 1　スイッチ S を閉じてコイル 1 に一定の電流 I_0 [A] を流しているとき，コイル 1 の内部での磁束密度の大きさ [T] を求めよ。I_0, K, N, μ_0, a, π から必要なものを用いて答えよ。なお, 1 T=1 N/(A·m) である。

問 2　問 1 のとき，コイル 1 の断面（半径 a）を垂直に貫く磁束 [Wb] を求めよ。I_0，K，N，μ_0，a，π から必要なものを用いて答えよ。

問 3　コイル 1 に流す電流 I [A] を，時間 Δt [s] の間に ΔI [A] だけ増加させたときに，コイル 1 に生じる誘導起電力の大きさ [V] を求めよ。I，K，N，μ_0，a，π，Δt，ΔI から必要なものを用いて答えよ。

問 4　コイル 1 の自己インダクタンス [H] を求めよ。I，K，N，μ_0，a，π，Δt，ΔI から必要なものを用いて答えよ。

以下の設問では，図 1 のコイルについて，問 4 で求めた自己インダクタンスを L [H] として答えよ。

問 5　スイッチ S を閉じた直後にコイル 1 に流れる電流 [A] を，数字ならびに，E，L，x から必要なものを用いて答えよ。

問 6　スイッチ S を閉じてコイル 1 に電流 I [A] が流れているとき，キルヒホッフの第 2 法則を用いて，この閉回路に成立する等式を示せ。このときの電流 I の時間変化率を $\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ [A/s] として，E，L，x，I，$\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ から必要なものを用いて答えよ。

問 7　スイッチ S を閉じて十分に時間が経過したとき，可変抵抗での消費電力 [W] を E，L，x から必要なものを用いて答えよ。

問 8　コイル 1 の自己インダクタンス L が 5 mH のときに，コイルに流れる電流値を 0.2 A から 0.4 A にすると，コイルに蓄えられるエネルギーの変化 [mJ] はいくらか。

図 2 のように，前問のコイル 1 の中に，半径 b [m] の円筒に一様に巻かれた巻数 Z，長さ K [m] のコイル 2 を挿入した。コイル 2 はコイル 1 と同じ向きに巻かれており，それぞれのコイルの中心軸ならびにコイルの両端は一致しているとする。コイル 2 の内部の透磁率は μ_0 とせよ。コイル 2 には R [Ω] の抵抗が接続されて閉回路をつくっている。また，コイル 2 の抵抗および円筒の厚さは無視できるほど小さいとして考えよ。

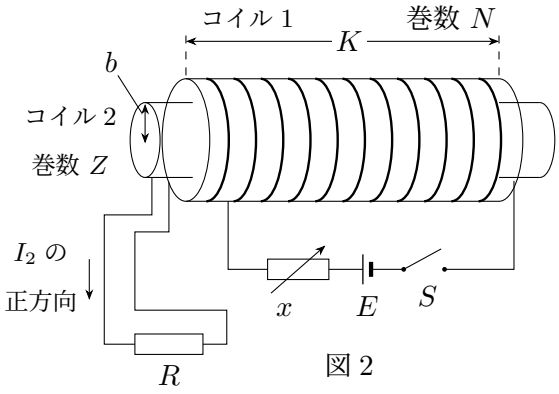


図 2

問 9　スイッチ S を閉じてコイル 1 に一定の電流 I_0 を流しているとき，コイル 2 の断面（半径 b）を垂直に貫く磁束 [Wb] を求めよ。I_0，K，Z，N，R，μ_0，a，b，π から必要なものを用いて答えよ。

問 10　コイル 1 とコイル 2 の間の相互インダクタンス [H] を求めよ。K，Z，N，R，μ_0，a，b，π から必要なものを用いて答えよ。

問 11　コイル 1 に流す電流を I_1 [mA] とし，I_1 を図 3 のように変化させたとき，コイル 2 に流れる電流 I_2 [mA] が変化した。コイル 1 とコイル 2 の間の相互インダクタンスを 3 mH，抵抗 R を 10 Ω として，I_2 の時間変化として最も適切なものを図 4 の (a) から (f) の中から選べ。なお図 2 中の矢印の向きを I_2 の正方向とし，また，コイル 2 の自己誘導は無視して考えよ。

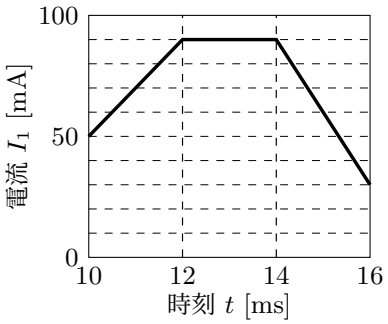

100
50
0
10
12
14
16
電流 I_1 [mA]
時刻 t [ms]

図 3

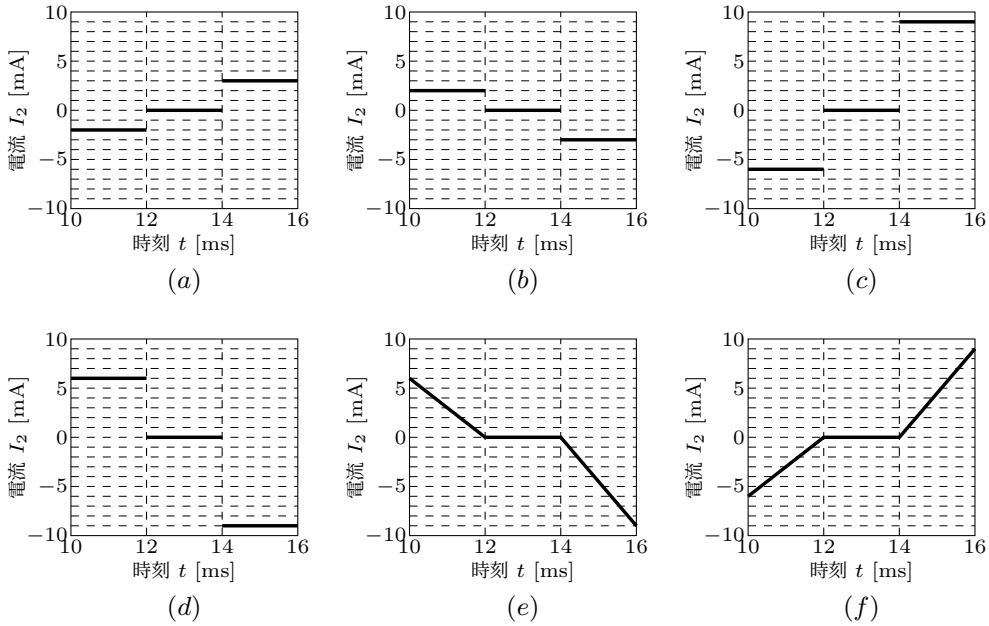

10
5
0
−5
−10
10
12
14
16
電流 I_2 [mA]
時刻 t [ms]
(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)

図 4

3 海中では浮力が作用するため，潜るためには推進力が必要である。だが，ある水深以上まで潜ると，水圧によって身体（肺）が押しつぶされることで浮力が減少し，推進力を加えなくても自重のみで潜っていくことができる。この状態を「フリーフォール状態」とよぶことにする。これを簡単な物理モデルで表現してみよう。

図 1 のように，シリンダと軽いフタからなる容器があり，容器内には n モルの単原子分子理想気体が封入されている。フタの面積は S，シリンダの質量は M である。フタは薄い平板で，シリンダの壁と垂直を保ちながら，容器内の気体をもらすことなく上下になめらかに動くことができる。シリンダ上面とフタとの距離を x とする。封入気体の絶対温度は常に T_0 で一定とする。大気圧を P_0，気体定数を R，重力加速度の大きさを g，海水の密度を ρ とする。封入気体の質量，シリンダの壁やフタの厚さ，フタの質量は無視できる。以下の問いに答えよ。ただし，（ウ）以降は，T_0 を用いずに答えよ。

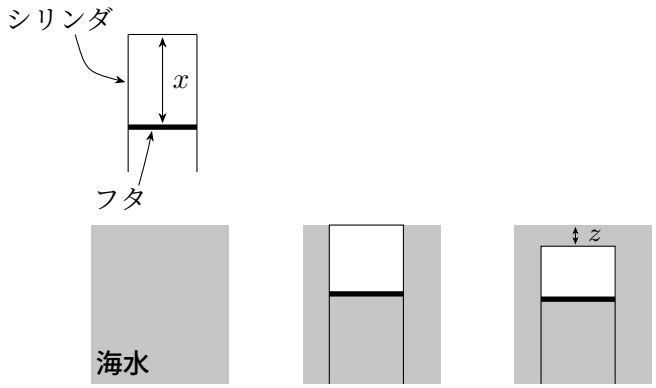


図 1

問 1　まず，図 1(a) のように容器全体を海水面の上で静かに保持した。以下の文章の空欄を埋めよ。

フタの質量は無視できるので，容器の向きによらず，封入気体の圧力は（ア）である。よって，フタの位置は $x =$（イ）と求められる。このときの x を L としよう。

次に，図 1(a) の状態のフタに鉛直上向きの力 F_1 を静かに加えて，フタを $x = x_1$ の位置で静止させた。このときの封入気体の圧力は，x_1 を用いて（ウ）となる。これより，フタに作用する力の釣り合いの式は（エ）と表される。これを x_1 について解くことで，フタに外力が加わったときのフタの位置が求められる。

問 2　次に，図 1(b) のように，容器を海水中に静かに沈めて，シリンダ上面の位置を海水面と一致させた。以下の文章の空欄を埋めよ。

静止しているフタの位置を $x = x_2$ とする。封入気体の圧力は x_2 を用いて［（オ）］となる。また，フタには海水から［（カ）］の圧力がかかっている。これより，フタに作用する力の釣り合いの式は［（キ）］と表される。これを x_2 について解くと，フタの位置の解として $x_2 =$［（ク）］を得る。

問 3　次に，図 1(c) のように，容器を完全に海水中に沈めた。シリンダ上面と海水面との距離を水深とよぶこととし，z で表す。以下の文章の空欄を埋めよ。

水深が z のとき，フタが x の位置で静止しているとすると，フタに作用する力の釣り合いの式は［（ケ）］と表される。水深が深くなり，z に対して x が十分に小さくなると，力の釣り合いの式において x/z の項が無視できる。このとき，フタの位置は近似的に $x \fallingdotseq$［（コ）］と求められる。

水深が $z = z_3$ のとき，容器に作用する重力と浮力が釣り合ったとする。このときのフタの位置を $x = x_3$ とする。容器に作用する重力の大きさは［（サ）］である。一方，容器に作用する浮力の大きさは［（シ）］である。容器に作用する力の釣り合いより，$x_3 =$［（ス）］を得る。このときの水深を上で求めた近似解を用いて求めると $z_3 \fallingdotseq$［（セ）］を得る。

この容器がフリーフォール状態になるときの水深を計算してみよう。$P_0 = 1.01 \times 10^5\,\mathrm{Pa}$，$g = 9.81\,\mathrm{m/s^2}$, $\rho = 1.03 \times 10^3\,\mathrm{kg/m^3}$ とする。また, ヒトの身体全体を容器とみなして, $S = 1.00 \times 10^{-1}\,\mathrm{m^2}$, $L = 1.70\,\mathrm{m}$，$M = 60.0\,\mathrm{kg}$ とする。これらの値を用いて m（メートル）の単位で一の位まで計算すると，$z_3 \fallingdotseq$［（ソ）］m となる。

問 4　封入気体が断熱的に変化する場合，問 3 で求めた z_3 の値は大きくなるか，小さくなるか，理由とともに答えよ。