〔Ⅰ〕 図1に示すように密度ρ_1，底面積S，高さdの円柱状の物体がある。いま支点Aに固定された自然の長さℓ_0，ばね定数kのばねを用いて，物体を上面の中心Bでつる。以下のすべての問いで，ばねの質量は無視できるものとする。また重力加速度の大きさをgとせよ。

問 1　物体の質量mを求めよ。

問 2　物体がつり合いの位置にあるとき，ばねの長さℓをℓ_0，k，m，gを用いて表せ。

問 3　物体がつり合いの位置にあるとき，ばねが蓄える弾性力による位置エネルギーUをk，ℓ_0，ℓを用いて表せ。

問 4　つり合いの位置から鉛直下方にばねをaだけ引き伸ばし，静かに手を離した。このとき物体は単振動を行う。つり合っているときの点Bの位置を原点Oにとり，手を離した瞬間(時刻$t = 0$)から1周期($t = T$)の間，Bの位置が上下に時間変化する様子を解答用紙のグラフに表せ。ただし，図1に示すように鉛直方向をz軸にとり，上向きを正とする。

問 5　単振動の周期Tを求めよ。

次に物体を密度ρ_2の液体中に沈める。ここで$\rho_1 > \rho_2$である。図2に示すように，点Bが液面と一致したところで物体を静止させた。このとき，液面から支点Aまでの高さはhであった。

問 6　液体が物体に及ぼす浮力の大きさを求めよ。

問 7　ばねの復元力，重力および浮力のつり合いの式を書け。

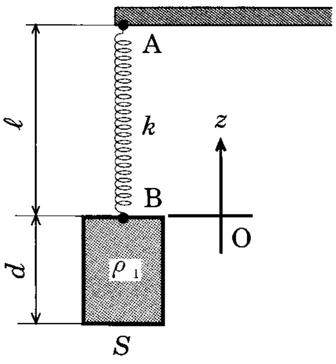


図 1

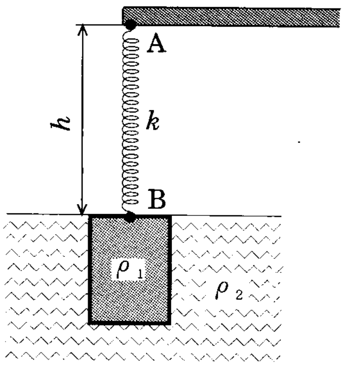


図 2

図 2 の状態から支点 A を x だけ持ち上げた。すると図 3 に示すように，物体は液面から y だけ持ち上がってつり合った。ここで $y < d$ とする。

問 8　ばねの復元力，重力および浮力のつり合いの式を書け。

問 9　問 7 と問 8 の関係式を用いて，y は x の何倍になるか求めよ。

問10　この状態でつり合いの位置のまわりに物体を単振動させた。このときの単振動の周期 T を求めよ。ただし，物体は液体から抵抗を受けずに，液体の中と外をなめらかに横揺れすることなく，鉛直方向にのみ運動するものとする。液面の高さの変化は考えなくてよい。また振動の振幅は十分小さいので，物体の全体が液体の中に沈んだり，外にでることはない。

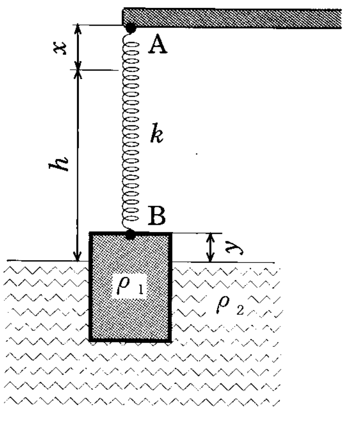


図 3

図2の状態から支点Aをxだけ下げた。すると図4に示すように，物体は液体中にyだけ沈んでつり合った。

問11　yはxの何倍になるか求めよ。その理由も書け。

問12　この状態でつり合いの位置のまわりに物体を単振動させた。このときの単振動の周期Tを求めよ。ただし，物体は液体から抵抗を受けずに，液体中をなめらかに横揺れすることなく，鉛直方向にのみ運動するものとする。また振動の振幅は十分小さいので，物体が液体の外にでることはない。

図2の状態から，ばねを自然の長さℓ_0，ばね定数$j\,(j > k)$のばねに交換した。支点Aの液面からの高さは同じくhである。すると図5に示すように，物体は液面からyだけ持ち上がりつり合った。

問13　つり合いの式と，問7で求めた関係式を用いると，$y = \boxed{} \times (h - \ell_0)$と表すことができる。$\boxed{}$にあてはまる数式を，$j$，$k$，$\rho_2$，$S$，$g$を用いて表せ。

問14　$y = \boxed{} \times (h - \ell_0)$から，$y$が常に正になることを説明せよ。

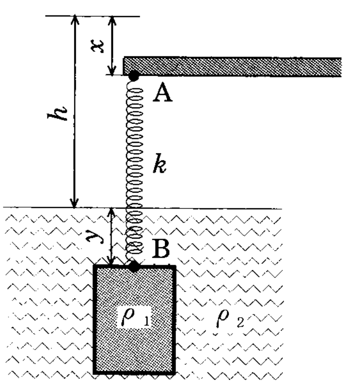


図4

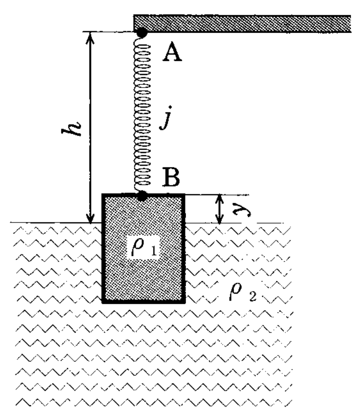


図5

〔Ⅱ〕 一様な磁界(磁束密度 B〔Wb/m^2〕)の中に，図1に示すような端子E，Fをもつ一巻きのコイルHKLMがある。コイルの辺の長さは HK = LM = a〔m〕，KL = MH = b〔m〕であり，コイルの抵抗と太さ，およびコイルから端子E，Fまでの引き出し部分の影響は無視できるものとする。今，コイルを磁界に垂直な軸周りに一定の角速度 ω〔rad/s〕で，図の矢印の方向に回転させる。図2はコイルを集電ブラシ側から見たものである。時刻 $t = 0$〔s〕のとき，コイルは点線で描かれた位置にあり，コイルが作る面と磁界は垂直になっている。時刻 t〔s〕で，コイルが作る面の法線ベクトルと磁界のなす角度は ωt〔rad〕である。以下の文中の $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{セ}}$ にあてはまる最も適当な数式または語句を，それぞれの解答群から一つ選び番号で答えよ。ただし，同じ番号を繰り返し選んでもよい。

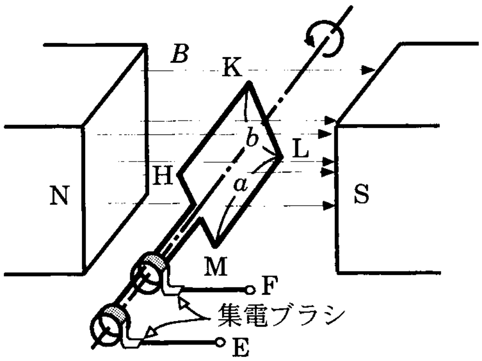


図1

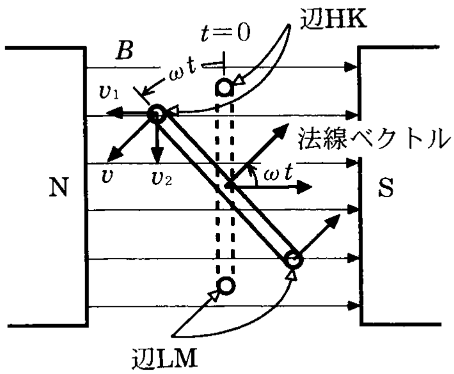


図2

時刻 $t = 0$〔s〕のとき，コイルをつらぬく磁束は $\Phi_0 =$ $\boxed{\text{ア}}$ 〔Wb〕である。時刻 t〔s〕のとき，コイルをつらぬく磁束は $\Phi =$ $\boxed{\text{イ}}$ 〔Wb〕であり，コイルの回転に伴って Φ〔Wb〕は周期 $T =$ $\boxed{\text{ウ}}$ 〔s〕で変化する。時刻 t〔s〕から $t + \Delta t$〔s〕の間にコイルをつらぬく磁束が $\Delta\Phi$〔Wb〕だけ変化するとき，端子EF間に生じる誘導起電力 V〔V〕は，$\Delta\Phi$〔Wb〕と Δt〔s〕をもちいて，$V =$ $\boxed{\text{エ}}$ 〔V〕と表せる。

$\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{エ}}$ の解答群

① $2\pi\omega$	② $\dfrac{2\pi}{\omega}$	③ $\sqrt{\dfrac{\pi}{\omega}}$	④ B	⑤ abB
⑥ $\dfrac{\pi b^2}{4}B$	⑦ $-\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	⑧ $-\dfrac{\Delta t}{\Delta\Phi}$	⑨ $-\omega\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	⑩ $\Phi_0\omega t$
⑪ $\Phi_0\sin\omega t$	⑫ $\Phi_0\cos\omega t$			

この誘導起電力 V〔V〕は次のように求めることもできる。以下の考察では，コイルが図2の実線の位置にある場合を考えよう。コイルは一定の角速度 ω〔rad/s〕で回転しているので，辺 HK および辺 LM は速さ v = $\boxed{\text{オ}}$ 〔m/s〕で等速円運動する。辺 HK の速度の磁界に平行な成分は，v_1 = $\boxed{\text{カ}}$ 〔m/s〕となり，磁界に垂直な成分は，v_2 = $\boxed{\text{キ}}$ 〔m/s〕となる。導線中には電荷 $-e$〔C〕の自由電子が存在する。辺 HK 内の自由電子が磁界から受けるローレンツ力の大きさは，v〔m/s〕をもちいて，f = $\boxed{\text{ク}}$ 〔N〕と表せる。

$\boxed{\text{オ}}$ ～ $\boxed{\text{ク}}$ の解答群

⑬ ωt	⑭ $\dfrac{1}{2}b\omega$	⑮ $\dfrac{1}{2\,\omega}b$	⑯ $v\sin\omega t$
⑰ $v\cos\omega t$	⑱ $v\tan\omega t$	⑲ $ev\sin\omega t$	⑳ evB
㉑ $evB\sin\omega t$	㉒ $evB\cos\omega t$		

このローレンツ力によって，自由電子は辺 HK 内を $\boxed{\text{ケ}}$ の向きに移動するので，辺 HK の H 側は $\boxed{\text{コ}}$ に帯電し，K 側はその逆に帯電する。この結果，電界 E〔N/C〕が $\boxed{\text{サ}}$ の向きに生じる。自由電子はこの電界から $\boxed{\text{シ}}$ の向きに大きさ f'〔N〕の力を受ける。この電界による力 f'〔N〕とローレンツ力 f〔N〕とがつりあうことから，電界の大きさは，E = $\boxed{\text{ス}}$ 〔N/C〕と求まる。このとき，HK 間の電位差 V〔V〕は，E〔N/C〕と a〔m〕をもちいて，V = $\boxed{\text{セ}}$ 〔V〕と表せる。他の辺に発生する電位差も加えあわせると，誘導起電力を求めることができる。

$\boxed{\text{ケ}}$ ～ $\boxed{\text{セ}}$ 解答群

㉓ H から K	㉔ K から H	㉕ 正	㉖ 負	㉗ aE
㉘ $\dfrac{E}{a}$	㉙ a^2E	㉚ $vB\sin\omega t$	㉛ $vB\cos\omega t$	㉜ $vB\tan\omega t$

〔Ⅲ〕 次の文章中の $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{タ}}$ にあてはまる最も適当な語句を選び，①～③の番号で答えよ。

問 1 光は $\boxed{\text{ア}}$ のなかまであり，音波や水面波などと同様に干渉や回折などの $\boxed{\text{イ}}$ を示す。可視光線のほかにも，可視光線に比べて周波数の $\boxed{\text{ウ}}$ X 線や波長の長い赤外線もそのなかまである。光は電界と磁界の振動する方向が波の進む方向と直交する $\boxed{\text{エ}}$ であることから，$\boxed{\text{オ}}$ の性質をもつことができる。一方，紫外線のような波長の短い光を金属に照射すると，その表面から電子が飛び出す $\boxed{\text{カ}}$ が観測される。この効果を詳しく調べることにより，光が $\boxed{\text{キ}}$ を持つことがわかる。$\boxed{\text{ク}}$ により得られる波長が短く指向性に優れた放射光が，物質の構造やエネルギー状態を分析するのに利用されている。

(ア)	① α 線	② 電磁波	③ 電子線
(イ)	① 透過性	② 粒子性	③ 波動性
(ウ)	① 低 い	② 等しい	③ 高 い
(エ)	① 縦 波	② 横 波	③ 定常波
(オ)	① 屈 折	② 散 乱	③ 偏 光
(カ)	① 光電効果	② ホール効果	③ ドップラー効果
(キ)	① 透過性	② 粒子性	③ 波動性
(ク)	① 原子炉	② 陰極管	③ シンクロトロン加速器

問 2　単原子分子からなる1モルの理想気体を考える。圧力 p，体積 V，絶対温度 T のとき，気体定数を R とすると，状態方程式は $\boxed{\quad ケ \quad}$ となる。理想気体では，分子間の力を考えなくてよいので，運動エネルギーの総和が内部エネルギー U となり，$U = \boxed{\quad コ \quad}$ と表せる。気体に加えられた熱 Q や仕事 W は，U の変化 ΔU として蓄えられ，$\Delta U = Q + W$ の関係が成り立つ。これを $\boxed{\quad サ \quad}$ という。熱 Q を加えて温度が ΔT 上昇するとき，$\boxed{\quad シ \quad}$ を比熱とよぶ。体積を一定に保つ場合は $W = 0$ なので，定積モル比熱 C_V は，$C_V = \boxed{\quad ス \quad}$ となる。一方，一定の圧力 p のもとでは体積変化 ΔV を伴うので，気体は $\boxed{\quad セ \quad}$ の仕事をしなければならず，定圧モル比熱 C_P は，$C_P = \boxed{\quad ソ \quad}$ となる。これらの式は，現実の気体では $\boxed{\quad タ \quad}$ やアルゴンなどで近似的に成り立つ。

(ケ)	① $pV = T$	② $pV = RT$	③ $pT = RV$
(コ)	① $\frac{1}{2}RT$	② $\frac{3}{2}RT$	③ $\frac{5}{2}RT$
(サ)	① 熱力学第一法則	② 熱力学第二法則	③ 熱力学第三法則
(シ)	① $Q\Delta T$	② $\frac{\Delta T}{Q}$	③ $\frac{Q}{\Delta T}$
(ス)	① $\frac{1}{2}R$	② $\frac{3}{2}R$	③ $\frac{5}{2}R$
(セ)	① $p\Delta V$	② $\frac{p}{\Delta V}$	③ $\frac{\Delta V}{p}$
(ソ)	① $\frac{1}{2}R$	② $\frac{3}{2}R$	③ $\frac{5}{2}R$
(タ)	① 水　素	② ヘリウム	③ 酸　素

〔Ⅳ〕 図の(a)および(b)は，一端を閉じた管(閉管)の気柱の振動を表している。実線と点線は，管内に生じた縦波の定常波を横波の形で表したものである。(a)および(b)の管の長さは，それぞれℓ〔m〕および2ℓ〔m〕である。気温がt_0〔℃〕のとき，音速は$v = 340$〔m/s〕，(a)に示した定常波の振動数は$f = 500$〔Hz〕であった。開口端補正は無視できるものとして，以下の問に答えよ。

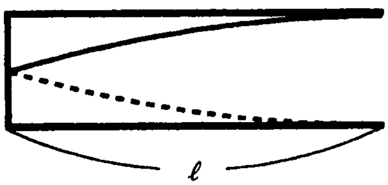
問 1 (a)における管の長さℓ〔m〕を求めよ。

問 2 (b)に示した定常波の振動数を求めよ。

問 3 (a)と同じ長さℓ〔m〕の両端が開いている管(開管)がある。この管における基本振動数を求めよ。

問 4 気温がt_1〔℃〕に上昇したとき，(a)に示した定常波の波長および振動数はそれぞれどのようになるか。大小関係の記号(＞，＝，＜)を解答欄の $\boxed{}$ の中に記入せよ。ただし，気温の上昇による管の変形は無視できるものとする。

(a)



(b)