物　理（全2の1）

物理の全問を通して，ある小問でのみ定義される物理量の記号を他の小問の解答で用いないように注意せよ。円周率をπとする。

1　物体の振動運動について考えよう。

Ⅰ．図1－1のように，ばね定数kの軽いばねを天井からつり下げる。ばねの他端に質量mの小球をつけ，ばねの自然の長さの位置Aで静かに手を離すと小球は鉛直方向に単振動した。小球にはたらく力のつり合いの位置を原点Oとし，鉛直下向きにx軸をとる。重力加速度の大きさをgとし，空気抵抗や摩擦は無視できるものとする。

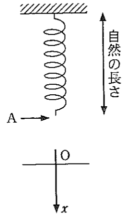

図1－1

(1)　位置Aのx座標はいくらか。

(2)　原点Oを通過するときの小球の速さはいくらか。

(3)　$x = x_1$のときの小球の加速度をx_1を用いて表せ。

(4)　単振動の角振動数および周期はいくらか。

Ⅱ．図1－2のように，地球の中心Oを通り，地表の地点Aと地点Bを結ぶ直線状の細長いトンネルがあるとする。点Oを原点としAからBの向きにx軸をとる。地点Aで静かに手を離し，トンネル内で質量mの小球を単振動させる。地球は密度が一様な質量M，半径Rの球であるとし，万有引力定数をGとする。地球の質量は小球の質量に比べ十分に大きく，自転などの地球の運動の影響，摩擦や空気抵抗は無視できるものとする。なお，x軸上での位置xにおいて小球が地球から受ける力は，地球と同じ密度で半径$|x|$の球の質量が原点Oに集まったと仮定した場合に，その質量と小球との間にはたらく力と等しいことが知られている。

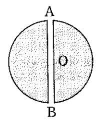

図1－2

(5)　地球の密度はいくらか。

(6)　$x = x_2$のときの小球の加速度をx_2を用いて表せ。

(7)　原点Oを通過するときの小球の速さはいくらか。

(8)　地点Aを出発した小球が初めて地点Bに到達するまでにかかる時間として，以下の(ア)から(ケ)の中から最も近いものを選び記号で答えよ。ただし必要であれば$\pi \fallingdotseq 3$，$R \fallingdotseq 6 \times 10^6$ m，$M \fallingdotseq 6 \times 10^{24}$ kg，$G \fallingdotseq 6 \times 10^{-11}$ N・m^2/kg^2，$\sqrt{2} \fallingdotseq 1.4$，$\sqrt{3} \fallingdotseq 1.7$，$\sqrt{5} \fallingdotseq 2.2$として計算せよ。

(ア)　1分　　(イ)　10分　　(ウ)　25分　　(エ)　40分　　(オ)　1時間　　(カ)　4時間　　(キ)　半日
(ク)　1日　　(ケ)　1週間

2　図2のように，真空中に単色光の光源S，鏡B，鏡C，検出器Dを配置する。SCとBDは直交しており，その交点を点Aとする。点AにはSCとの角度が45°になるように厚さの無視できるハーフミラーを置く。ハーフミラーでは，光の一部は透過し，残りの光は反射される。ハーフミラーを透過する際の光の位相変化は無視できる。光源Sから出た光は，まず点Aで，ハーフミラーで反射されて鏡Bに向かう光とハーフミラーを透過して鏡Cに向かう光の二つに分かれる。鏡Bに向かった光のうち，鏡Bで反射され，点Aでハーフミラーを透過した光が検出器Dに向かう。鏡Cに向かった光のうち，鏡Cで反射されて点Aで反射された光も検出器Dに向かう。このようにして，検出器Dでは，SACADとSABADの二つの経路を進んだ光の干渉が観測される。

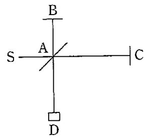

図2

ABの距離をℓ_1とする。鏡Cは直線SC上を移動できるが，ACの距離は常にABの距離より長い。はじめの状態では，光源Sから出る光の波長はλで，ACの距離はℓ_2であり，検出器Dでは光は強めあっているものとする。

(1)　はじめの状態で，SACADと進んだ光とSABADと進んだ光の距離の差（経路差）はいくらか。

(2)　ハーフミラーと鏡B，Cの反射でずれる光の位相の大きさはそれぞれいくらか。次の(ア)，(イ)，(ウ)の中から最も適切なものを選んで記号で答えよ。ただし，ハーフミラーや鏡での反射は，固定端での波の反射と見なせるものとする。同じ記号を繰り返し選んでもよい。

(ア)　0　　(イ)　$\frac{\pi}{2}$　　(ウ)　π

物　理（全2の2）

(3)　はじめの状態で，SACADと進んだ光とSABADと進んだ光が検出器Dに到達したときの位相差はどのようになっているか。次の(ア)，(イ)，(ウ)の中から最も適切なものを選んで記号で答えよ。

(ア)　ずれはない　　(イ)　$\frac{\pi}{2}$ずれている　　(ウ)　πずれている

(4)　ACの距離をℓ_2から$\ell_2 + \Delta\ell$まで大きくしていくと，Dでは光は一度弱めあったのち，再び強めあった。$\Delta\ell$を波長λを用いて表せ。

(5)　波長λとℓ_1，ℓ_2の関係をm（0より大きい整数）を用いて表せ。

(6)　(4)の現象を観測したのち，ACの距離を$\ell_2 + \Delta\ell$の状態に保って今度は波長をλから$\lambda + \Delta\lambda$まで増加させていくと，観測される光は一度弱めあったのち，再び強めあった。(5)の整数mをλと$\Delta\lambda$を用いて表せ。

(7)　(6)で再び強めあった状態のときのSACADと進んだ光とSABADと進んだ光の経路差をλと$\Delta\lambda$を用いて表せ。

(8)　はじめの状態で，ACの間に薄膜をACに対して垂直に置いた。薄膜の厚さがd（$d > 0$）のとき光が強めあい，厚さがdよりも小さいときには光は強めあうことはなかった。薄膜の屈折率はいくらか，ℓ_2を用いずに答えよ。薄膜での反射は無視できるとする。

3　図3－1のように，磁場（磁界）のない真空中に十分に長い三本の直線の導線L_A，L_B，L_Cがz軸と平行に張られている。導線L_A，L_B，L_Cにはそれぞれz軸の正の向きにI_A，I_B，I_Cの大きさの電流が流れている。電流は時間変化しないものとする。導線L_A，L_B，L_Cがxy平面と交わる点をそれぞれ点A，点B，点Cとする。点Aを原点として点Bの方向をx軸の正の向きとし，x軸とz軸に垂直にy軸をとる。このとき点Cは，$x > 0$，$y > 0$の領域にある。三角形ABCは∠ABCが直角の二等辺三角形であり，ABの距離を$2d$とする。xy平面上で$x > 0$，$y > 0$の領域にあって，点A，B，Cからの距離が等しい点を点Pとする。点Pは辺ACの中点にあたる。真空の透磁率をμ_0とする。

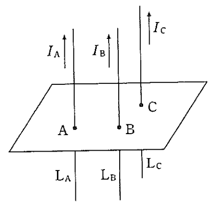

図3－1

(1)　電流I_Aが導線L_Aから距離r離れたところにつくる磁場の強さはいくらか。

(2)　電流I_Aが点Pにつくる磁場のx成分とy成分はいくらか。

(3)　z軸の正の側から見たとき，電流I_Aが点Pにつくる磁場の向きとして最も適切なものを図3－2の(ア)～(ク)，あるいは，(ケ)z軸の正の向き，(コ)z軸の負の向き，の中から選んで記号で答えよ。

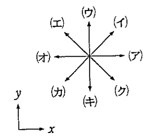

図3－2

(4)　電流I_AとI_Cの大きさが等しい場合，三本の電流が点Pにつくる磁場のx成分とy成分はいくらか。

(5)　電流が$I_A = I_B$のとき，三本の電流が点Pにつくる磁場のx成分を0とするためには，電流I_Cの大きさはI_Aの何倍であればよいか。

(6)　電流が$I_A = 2I$，$I_B = I_C = I$のとき，点Pの磁束密度の大きさをI_A，I_B，I_Cを用いずに答えよ。

(7)　電流が$I_A = 2I$，$I_B = I_C = I$のとき，導線L_Cの$z = -\frac{\ell}{2}$から$z = \frac{\ell}{2}$の部分にはたらく力の大きさはいくらか。I_A，I_B，I_Cを用いずに答えよ。

(8)　三本の導線の代わりに，点Pを中心とする1回巻きの円形コイルを置いて電流$2I$を適切な向きに流して(6)のときと同じ磁場を点Pにつくるには，円形コイルの半径をいくらとして，コイルの面をどのような向きに置けばよいかを簡潔に答えよ。