2021年度

理　　科

RA

【物　理】

3月12日(金)　理　学　部（物理学科，生物科学科，創造理学コース）
【後期日程】　工　学　部
　　　　　　　農　学　部　　9：40～11：00

注意事項

試験開始前

1　監督者の指示があるまで，問題冊子，解答用紙に手を触れてはいけません。

2　監督者の指示に従い，出願時に選択した科目の問題冊子，解答用紙であるかどうかを確かめ，全部の解答用紙（３枚）に受験番号を記入しなさい。

3　出願時に選択した科目と解答した科目が異なる場合は採点されません。

試験開始後

4　この問題冊子は，６ページあります。はじめに，問題冊子，解答用紙を確かめ，枚数の不足や，印刷の不鮮明なもの，ページの落丁・乱丁があった場合は，手をあげて監督者に申し出なさい。

5　解答はすべて解答用紙に記入しなさい。

6　問題は，声を出して読んではいけません。

7　各問ごとの配点は，比率(%)で表示してあります。

試験終了後

8　問題冊子は，必ず持ち帰りなさい。

1 図のように，右側に斜面CDをもった質量Mの台を考える。台は水平な床の上に置かれている。面ABは粗く摩擦がある。それ以外の面はなめらかである。面ACは水平であり，斜面CDは水平から角度θ傾いている($0 < \theta < 90°$)。時刻$t = 0$で，大きさの無視できる質量mの小物体を，速さv_0で斜面の最下点Cから斜面に沿って打ち上げる。小物体は斜面に沿って上昇し，最高点に到達した後，今度は斜面に沿って下降した。

小物体の運動は紙面中の2次元的な運動とする。重力は鉛直下向きに働き，重力加速度の大きさをgとする。解答にはM，m，v_0，g，θの中から必要な記号を用いて答えよ。ただし，上記の記号の他，問2(1)においてはα，β，Nの中から，問2(2)においてはα，βの中から必要な記号を用いてもよい。高さと位置エネルギーについては，水平面ACを基準点(ゼロ)とする。
(配点35％)

問1 初めに台が床に固定されている場合を考える。

(1) 小物体が最高点に到達する時刻t_0を求めよ。

(2) 小物体が到達する最高点の高さh_0を求めよ。

問2 次に，台の固定を外し，台が床に対して摩擦なく動くことができる状態にした。台は初め静止していた。問1と同様に，時刻$t = 0$で，小物体を速さv_0で斜面の最下点Cから斜面に沿って打ち上げた。この時の運動を調べるために運動方程式をたてる。台から見た小物体の斜面に沿っての加速度をαとし，斜面に沿って上向きを正の向きとする。床から見た台の床に沿っての加速度をβとし，右向きを正の向きとする。また，小物体が斜面CDから受ける垂直抗力をNとし，斜面に垂直上向き方向を正の向きとする。

(1) 台の上から観測した斜面に平行な方向の小物体の運動方程式と，床の上から観測した水平方向の台の運動方程式を，それぞれ書け。

(2) 垂直抗力Nのかかわる，斜面に垂直方向の力のつり合いを表す式を書け。

(3) 運動方程式を解くことで，加速度αとβを求めよ。

以下の(4)から(6)では，小物体が最高点に達した状態を考える。(注意：以下の解答には，記号α，βを使用しないこと)

(4) 小物体が最高点に達する時刻t_1を求めよ。

(5) 最高点の高さh_1と，最高点で小物体がもつ位置エネルギーUを求めよ。

(6) t_0とt_1，h_0とh_1の間に成り立つ関係について，以下の(ア)から(コ)の中から1つ選べ。

(ア) $t_0 < t_1$，$h_0 < h_1$	(イ) $t_0 < t_1$，$h_0 = h_1$	(ウ) $t_0 < t_1$，$h_0 > h_1$
(エ) $t_0 = t_1$，$h_0 < h_1$	(オ) $t_0 = t_1$，$h_0 = h_1$	(カ) $t_0 = t_1$，$h_0 > h_1$
(キ) $t_0 > t_1$，$h_0 < h_1$	(ク) $t_0 > t_1$，$h_0 = h_1$	(ケ) $t_0 > t_1$，$h_0 > h_1$

(コ) 大小関係は決まらない

以下の(7), (8)では，小物体が最高点に達した後，斜面に沿って下降し，斜面 CD 上の C 点に戻った状態を考える。

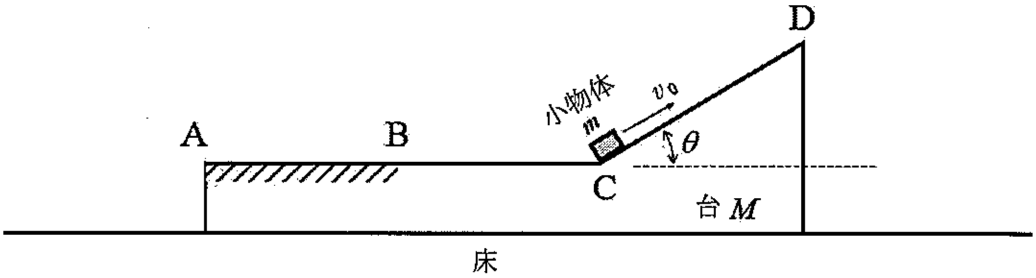
(7) 小物体が C 点に戻ったときの，台に対する小物体の速さを求めよ。

(8) 小物体が C 点に戻ったときの，床に対する台の速さを求めよ。

小物体は C 点でなだらかに向きを変え，水平面 AC 上を左向きに運動した。その後，小物体は面 AB の摩擦力で減速し，面 AB 上で台に対して停止した。

(9) 小物体が停止するまでに摩擦力がした仕事の大きさを W とする。W と問 2 の(5)において求めた位置エネルギー U とは，どのような大小関係にあるか。次の(ア)から(エ)の中から 1 つ選び，その選択理由を解答欄に記述せよ。(文字数に制限はないが，解答欄におさまるように書くこと。)

(ア) $U < W$, (イ) $U = W$, (ウ) $U > W$, (エ) 大小関係は決まらない



図

2 電場や磁場の影響を受けて運動する荷電粒子について，次の問いに答えよ。ただし，荷電粒子は重力の影響を受けない。また，すべて真空中とし，クーロンの法則の定数をk，透磁率をμ_0とする。(配点 35 %)

問 1　図1のようにxy平面上の$(0,\ 4L)$に電気量$3Q(Q>0)$の点電荷A_1を，$(0,\ -3L)$に電気量$-2Q$の点電荷B_1を固定する。x軸と垂直に金属極板S_1，S_2が間隔dで置かれていて，極板の間はE_0の一様な電場がx軸の向きにかけられている。図1のように極板S_1に電気量$q(q>0)$，質量mの荷電粒子C_1を静かに置いた。C_1はx軸上のみを動き，極板の小さな穴を通りぬけて運動するものとする。極板は原点から十分に離れているので，荷電粒子が極板間を運動している間は，点電荷の電場の影響は受けない。

(1)　C_1がS_2を通過した直後の速さv_1を求めよ。

(2)　C_1がS_1，S_2間を通過するのにかかった時間を，v_1を使わずに求めよ。

(3)　C_1が座標の原点Oを通りぬけるのに必要なv_1の条件を求めよ。

(4)　C_1が原点Oにあるとき，点電荷から受ける合力の大きさを求めよ。

問 2　図2のようにx軸上の$x=-R$と$x=R$の位置に電気量$Q(Q>0)$を持つ2つの点電荷A_2，B_2が固定されている。電気量$q(q>0)$，質量mの荷電粒子C_2をRに比べて十分に小さい$x=r(r>0)$の位置に静かに置いた。C_2はx軸上だけを運動するものとする。

(1)　C_2について，A_2から受ける力の大きさF_AとB_2から受ける力の大きさF_Bを，それぞれ求めよ。

(2)　振動するC_2の周期Tを求めよ。ただし，$|x|$が1に比べて十分に小さいとき，$(1+x)^{-2}$は$1-2x$と近似できる。

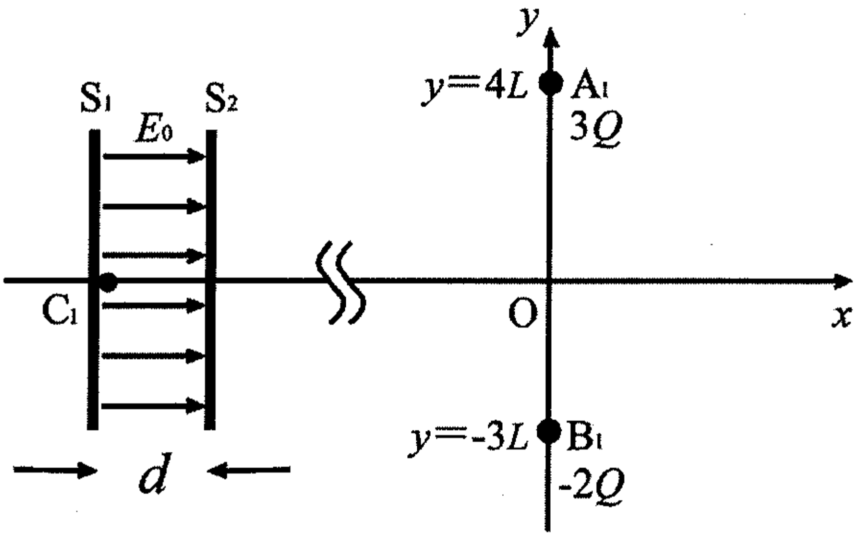
問 3　図3のようにz軸と平行にのびた2本の十分に長く細い導線P_1，P_2が$y=-R$と$y=R$にあり，それぞれの導線に電流$I(I>0)$がz軸の正の向きに流れている。

(1)　P_1の断面を1秒間に通過する電子の数を求めよ。ただし，電子の電気量を$-e(e>0)$とする。

(2)　x軸上の$(2R,\ 0,\ 0)$での磁場$\vec{H}=(H_x,\ H_y,\ H_z)$を求めよ。

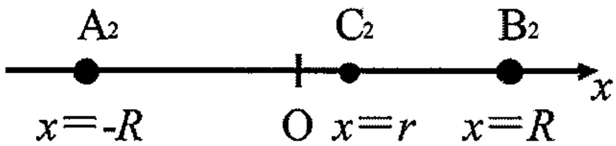
(3)　長さLあたりP_1が受ける力$\vec{F}=(F_x,\ F_y,\ F_z)$を求めよ。

(4)　電気量$q(q>0)$，質量mの荷電粒子が初速度$\vec{v}=(0,\ 0,\ v_0)$で$(2R,\ 0,\ 0)$から打ち出された。この荷電粒子が曲がらないように進むために電場を加える。加える電場$\vec{E}=(E_x,\ E_y,\ E_z)$を求めよ。ただし，磁場は$(H_x,\ H_y,\ H_z)$を使ってもよい。



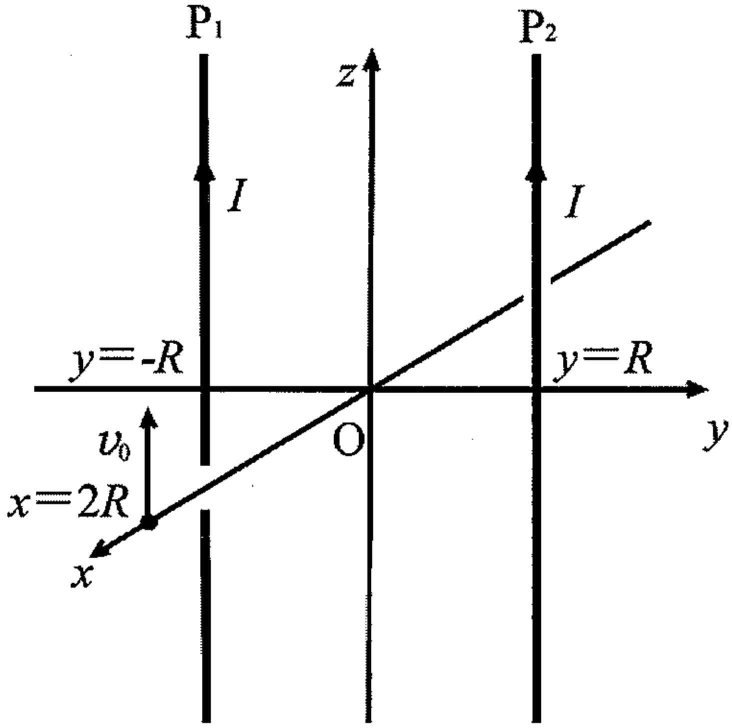
S1
S2
E0
C1
d
y
y=4L
A1
3Q
O
x
y=-3L
B1
-2Q

図 1



A2
C2
B2
x
x=-R
O
x=r
x=R

図 2



P1
P2
z
I
I
y=-R
y=R
v0
O
y
x=2R
x

図 3

3 以下の問いに答えよ。(配点　30 %)

問 1　海面を伝わる波の進行方向と同じ向きに，速さ 10 m/s で進む長さ 20 m の船がある。この船の船首が波の 1 つの山を追い越し，続いてすぐ次の山を追い越すまでの時間は 4 秒であった。また，この船の船首から船尾まで波の 1 つの山が通過する時間は，10 秒であった。この波の速さ，波長，および周期を求めよ。

問 2　速さ 10 m/s で船が進んでいる。この船の進行方向に垂直な岩壁に向かって船首から一定の振動数の汽笛を鳴らしたところ，反射波が返ってきた。

(1)　汽笛の反射波は 4.0 秒後に船首に返ってきた。反射波が返ってきたときの岩壁と船首の間の距離を求めよ。ただし，音速を 340 m/s とする。

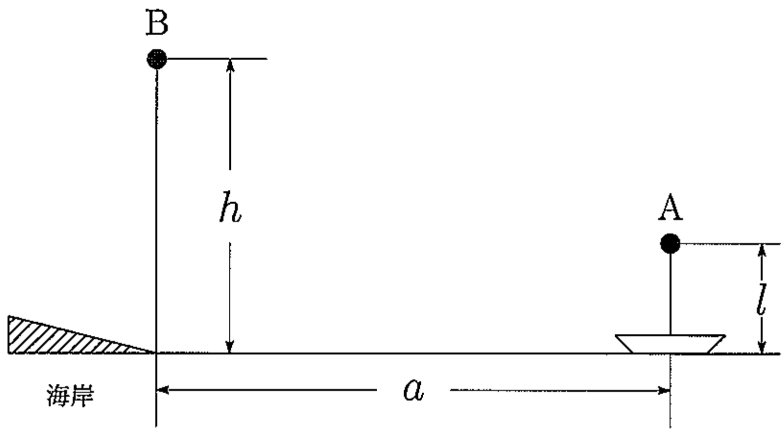
(2)　船上において，汽笛とその反射波のうなりを観測したところ，1 秒間に 6 回であった。汽笛の振動数を求めよ。

問 3　図のように，海面から高さ l[m] にある船のアンテナ A から一定の波長 λ[m] の電波を発信し，海面から高さ h[m] にある海岸上のアンテナ B で受信したところ，船と海岸との距離が変わるにつれて，受信した電波に強弱があった。これは，船から直接届く電波と，平らな海面で反射してから届く電波が干渉するためである。特に，電波の強度が極小になる位置を考える。図のように，このときのアンテナ間の水平距離を a[m] とする。電波は空中では等方的に伝播し，海面で反射するときは，電波の位相は反転するものとする。船の速さは十分遅いので，ドップラー効果は無視してよい。また，a は l，h に比べて，十分大きいものとする。

(1)　反射波が B に届くとき，海面で電波の反射する位置を C 点とする。海岸と C 点の間の距離を，a，h，l を用いて表せ。

(2)　電波の強度が極小になるとき，a，h，l，λ の満たすべき条件は，$2hl = n\lambda a$ ($n = 1$，2，…) と表されることを説明せよ。ただし，$|x|$ が 1 に比べて十分小さいときには，$\sqrt{1+x} \fallingdotseq 1 + \dfrac{1}{2}x$ の近似式を用いよ。なお，説明文に文字数の制限はないが，解答欄におさまるように書くこと。

(3)　$h = 50$ m，$l = 15$ m，$\lambda = 0.50$ m のとき，船が海岸から $a = 1500$ m のところで電波の強度が極小になった。船が，海岸に向かって近づくとき，および遠ざかるとき，再び最初に電波の強度が極小になる位置の a を求めよ。



図