

令和3年度前期日程入学試験学力検査問題

令和3年2月25日

理 科

物 理……4～25ページ，化 学……26～47ページ

生 物……48～69ページ，地 学……70～79ページ

志 望 学 部	試 験 科 目	試 験 時 間
経済学部(理系) 理 学 部 農 学 部	物理，化学，生物，地学のうちから2科目選択	13：30～16：00 (150分)
医 学 部 歯 学 部	物理，化学，生物のうちから2科目選択	
薬 学 部 工 学 部	物理(指定)，化学(指定)	

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで，この問題冊子，解答用紙を開いてはいけない。
2. この問題冊子は，79ページである。問題冊子の白紙のページや問題の余白は草案のために使用してよい。ただし，冊子の留め金を外したり，ページを切り離しては使用しないこと。なお，ページの脱落，印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出ること。
3. 解答は，必ず黒鉛筆(シャープペンシルも可)で記入し，ボールペン・万年筆などを使用してはいけない。
4. 解答用紙の受験記号番号欄(1枚につき2か所)には，忘れずに受験票と同じ受験記号番号をはっきりと判読できるように記入すること。
5. 解答は，必ず選択した科目の解答用紙の指定された箇所に記入すること。
6. 解答用紙を持ち帰ってはいけない。
7. 試験終了後，この問題冊子は持ち帰ること。

——このページは白紙——

——このページは白紙——

物 理

1 図1のように、穴のあいた質量 m の小球が半径 R のリングに通されている。小球はリングに沿ってなめらかに動くことができる。リングの中心は常に原点 O の位置にある。鉛直下方の最下点 P から測った角度を θ (単位はラジアン) とする。角度 θ は反時計回りを正とし、 $-\pi < \theta \leq \pi$ である。重力加速度の大きさを g とする。ただし、リングは変形することはない、空気抵抗は無視できるものとする。

以下の問(1)~(3)に答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また、結果だけでなく、考え方や計算の過程を説明せよ。

問(1) 点 P において小球に水平右向きの初速 v_0 をあたえたところ、小球は固定されたリングに沿って運動した。

- (a) 小球が角度 θ の位置にあるときの重力による位置エネルギー U を、 m, g, v_0, R, θ の中から必要なものを用いて表せ。ただし、位置エネルギーは、 $\theta = 0$ の位置を基準とする。
- (b) 小球が角度 θ の位置にあるときの小球の速さを v とする。 v を、 m, g, v_0, R, θ の中から必要なものを用いて表せ。
- (c) 小球がリングの最高点 ($\theta = \pi$) を超えて回転運動を続けるためには、初速 v_0 の大きさはある値 v_1 より大きくなってはならない。 v_1 を、 m, g, R の中から必要なものを用いて表せ。

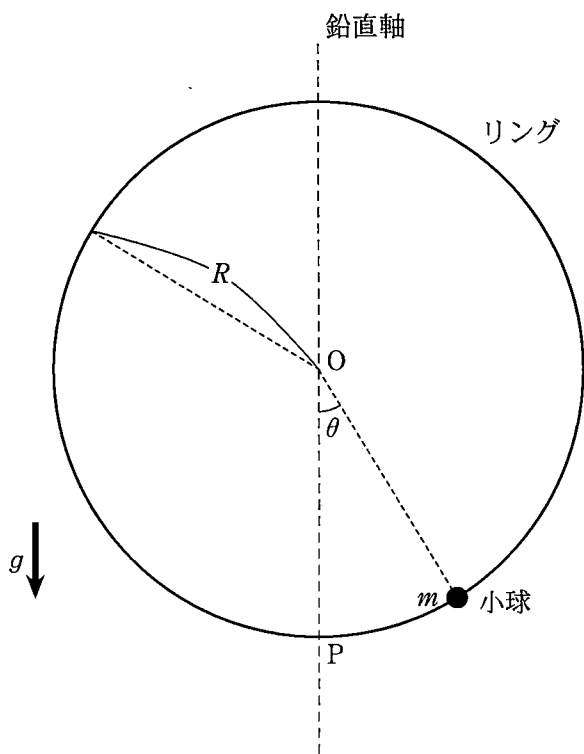


図 1

問(2) 図2のようにリングと小球がリングの中心Oを通る鉛直軸まわりに一定の角速度 ω ($\omega > 0$)で回転する場合を考える。

(a) 小球が角度 θ ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$)の位置にあるとき、リングとともに回転する人から見たリング円周に沿って小球に作用する力 F を、 m , g , ω , R , θ の中から必要なものを用いて表せ。ただし、力 F は θ が増加する向きを正とする。

(b) $|\theta|$ が十分小さく、かつ角速度 ω がある値 ω_0 より小さいとき、力 F は点Pへ向かう復元力となり、 ω_0 より大きいとき、力 F は点Pへ向かう復元力とはならない。 ω_0 を、 m , g , R の中から必要なものを用いて表せ。ただし、 $\sin \theta \doteq \theta$, $\cos \theta \doteq 1$ が成り立つとしてよい。

(c) $\omega < \omega_0$ のとき、小球を角度 θ_1 ($\theta_1 > 0$)の位置で静かにはなすと、角度 θ_1 が十分小さければ、リングとともに回転する人から見た小球の運動は点Pを中心とした単振動となる。図2に示すように、小球が角度 θ の位置にあるとき、点Pから小球のリングに沿う変位 x が $R\theta$ であることを用いて、単振動の周期 T を、 m , g , ω , R の中から必要なものを用いて表せ。

問(3) つぎに、リングの回転の角速度 ω が ω_0 より大きい場合を考える。小球の運動は、リングとともに回転する立場で観測するものとする。

(a) 小球は $\theta = \theta_0$ ($0 < \theta_0 < \frac{\pi}{2}$)の位置で静止していた。このときの角速度 ω を、 m , g , R , θ_0 の中から必要なものを用いて表せ。

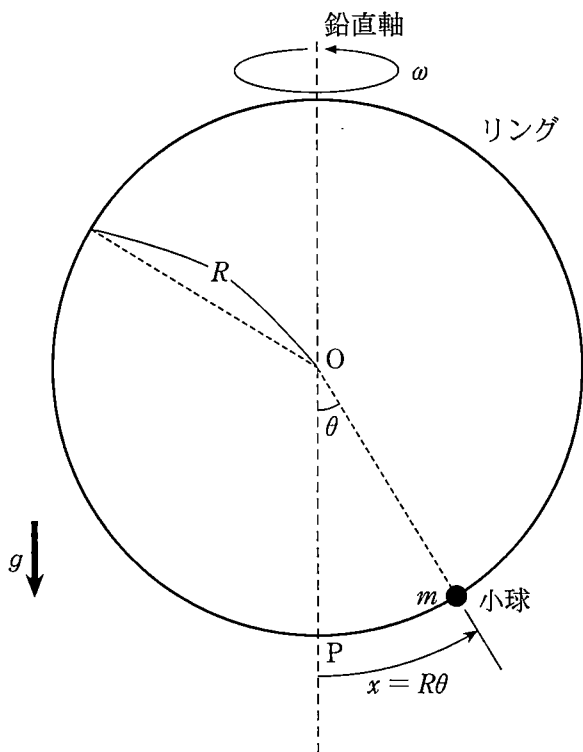


図 2

- (b) リング上の角度 $\theta = \frac{1}{2}\theta_0$ の位置において小球にリングの円周方向にさまざまな初速をあたえると、小球は初速の大きさに応じてさまざまな運動をする。このときの小球の位置 θ と時間の関係を表すグラフとして不適切なものを、図3の(あ)~(う)の中から一つ選び、記号で答えよ。また、その記号を選んだ理由を「復元力」という言葉を用いて説明せよ。なお、グラフ中の破線は角度 $\theta = \theta_0$ および $\theta = -\theta_0$ を表す。

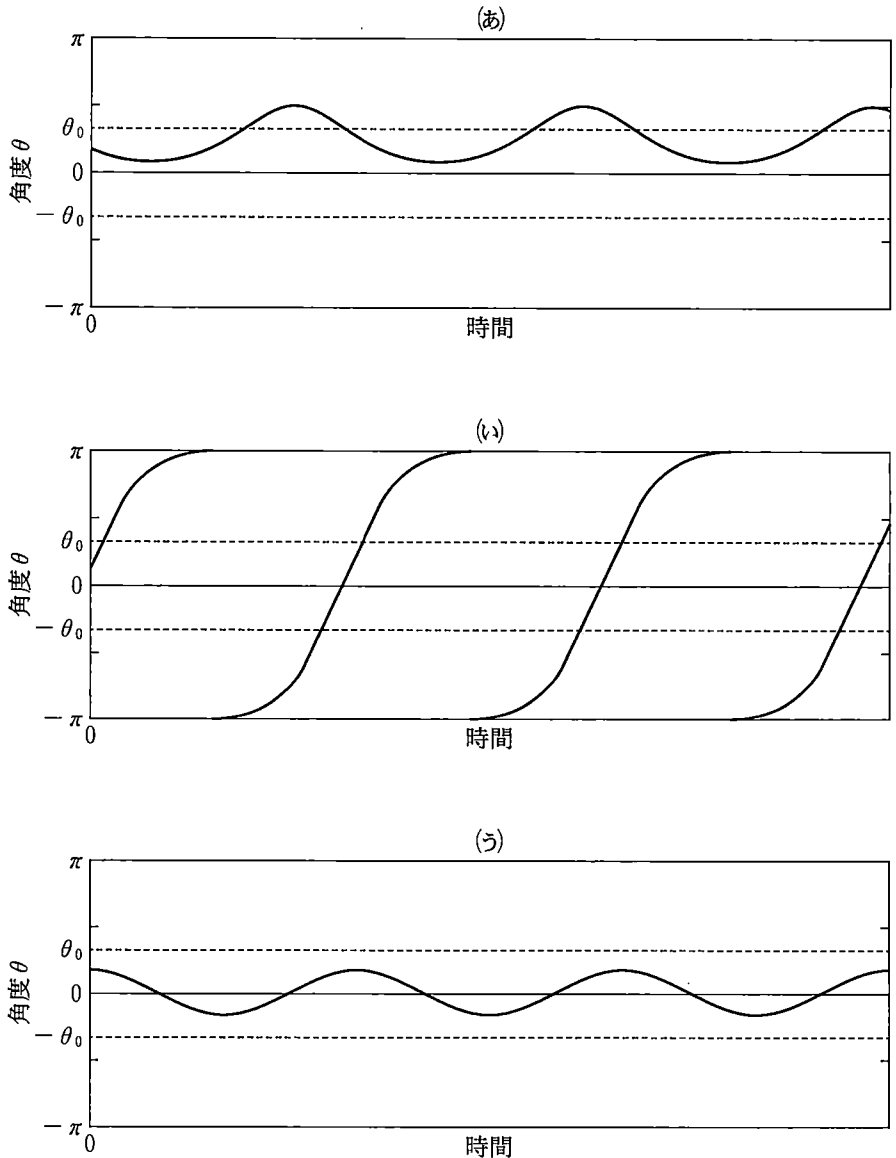


図3

——このページは白紙——

- 2 電場(電界)と磁場(磁界)の中での、質量 m 、電気量 $q (q > 0)$ の粒子の運動について考える。粒子は真空中で運動し、重力の影響は無視できるものとする。以下の問(1)~(3)に答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また、結果だけでなく、考え方や計算の過程も説明せよ。

問(1) 中央に穴のある $n + 1$ 枚 ($n \geq 2$) の電極板 $D_0, D_1, D_2, \dots, D_n$ が、図 1 のように、 y 軸に対して垂直に置かれている。 $D_k (k = 0, 1, 2, \dots, n)$ の電位は V_0 を正として $-kV_0$ であり、隣り合う電極板の間の電場は一様と見なせる。また、電極板 D_{j-1} と $D_j (j = 1, 2, 3, \dots, n)$ の間の距離は d_j である。 D_0 の中央で静止していた粒子が、電場で加速され y 軸に平行に進み始めた。電極板の厚みは無視できるとする。

- (a) 電極板 D_0 と D_1 の間における、電場の大きさ E 、粒子の加速度の大きさ a を、それぞれ d_1, m, q, V_0 の中から必要なものを用いて表せ。
- (b) 粒子が D_0 の中央から進み始めてから D_1 の中央に到達するまでの時間 t_1 と、 D_1 に到達したときの粒子の速さ v_1 を、それぞれ d_1, m, q, V_0 の中から必要なものを用いて表せ。
- (c) 電極板 D_n に到達したときの粒子の速さ v_n を、 n, v_1 を用いて表せ。
- (d) 電極板 D_{n-1} と D_n の間を粒子が通過するのに要する時間が t_1 に等しいとき、 D_{n-1} と D_n の距離 d_n を、 d_1, n を用いて表せ。

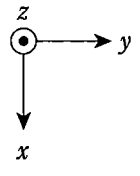
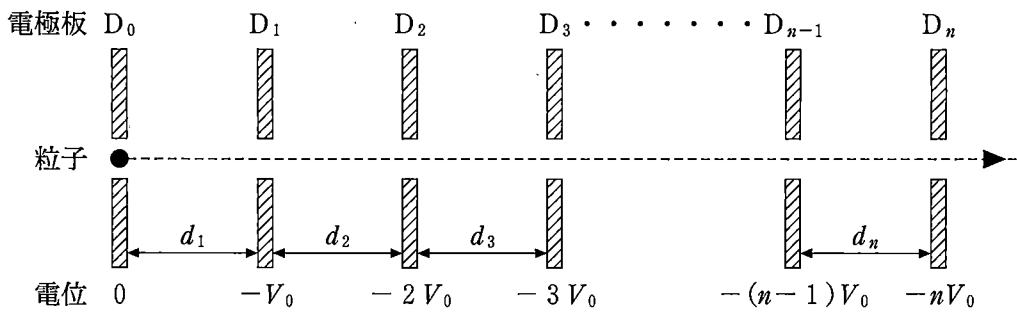


图 1

問(2) 図2のように中空のまっすぐな管 G_1 , G_2 , 曲がった管 M_1 , M_2 (斜線の部分), および, 加速部 Z からなる装置の中での粒子の運動を考える。最初, 管 G_1 の左端(点 O)から粒子を y 軸の正の向きに, 速さ u_0 で等速運動させる。加速部 Z は, 図3のように, 中央に十分小さな穴がある平行な電極板 X と Y からなり, 電極板間の電場は一様である。電極板間に粒子がいるときのみ Y の電位は $-V_0$ で, それ以外のとき Y の電位は 0 であり, X の電位は常に 0 である。また, M_1 と M_2 では, z 軸方向に一様な磁場をかけることができる。粒子は M_1 と M_2 の中で半径 r の円周上を進み, 加速部 Z を通過して再び加速される。 M_1 と M_2 における磁束密度の大きさを変えることで, 粒子は破線上の軌道を何度も周回し, 加速部 Z を通過するたびに加速される。 N 回目($N = 1, 2, 3, \dots$)に加速部 Z を通過した直後から $N + 1$ 回目に加速部 Z に到達する直前までを N 周目とし, N 周目での M_1 と M_2 の磁束密度を B_N とする。管 G_1 と G_2 の長さは l で, 加速部 Z の厚みは十分薄く, 粒子が加速部を通過する時間は無視できるとする。

- (a) M_1 の磁場は, z 軸の正負のいずれの向きであるか。粒子の電気量 q が正であることを注意し, 解答用紙の正しい方に丸印を付けよ。紙面裏から表の向きが正の向きである。
- (b) 一周目の粒子の速さ u_1 と M_1 における加速度の大きさ b_1 を, それぞれ l, m, q, r, u_0, V_0 の中から必要なものを用いて表せ。
- (c) N 周目の周回に要する時間 T_N を, N, l, m, q, r, u_0, V_0 の中から必要なものを用いて表せ。
- (d) B_N を, N, l, m, q, r, u_0, V_0 の中から必要なものを用いて表せ。

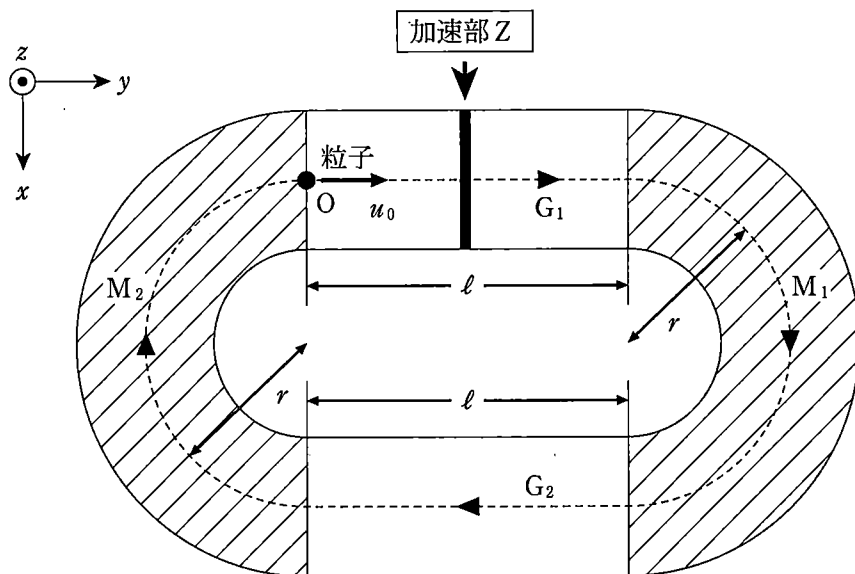


图 2

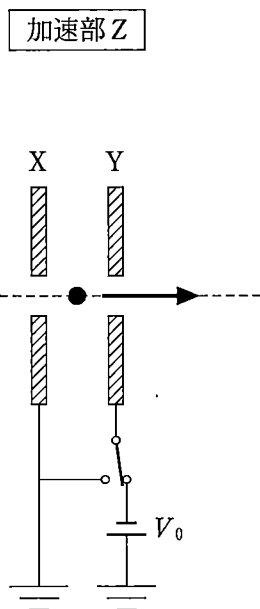


图 3

問(3) 図4のように、質量 m 、電気量 q ($q > 0$) の多数の粒子が、 y 軸を中心軸とする円筒状の領域を、一様な広がりを持って平行に進んでいる。その先には、4つの同じ磁石が y 軸に対して対称に置かれている。この様子を、粒子の入射方向から磁石の方を見て、 xz 面に投影した図が図5である。図5の破線は、磁場の影響を受ける前の粒子の広がりを表している。

- (a) 図5の点Aと点Bをそれぞれ通る、磁力線の概形(磁石の中は除く)を解答用紙の図に記入せよ。
- (b) 図5の点Aと点Bのそれぞれで、粒子が磁場から受ける力の向きを解答用紙の図に記入せよ。
- (c) 磁石の間を通過した多数の粒子は、磁石の端面に接着した蛍光板に到達して輝点として観測された。観測された輝点の分布として最も適切なものを、図6の(ア)~(カ)の中から1つ選び、記号で答えよ。解答は図の記号のみでよい。図中の破線は、磁場の影響を受ける前の粒子の広がりを表しており、粒子どうしにはたらく電気力は無視できるとする。

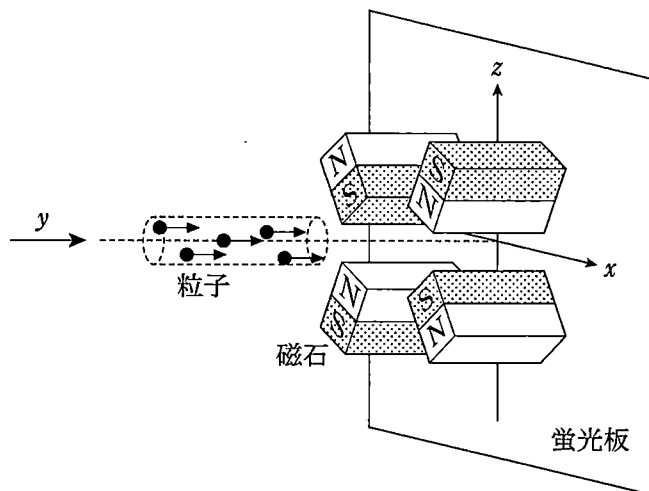


図4

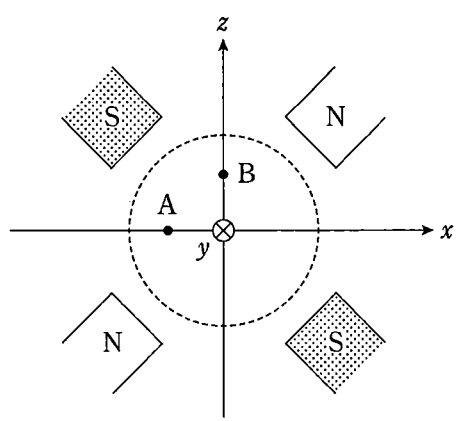
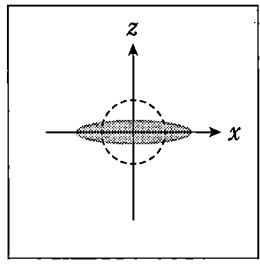
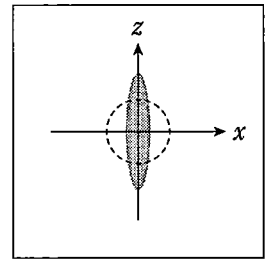


图 5

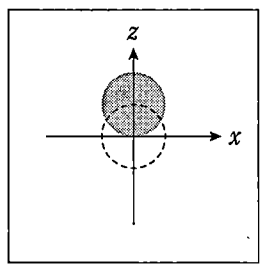
(ア)



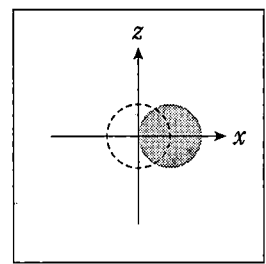
(イ)



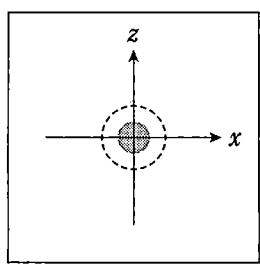
(ウ)



(エ)



(オ)



(カ)

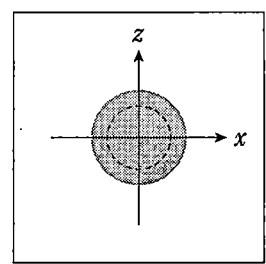


图 6

——このページは白紙——

——このページは白紙——

3

振動数 f の音波を発する音源が媒質(空気)中に置かれている。媒質中の音速を V とする。以下の問(1)~(3)に答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また、結果だけでなく、考え方や計算の過程も説明せよ。

問(1) 音源の位置を原点 O とすると、音源から x 軸の正の向きに伝わる音波による; 時刻 t , 位置 x における媒質の x 軸方向の変位 F は,

$$F = A \sin \left\{ 2\pi f \left(t - \frac{x}{V} \right) \right\}$$

で表される。ここで、変位 F は x 軸の正の向きを正とし、 A は正の定数である。

図1のように、 $x = d$ の位置に反射板を固定し、音源から x 軸の正の向きに伝わる音波を固定端反射させた。反射による音波の減衰は無視できるものとする。

(a) 音源から発する音波の波長 λ を、 f と V の中から必要なものを用いて表せ。

(b) x 軸の負の向きに伝わる反射波による、時刻 t , 位置 x における媒質の x 軸方向の変位 F_R は,

$$F_R = -A \sin \left\{ 2\pi f \left(t + \frac{x-a}{V} \right) \right\}$$

で表される。ここで、変位 F_R は x 軸の正の向きを正とし、 a は定数である。 $x = d$ において固定端の条件 $F = -F_R$ が成り立つことを利用して、 a の値を d を用いて表せ。

(c) 問(1)(b)の結果を用いて、位置 x ($0 \leq x \leq d$) における、媒質の変位の最大値 A_S を、 A , d , f , x , V の中から必要なものを用いて表せ。ここで、必要に応じて、 $\sin \alpha \pm \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha \pm \beta}{2} \cos \frac{\alpha \mp \beta}{2}$ (複号同順) の関係式を用いよ。

(d) 問(1)(c)の結果を用いて、 $0 < x < d$ に定在波(定常波)の節ができるための d の条件を、 f と V の中から必要なものを用いて表せ。

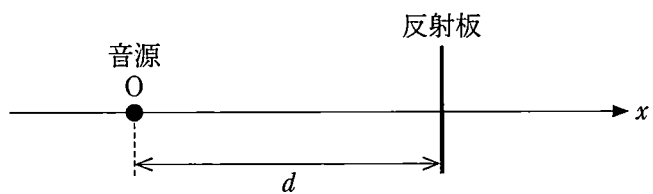


图 1

問(2) 図2のように、観測者Pが一定速度 u ($u < V$)で x 軸上($x > 0$)を正の向きに移動しながら、原点Oにある音源から伝わる音波を観測した。問(1)と同様に、音源から x 軸の正の向きに伝わる音波による、時刻 t 、位置 x における媒質の x 軸方向の変位 F は、

$$F = A \sin \left\{ 2\pi f \left(t - \frac{x}{V} \right) \right\}$$

で表される。観測者Pは時刻 t_0 のときに位置 x_0 を通過した。ただし、観測者Pによる音波の変化は無視する。

- (a) 時刻 t_0 から短い時間 Δt だけ進んだ時刻 $t_0 + \Delta t$ における観測者Pの位置 x を、 Δt 、 u 、 x_0 の中から必要なものを用いて表せ。
- (b) 問(2)(a)と同じ時刻 $t_0 + \Delta t$ において、観測者Pが観測する音波による媒質の変位 F' を、 A 、 f 、 t_0 、 Δt 、 u 、 V 、 x_0 の中から必要なものを用いて表せ。
- (c) 問(2)(b)の結果を用いて、観測者Pが観測する音波の振動数 f' を、 f 、 u 、 V の中から必要なものを用いて表せ。

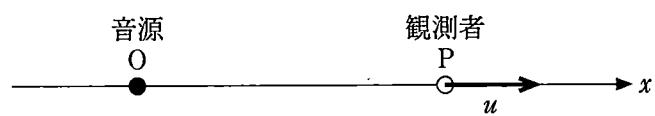


図 2

問(3) 図3のように、観測者Pが一定速度 $u(u < V)$ で x 軸に平行な直線($y = y_0$)上を x 軸の正の向きに移動しながら、原点Oにある音源から全方位に伝わる音波を観測した。OP間の距離を r とし、線分OPと x 軸の正の向きのなす角を $\theta(0 < \theta < \pi)$ とする。観測者Pは時刻 t_0 のときに位置 (x_0, y_0) を通過し、このとき $r = r_0, \theta = \theta_0$ であった。ただし、観測者Pによる音波の変化は無視する。

(a) 時刻 t_0 から短い時間 Δt だけ進んだ時刻 $t_0 + \Delta t$ におけるOP間の距離 r を、 $r_0, \Delta t, u, \theta_0$ の中から必要なものを用いて表せ。ただし、 Δt は十分に小さいため、 Δt^2 の項が出てきた場合は無視できるとし、 z を微小量としたときに成り立つ近似式 $\sqrt{1+z} \doteq 1 + \frac{1}{2}z$ を用いよ。

(b) 時刻 t において、原点Oから距離 r_0 の位置 (x_0, y_0) 付近の媒質の、音波による音波の伝わる方向の変位 F_r は、正の定数 A を用いて、

$$F_r = A \sin \left\{ 2\pi f \left(t - \frac{r}{V} \right) \right\}$$

で表されるとする。問(3)(a)と同じ時刻 $t_0 + \Delta t$ において、観測者Pが観測する音波による媒質の変位 F_r' を、 $A, f, r_0, t_0, \Delta t, u, V, \theta_0$ の中から必要なものを用いて表せ。

(c) 問(3)(b)の結果を用いて、原点Oから距離 r 、角度 θ の位置において観測者Pが観測する音波の振動数 f' を、 f, r, u, V, θ の中から必要なものを用いて表せ。また、観測者Pが x 軸方向の負の無限遠から正の無限遠に移動する間に観測する音波の振動数 f' について、音源から伝わる音波の振動数 f に対する比 $\frac{f'}{f}$ の、角度 θ に対する変化を表すグラフを解答用紙の所定欄に描け。

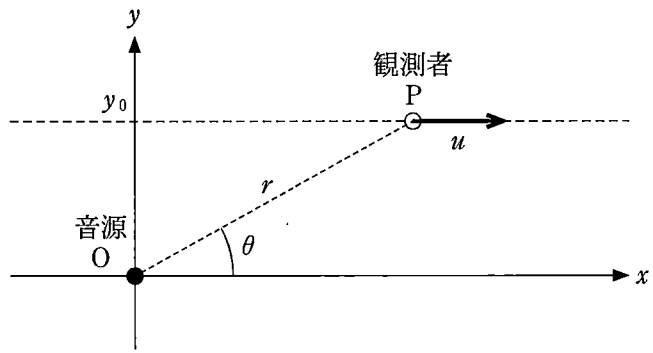


图 3

——このページは白紙——

——このページは白紙——