

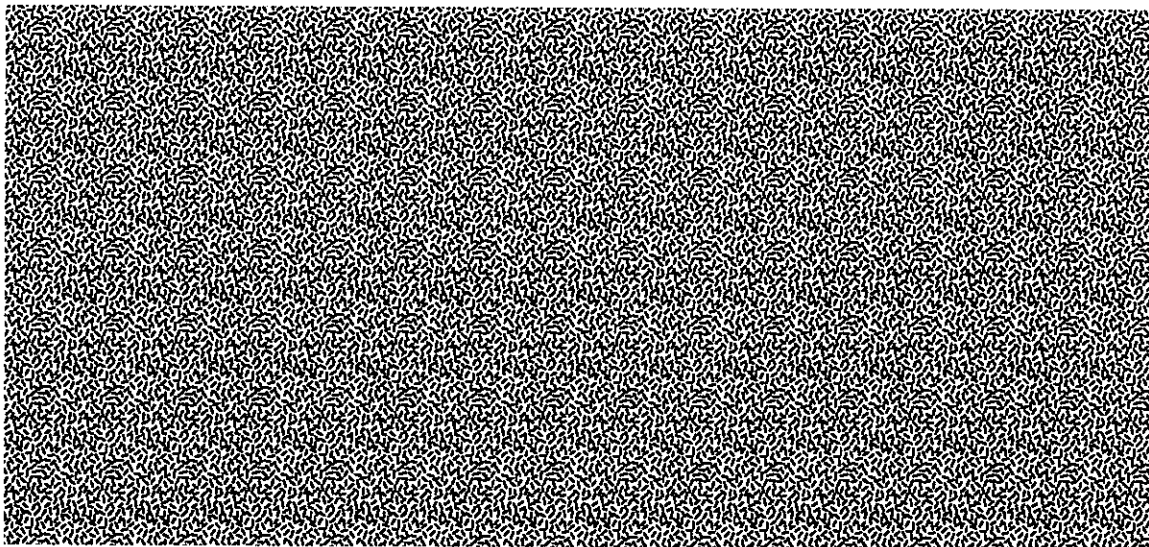
2026—(A)

☆物理問題

13:00～14:15 (75分)

受験についての注意

1. 試験開始の合図があるまで、問題を見てはいけません。
2. 物理の試験用紙は、問題用紙1部(12ページ)、記述式解答用紙(1)1枚、記述式解答用紙(2)1枚、記述式解答用紙(3)1枚から構成されています。過不足があれば監督者に申し出てください。
なお、記述式解答用紙はセットになっています。監督者の指示に従って、解答用紙を破ったりしないよう注意して、ミシン目に沿って1枚ずつ切り離してください。
3. 試験中に試験用紙の印刷の不鮮明、ページの欠落、乱れおよび解答用紙の汚れなどに気づいた場合は、監督者に申し出てください。
4. 監督者の指示に従って、記述式解答用紙(3枚)の受験番号の記入欄に受験番号をそれぞれ2カ所(計6カ所)記入してください。また、氏名欄に氏名をそれぞれ1カ所(計3カ所)記入してください。
5. 解答はすべてHBの黒鉛筆またはHBで0.5mm以上の芯のシャープペンシルで記入してください。
6. 解答用紙は丁寧に取り扱いってください。
7. 解答は、解答用紙の問題番号を十分に確認のうえ、解答用紙の各問指定の枠内に記入してください。解答用紙の裏面にはいっさい記入してはいけません。下書きなどには問題用紙の余白を利用してください。
8. 解答中以外の解答用紙は必ず裏返しに置いてください。
9. 受験中は不審な行動をとってはいけません。不正行為があれば当該年度の全入学試験を無効とします。
10. 試験時間の途中で退場することはできません。
ただし、気分が悪いなど身体の調子が悪くなった場合は、手を挙げて監督者に申し出てください。
11. 試験終了の合図と同時に解答をやめてください。
12. 問題用紙は試験終了後、持ち帰ってください。



解答はすべて別紙の解答用紙に記入しなさい

〔 I 〕 万有引力に関する問題を考える。万有引力定数を G とする。

〔 A 〕 次の文中の空欄 ア ～ ク を埋めよ。空欄 ア と イ には解答用紙にある適切な語句を丸で囲み、空欄 エ には図 1 にある適切な番号を 1 つ記入せよ。そのほかの空欄には適切な数式を記入せよ。

16 世紀後半、ティコ・ブラーエは観測機器の精度を大幅に向上させ、惑星の軌道などに関する高精度な観測データを得た。彼の助手であったヨハネス・ケプラーは、彼のデータに基づき、惑星の運動について次の三つの法則を発見した。

第一法則：惑星は、太陽を一つの焦点とする楕円上を運動する。

第二法則：惑星と太陽を結ぶ線分が単位時間当たりには通過する面積は常に一定である。

第三法則：惑星の公転周期の 2 乗と楕円軌道の長半径の 3 乗の比は、すべての惑星で一定になる。

第二法則は、惑星が太陽に接近するほど、惑星の公転の速さが ア なることを意味し、第三法則は、太陽と惑星の距離が大きいほど、公転周期が イ なることを意味している。

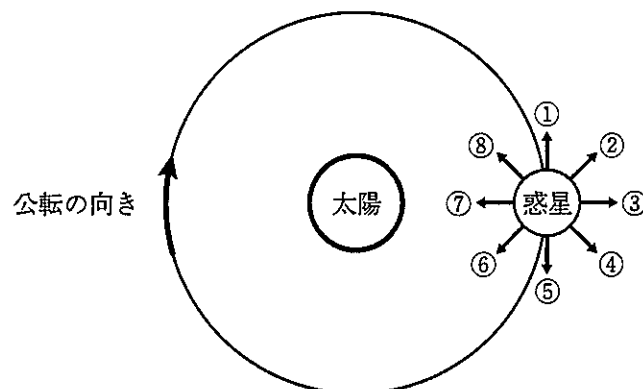


図 1

ケプラーの法則の発見から約半世紀後、ニュートンは、惑星の公転は惑星に太陽が引力を及ぼすためと考えた。ここでは簡単のため、図1のように、静止している質量 M_0 の太陽を中心とする半径 R の円軌道上を、質量 M の惑星が時計回りに等速円運動していると仮定する。惑星の公転の角速度を ω とすると、惑星の加速度の大きさは であり、その向きは、図1の矢印①～⑧のうち、 である。

太陽が惑星に及ぼす万有引力の大きさは なので、惑星の運動方程式は と表される。角速度 ω は惑星の公転周期 T を用いて $\omega =$ と書けるため、第三法則の T と R の関係は、 M_0 と G を用いて $\frac{T^2}{R^3} =$ と表される。

- 〔B〕 図2のように、質量 M_0 の太陽を中心とする半径 R の円軌道上を、質量 M の惑星が速さ V で公転している。また、太陽を一つの焦点とする楕円軌道上を、質量 m の探査機が惑星と同じ向きに公転している。太陽の中心から探査機の遠日点までの距離は R 、近日点までの距離は r である。ただし、 $M_0 \gg M \gg m$ であり、惑星と探査機の大きさは無視できるものとする。

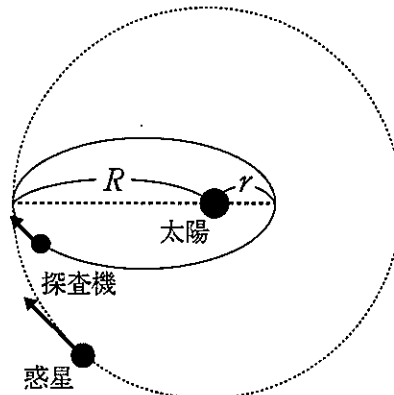


図2

まず、惑星と探査機は十分に離れており、惑星と探査機の間にはたらく万有引力は無視できる場合を考える。

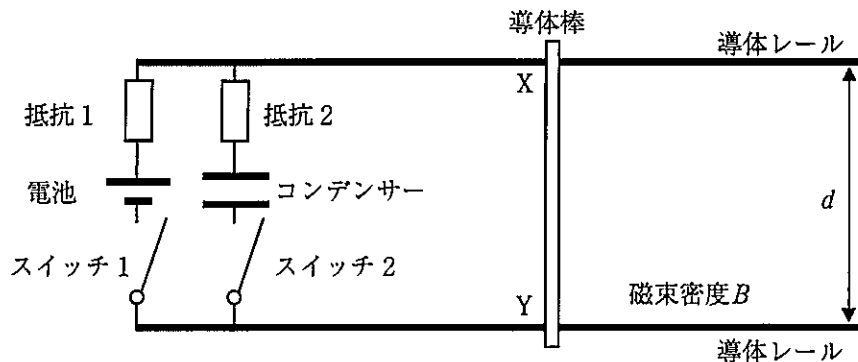
- (1) 惑星の等速円運動の速さ V と力学的エネルギー E を、 G 、 R 、 M_0 、 M のうち必要なものを用いてそれぞれ表せ。
- (2) 探査機の遠日点での速さを v とする。ケプラーの第二法則と力学的エネルギー保存則を利用して、 v と V の比 $\frac{v}{V}$ を、 R と r を用いて表せ。

惑星と探査機が十分に接近すると、それらの間にはたらく万有引力の大きさは無視できなくなる。これを利用して、探査機の軌道や速さを変える技術をスイングバイという。

遠日点で探査機に惑星が追いつくことを利用して、スイングバイを行ったとする。探査機の軌道変化に要する時間が、探査機や惑星の公転周期よりも十分に短いとき、スイングバイによる探査機と惑星の運動の変化は、遠日点で探査機と惑星が弾性衝突したとみなして計算できる。遠日点での弾性衝突（スイングバイ）の直前と直後で、探査機と惑星の進む向きは変化せず、それらの速さが、 v から $v + \Delta v$ へ、 V から $V + \Delta V$ へ、それぞれ変化したとする。

- (3) 速さの変化 Δv と ΔV を、 v 、 V 、 ϵ を用いてそれぞれ表せ。ここで、 ϵ は、探査機と惑星の質量比 $\epsilon = \frac{m}{M}$ である。解答用紙にある（計算）欄は誤答の場合にのみ参照するので、必ずしも記入しなくてよい。
- (4) 衝突直前の惑星と探査機の公転の速さをそれぞれ $V = 30 \text{ km/s}$ 、 $v = 10 \text{ km/s}$ としたとき、衝突による探査機の運動エネルギーの変化 ΔK と衝突直前の探査機の運動エネルギー K の比 $\frac{\Delta K}{K}$ の値を求めよ。ただし、探査機と惑星の質量比 ϵ は非常に小さいので、 $\epsilon = 0$ としてよい。

〔Ⅱ〕 図は、水平面上に間隔 d で平行に置かれた 2 本の導体レールを鉛直上方から見たものである。導体棒が導体レールと垂直に置かれている。導体棒と導体レールの接点を X, Y と呼ぶ。導体レール間には磁束密度 B の一様な磁場（磁界）が鉛直方向にかけられている。導体レールの左端には抵抗 1（抵抗値 R ）、電池（起電力 E ）、スイッチ 1 が接続されている。またそれらと並列に、抵抗 2（抵抗値 R ）、コンデンサー（電気容量 C ）、スイッチ 2 が接続されている。導体棒は、2 本の導体レールと垂直を保ちながら導体レールから外れることなく、なめらかに動くことができるものとする。また導体レールは十分に長く、導体棒が端に達することはないものとする。さらに 2 つの抵抗以外の回路の電気抵抗、電池の内部抵抗、回路を流れる電流により発生する磁場、導体レール間の静電容量は無視できるものとする。



はじめ、スイッチ 1 とスイッチ 2 はともに開いており、導体棒は静止していた。そしてスイッチ 1 だけを閉じると、導体棒は図の右向きに動きはじめた。

- (1) 磁束密度 B の向きは「鉛直上向き」と「鉛直下向き」のどちらか。解答用紙にある適切な語句を丸で囲め。

導体棒の速さが v 、回路を流れる電流の大きさが I_1 のときを考える。

- (2) 磁場が導体棒に及ぼす力の大きさを、 B , d , v , I_1 のうち必要なものを用いて表せ。
- (3) 導体棒に生じる誘導起電力の大きさを、 B , d , v , I_1 のうち必要なものを用いて表せ。
- (4) 電流の大きさ I_1 を、 B , d , v , E , R のうち必要なものを用いて表せ。

- (5) 十分に時間が経つと導体棒の速さは一定になった。その速さを、 B , d , E , R のうち必要なものを用いて表せ。

次に、スイッチ 1 を開き、導体棒を置き直して一定の速さ v_0 で図の右向きに滑らせた。そして、コンデンサーに電荷が蓄えられていない状態で、スイッチ 2 を閉じた。すると回路に電流が流れた。

- (6) スイッチ 2 を閉じた直後の電流の大きさを、 B , d , v_0 , R , C のうち必要なものを用いて表せ。
また導体棒を電流が流れる向きは、図中の「X から Y」と「Y から X」のどちらか。解答用紙にある適切な語句を丸で囲め。

スイッチ 2 を閉じた後も、一定の速さ v_0 を維持するために外力を加えた。回路に流れる電流の大きさが I_2 であったとき、微小時間 Δt の間にコンデンサーに蓄えられる電荷の増加量は $\Delta Q = I_2 \Delta t$ である。

- (7) Δt の間に外力がした仕事 ΔW を、 B , d , v_0 , R , C , ΔQ のうち必要なものを用いて表せ。

やがて、コンデンサーにかかる電圧が一定になった。このときのコンデンサーの静電エネルギーを U 、導体棒の運動エネルギーを K とする。また、スイッチ 2 を閉じてからコンデンサーにかかる電圧が一定になるまでに、外力がした仕事を W 、抵抗 2 で発生したジュール熱を H とする。

- (8) コンデンサーに蓄えられた電荷 Q を、 B , d , v_0 , R , C のうち必要なものを用いて表せ。

- (9) 仕事 W を、 B , d , v_0 , R , C のうち必要なものを用いて表せ。

- (10) 仕事 W を、 U , K , H のうち必要なものを用いて表せ。

- (11) ジュール熱 H を、 B , d , v_0 , R , C のうち必要なものを用いて表せ。

—— このページは白紙です。 ——

〔Ⅲ〕 波動現象について考察する.

〔A〕 x 軸上を伝わる周期 T の正弦波を考える. 波の媒質の変位を y として, 時刻 $t = 0$ における波形を図 1 に示す. 図中の ℓ, h は正の定数であり, 縦横それぞれの点線の間は等間隔である.

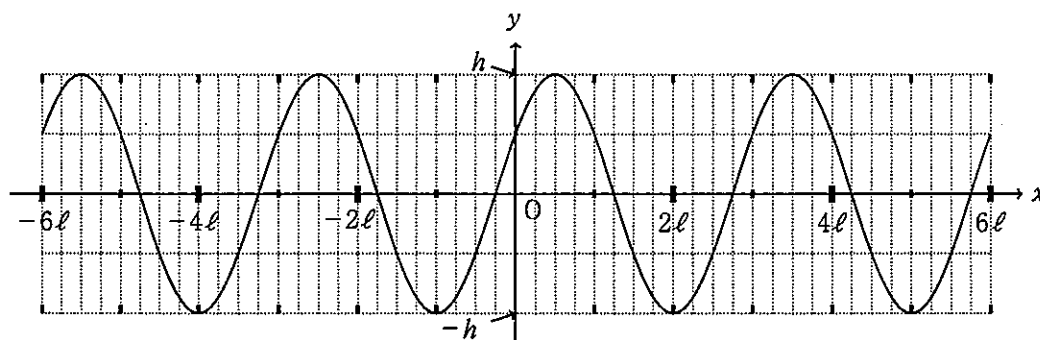


図 1

- (1) この波の波長 λ と波の進む速さ V を, それぞれ求めよ.
 - (2) 時刻 $t = 0$ における媒質の変位は, $y = A \sin(kx + \theta)$ の形に表せる. 定数 A, k, θ を, T, ℓ, h のうち必要なものを用いて, それぞれ表せ. ただし, $A > 0, 0 \leq \theta < 2\pi$ とする.
- この波が, x 軸上を正の向きに進むとする.
- (3) 各位置 x における媒質は単振動する. 時刻 $t = 0$ において, 媒質の速度 (y が増加する向きを正とする) が最大値をとる位置を, $-6\ell \leq x \leq 6\ell$ の範囲ですべて求めよ.
 - (4) 時刻 $t = \frac{2T}{3}$ における波形を表すグラフ ($-4\ell \leq x \leq 4\ell$) の概形を, 解答欄に実線で図示せよ. なお, 解答用紙に示した時刻 $t = 0$ の波形グラフのように, $y = 0, \pm \frac{h}{2}, \pm h$ となる箇所を黒丸で示すこと.
 - (5) 時刻 t における位置 x の媒質の変位 y_1 を, t, x, A, k, θ, V を用いて表せ.

次に、時刻 $t = 0$ において、問（４）で求めた波形をもち、同じ速さ V で x 軸上を負の向きに進む正弦波を用意する。この波の、時刻 t における位置 x の媒質の変位を y_2 とする。問（５）で求めた y_1 と y_2 を重ね合わせてできる合成波 $y_1 + y_2$ を考える。

- （６） 時刻 $t = \frac{4T}{7}$ において、媒質の変位が 0 となる位置を、 $0 \leq x \leq 6\ell$ の範囲ですべて求めよ。

〔B〕 十分に広い、水平な底をもつ水槽に水を入れ、さらに、厚さの無視できる十分に大きな平板を鉛直に差し入れて、領域 1、2 に二分割した。差し入れた平板には幅の十分に狭いスリットが 2 つある。図 2 は、水槽の水面を鉛直上方から見下ろした図で、 S_1 、 S_2 は 2 つのスリットの位置を表す。水面上に、 S_1 、 S_2 の中点を原点とし、平板に沿って y 軸を、平板と垂直な方向に x 軸をもつ xy 座標を設定した。 S_1 と S_2 間の距離は $2a$ であり、 $x > 0$ の領域を領域 2 とする。この水面上を伝わる水面波について、波の振幅が減衰する効果は無視して考察する。

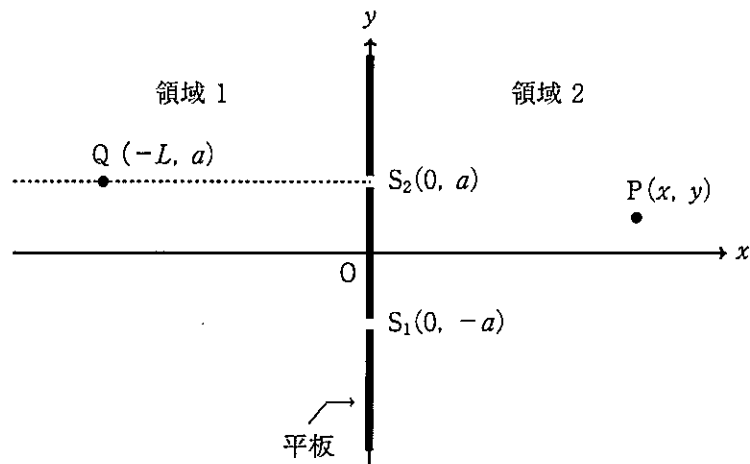


図 2

まず、 x 軸の正の向きに進む波長 λ の平面波を、領域 1 から入射した。

- （１） 領域 2 の水面上の点 $P(x, y)$ において、水位が時間変化しない条件を、 a, x, y, λ 、および、整数 m を用いて表せ。
- （２） 領域 2 側の平板に沿ったすべての場所で、水位が時間変化した。この状況が実現するための条件を求めよ。

次に、水面を静かにさせた後、領域 1 の水面上の点 $Q(-L, a)$ に単振動する波源を置いて、波長 $2a$ の球面波を生じさせた。 L の値を適切に選ぶと、領域 2 の x 軸上のすべての場所で、水位の時間変化を 0 とすることができる。

- (3) L の最大値を求めよ。解答用紙にある（計算）欄は誤答の場合にのみ参照するので、必ずしも記入しなくてよい。

—— このページは白紙です。 ——