

令和5年度医学科入学試験問題

物 理

〔注意事項〕

- 1 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけない。
- 2 解答用紙に受験番号と氏名を必ず記入すること。
- 3 この問題冊子の本文は、12ページからなっている。落丁、乱丁及び印刷不鮮明な箇所などがあれば、手をあげて監督者に知らせなさい。
- 4 この問題冊子の白紙と余白は、適宜下書きに使用してもよい。
- 5 解答は、すべて別紙「解答用紙」の指定された場所に記入すること。
- 6 特に指示がなければ、解答欄に解答の導出過程も簡潔に記すこと。
- 7 この問題冊子は持ち帰ること。

1 次の[A], [B]に答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗は無視できるものとする。解答欄には解答のみを記せ。

[A] 図1-1のように、質量 m の物体1, 2が質量の無視できるばね定数 k のばねでつながれた状態で水平な床に置かれている。床と物体1, 2との間の静止摩擦係数はともに μ 、動摩擦係数はともに μ' とする。物体1から物体2の向きを正の向きとする x 軸を床の上にとり、その原点を O とする。手で物体1, 2を支え、ばねを x 軸方向に自然長 L_0 から l だけ伸ばし、2物体の重心の x 座標を $x = 0$ とした。時刻 $t = 0$ に静かに物体1, 2を支えていた手を同時に放すと物体1, 2は運動を始めた。物体1, 2は x 軸上を運動し、2物体の重心の x 座標は常に $x = 0$ にあった。以下の文中にある空欄 (1) ~ (10) に入る適切な数式を答えよ。なお、ばねは常に水平を保っているものとする。

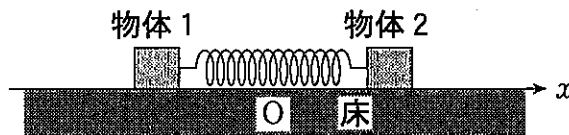


図1-1

手を放すと物体1, 2が動き始めたことから、静止摩擦係数は不等式 $\mu <$ (1) を満たすことがわかる。物体が動き始めた直後、物体2にはたらくばねの復元力の大きさは (2)、摩擦力の大きさは (3) である。物体2が原点 O に向かって運動する間、物体2の x 座標を x 、加速度の x 成分を a とすると、運動方程式は $ma =$ (4) と表される。これより、原点 O に向かう物体2の速さは時刻 $t =$ (5) に最大値 (6) に達することがわかる。その後、物体2は時刻 $t =$ (7) に位置 $x =$ (8) で初めて静止する。時刻 $t = 0$ から $t =$ (7) の間に物体1, 2が失った力学的エネルギーの合計は (9) である。物体1, 2はともに時刻 $t =$ (7) 以降静止し続けたとすると、静止摩擦係数 μ は不等式 $\mu \geq$ (10) を満たすことがわかる。

[B] 図1-2のように、質量 m の物体 1, 2 が質量の無視できるばね定数 k のばねでつながれた状態で台車の上に置かれている。水平な床には右向きを正の向きとする X 軸をとり、台車は X 軸方向に任意の加速度で移動できるものとする。また、水平な台車の上面に右向きを正の向きとする x 軸をとる。物体 1 には質量の無視できる伸縮しない糸が台車の上面と平行に取り付けられており、糸の他端は台車に固定されたなめらかな滑車を通して質量 m の物体 3 に取り付けられている。台車の上面と物体 1, 2 との間の静止摩擦係数はともに μ 、動摩擦係数はともに μ' とする。以下の文中にある空欄 (1) ~ (4), (a) ~ (e) に入る適切な数式を答えよ。ただし、空欄 (a) ~ (e) では以下の文中にある記号 A を用いずに解答せよ。なお、物体 1, 2 は常に台車の上面上にあり、物体 1, 3 は滑車に接触することはないものとする。

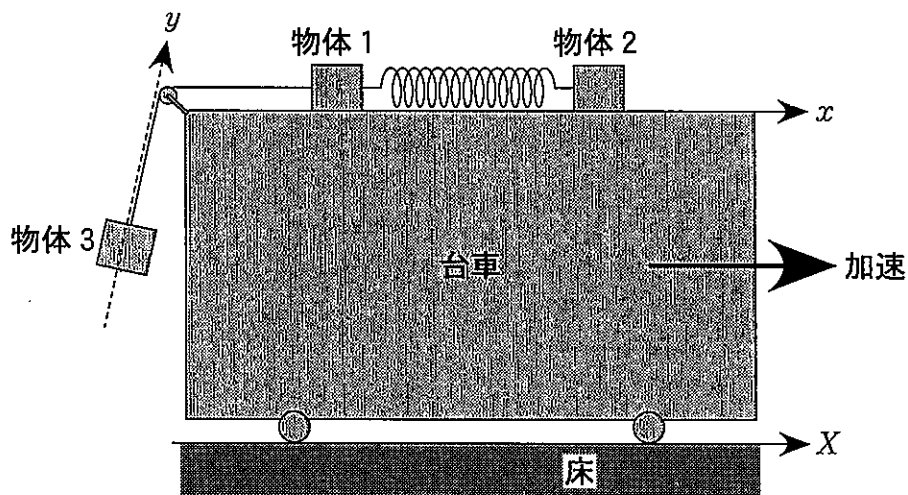


図 1-2

台車が静止している状態では物体 1, 2, 3 は静止しており、ばねは自然長の状態にあった。台車を X 軸方向にゆっくりと加速させて加速度の X 成分が A_0 ($A_0 > 0$) となったとき、物体 3 は台車から離れた状態で台車に対して静止していた。この瞬間における糸の張力の大きさは (1) である。台車の加速度をさらに大きくしたところ、加速度の X 成分が A となった瞬間に物体 1 は動き始めた。このことから、静止摩擦係数 μ は A を用いて (2) と表される。

物体 1 が動き始めた時刻を $t = 0$ とし、時刻 $t \geq 0$ では台車の加速度の X 成分を A に固定したところ、物体 1 は x 軸方向に運動し、ある時間が経過すると台車の上で静止した。この間、物体 2 は台車の上で静止したままであった。この間の運動を調べるために物体 1 の運動方程式を考える。

時刻 $t = 0$ における物体 1 の位置を x 軸の原点とし、運動中の物体 1 の x 座標を x 、加速度の x 成分を a とする。糸の張力を T とすると、物体 1 の運動方程式の x 成分は $ma = \boxed{\text{(3)}} - T$ と表せる。また、物体 3 の運動方程式を求めるため、図 1-2 のように糸に平行かつ上向きに y 軸をとる。物体 1 が運動する間に糸はたるまないため、物体 1 の加速度の x 成分 a は物体 3 の加速度の y 成分に等しく、物体 3 の運動方程式の y 成分は $ma = \boxed{\text{(4)}} + T$ となる。物体 1、3 の運動方程式から糸の張力 T を消去すれば $ma = \boxed{\text{(a)}}$ が成り立つ。これを物体 1 の運動方程式とみなすと、物体 1 は時刻 $t = \boxed{\text{(b)}}$ に台車の上の位置 $x = \boxed{\text{(c)}}$ で静止することがわかる。

物体 1 が台車の上で静止した後、手で物体 2 を x 軸の正の向きにゆっくりと移動させた。物体 2 が距離 $\boxed{\text{(d)}}$ だけ移動した瞬間に物体 1 および物体 3 が動き出したので、その瞬間に物体 2 を台車の上に固定した。その後、時間が $\boxed{\text{(e)}}$ だけ経過すると物体 1、3 は再び台車の上で静止した。

2 以下の[A], [B]の文中にある空欄 (1) ~ (23) に入る適切な数式
 または記号を答えよ。ただし、空欄 (19) は選択肢から最も適切なものを選
 び記号で答えよ。なお、解答欄には解答のみを記せ。

[A] 図2-1は、電気容量 C の平行板コンデンサー、抵抗値 R_1, R_2, R_3
 ($R_3 < R_1 < R_2$)の3つの抵抗、電圧 V_1, V_2, V_3 ($V_2 < V_1 < V_3$)の3つの
 電池、3つのスイッチ S_1, S_2, S_3 からなる回路である。ただし、導線の抵
 抗や電池の内部抵抗は無視できるものとする。回路の点bに対する点aの
 電位を V_a とする。回路の各部分を流れる電流 I, I_1, I_2, I_3 のそれぞれの向
 きは図のようにとるものとする。初め、すべてのスイッチは開いていてコン
 デンサーは帯電していないものとする。

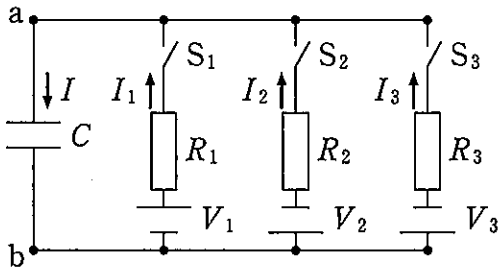
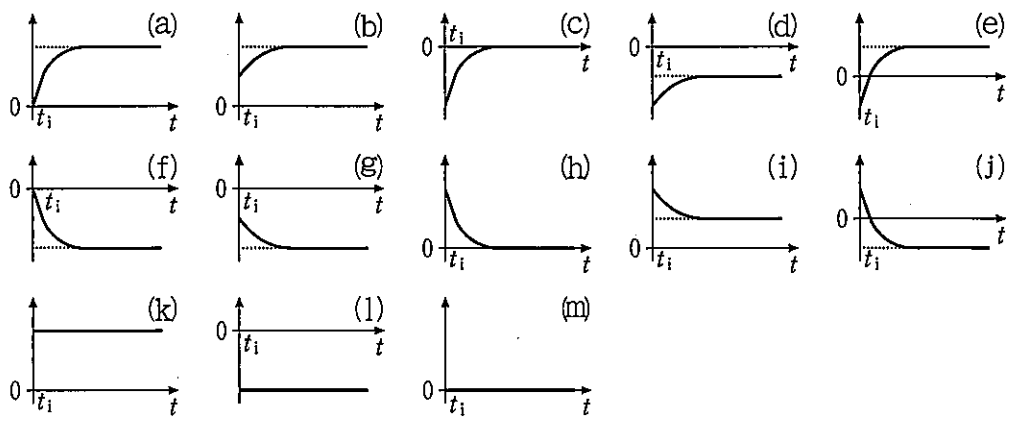


図2-1

次の(a)~(m)のグラフでは、横軸は時間軸とし、縦軸との交点を時刻 $t = t_i$
 として右向きを正の向きとする。縦軸は、横軸との交点を0として上向きを
 正の向きにとるものとする。



グラフ(a)~(m)

時刻 $t = t_1$ にスイッチ S_1 を閉じる。グラフ(a)~(m)の横軸の縦軸との交点の値 t_1 を $t_1 = t_1$ として縦軸は電位 V_a とすると、それらの中で、時刻 $t \geq t_1$ での電位 V_a を表す最も適切なグラフは である。スイッチ S_1 を閉じてから十分に時間が経つと V_a は一定値 とみなせ、コンデンサーに蓄えられている電気量は , エネルギーは である。

次に、時刻 $t = t_2 (> t_1)$ にさらにスイッチ S_2 を閉じる。グラフ(a)~(m)の横軸の t_1 を t_2 として縦軸を V_a とすると、時刻 $t \geq t_2$ での V_a を表す最も適切なグラフは である。また、時刻 $t \geq t_2$ での I を表す最も適切なグラフは である。ただし、グラフの縦軸を I にとるものとする。以下でも同様に縦軸を適切な物理量にとるものとする。時刻 $t = t_2$ から十分に時間が経ち回路に流れる電流が一定とみなせるとき、電流 I, I_1, I_2 のそれぞれの値は $I =$, $I_1 =$, $I_2 =$ であり、電位 V_a の値は $V_a =$ である。

次に、時刻 $t = t_3 (> t_2)$ にさらにスイッチ S_3 を閉じる。グラフ(a)~(m)の横軸の t_1 を t_3 とするとき、時刻 $t \geq t_3$ での V_a, I を表す最も適切なグラフは、それぞれ , である。時刻 $t = t_3$ から十分に時間が経ち回路に流れる電流が一定とみなせるとき、電流 I, I_1, I_2, I_3 のそれぞれの値は $I =$, $I_1 =$, $I_2 =$, $I_3 =$ であり、電位 V_a の値は $V_a =$ である。

一方、時刻 $t = t_3$ にスイッチ S_3 を閉じるだけではなく、同時にスイッチ S_2 を開け、時刻 t_3 から十分に時間が経ち回路に流れる電流が一定とみなせるようになったときの電位 V_a の値を V_0 とする。 で表わされる電位 V_a は、抵抗値 を限りなく と電位 V_0 に限りなく近づけることができる。

の選択肢：

- (ア) ゼロに近づける (イ) ゼロではないある値に近づける
 (ウ) 大きくする

[B] 図2-2のように、電気容量 C のコンデンサー、抵抗値 R_0 , R_1 の2つの抵抗、角周波数 ω で点 b に対する点 a の電位 $V = V_0 \sin \omega t$ の交流電源を接続した回路がある。回路を流れている電流のそれぞれの向きを図2-2のようにとるものとする。電流 I_1 を $I_1 = I_s \sin \omega t + I_c \cos \omega t$ とする。 I_s , I_c を用いると、 I_0 は $I_0 = \boxed{(20)} \sin \omega t + \boxed{(21)} \cos \omega t$ となり、 I_s , I_c は $I_s = \boxed{(22)}$, $I_c = \boxed{(23)}$ となることがわかる。

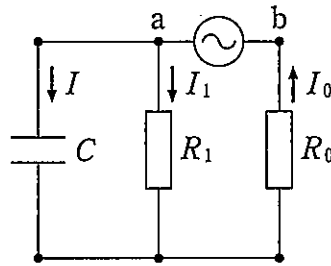


図2-2

3

図3-1のように、光源Wから出た波長 λ の単色光がスリットSを通ったのちスリットAとスリットBを通りスクリーンに達する。スリットAとスリットBは、スリットSと等距離にある。また、スリットAとスリットBとの間隔を $2d$ とする。スリットAとスリットBのあるスリット板Qとスクリーンとは平行になるように設置されており、このスリット板Qとスクリーンの間の距離を L とする。図3-1のように、スクリーン上に x 軸をとり、原点OはスリットAとスリットBから等距離にある点にとる。スリットSのあるスリット板Pもスクリーンと平行になるようにスリット板Qから距離 D だけ離して設置されている。この装置全体は真空中に置かれており、スリットAとスリットBを通った光の干渉によりスクリーン上に干渉縞が生じている。なお、スリットS, A, Bを通過することなくスリット板に当たった光は、スリット板で反射されることなく吸収されてしまうものとする。また、スリット間隔 $2d$ は L や D に比べて十分に小さい($2d \ll L, D$)ものとする。以下の問いに答えよ。なお、 ϵ が1に比べて十分に小さい値のときに成り立つ近似式 $\sqrt{1+\epsilon} \approx 1 + \frac{\epsilon}{2}$ を用いてもよい。

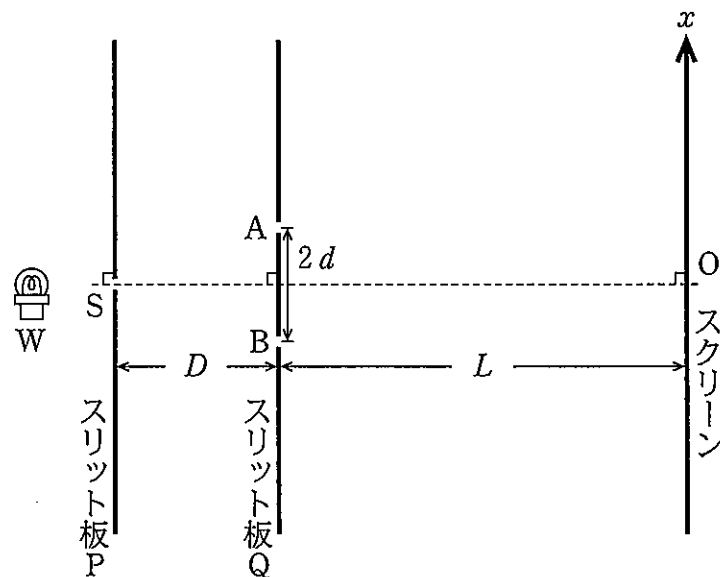


図3-1

問 1 光源 W から出た単色光の真空中での速さを c としたとき、この光の振動数を求めよ。

問 2 スクリーン上の干渉縞のうち、 x 座標の値が正で原点 O に一番近い明線の x 座標の値を L や D に比べて十分に小さいものとして求めよ。

次に、図 3-2 のように、スリット板 P を元の位置からスリット S を中心に反時計回りに角度 θ だけ回転して設置したところスクリーン上に干渉縞が生じた。なお、スリット板 Q やスクリーンは図 3-1 と同じとする。

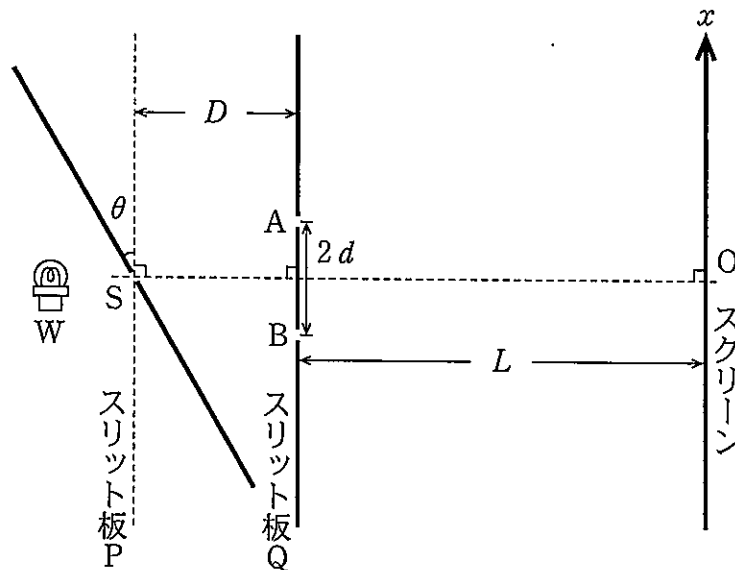


図 3-2

問 3 スクリーン上の干渉縞のうち、 x 座標の値が正で原点 O に一番近い暗線の x 座標の値を L や D に比べて十分に小さいものとして求めよ。

問 4 装置全体を図 3-1 の状態に戻したのち，図 3-3 のように，スリット S を距離 h だけ移動させたとき原点 O がはじめて暗線になった。 h の値を D に比べて十分に小さい ($h \ll D$) ものとして求めよ。

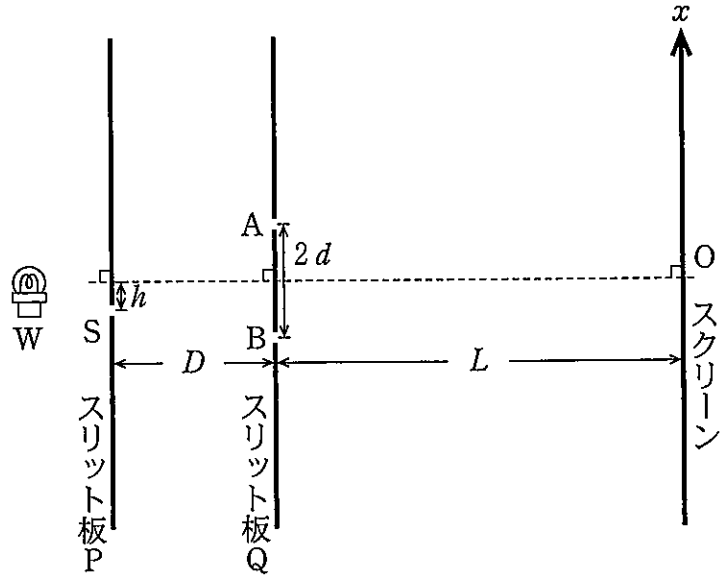


図 3-3

問 5 前問での原点 O が暗線になったときのスリット S の位置 h を固定する。このとき，スクリーン上の干渉縞のうち， x 座標の値が正で原点 O に一番近い明線の x 座標の値を L や D に比べて十分に小さいものとして求めよ。

問 6 図 3-3 でのスリット板 P を取りはずし，光源 W の代わりに波長 λ の平面波をスリット板 Q に垂直に入射した。さらに，図 3-4 のように，平面波の入射方向を反時計回りに回転させたところ，角度が ϕ ($\phi > 0$) になったとき原点 O がはじめて暗線になった。 $\sin \phi$ の値を求めよ。

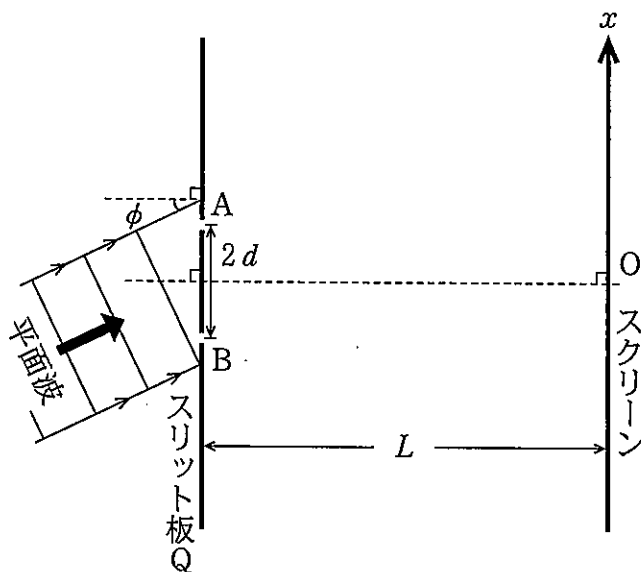


図 3-4