東京女子医科大学

2024 年度　一般選抜　物理

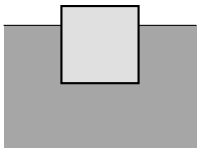
（2 科目　120 分）

［注意事項］

解答用紙の（導出過程）の欄で問題文中にない物理量を用いる場合は，定義してから用いること。

Ⅰ．

（A）質量 m，一辺の長さ a の一様な密度の立方体が下面を真下に向けて密度 ρ の液体に浮いている。重力加速度の大きさを g，大気の圧力を p_0 とする。立方体の上面は常に水平で液面より上にあり，大気の密度は立方体に比べて無視できるほど小さいとして，以下の問いに答えよ。



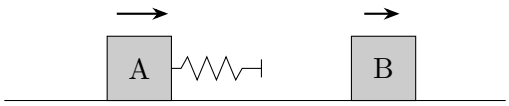
(1)　立方体が静止しているとき，立方体の下面は液面からいくらの深さにあるか。

(2)　(1) の状態で，立方体の下面にかかる圧力はいくらか。

(3)　立方体の下面の中心につけた糸を真下に引いて (1) のときよりもさらに x だけ沈めたとき，糸の張力の大きさはいくらか。

(4)　(3) で糸をはなしたところ立方体は単振動を始めた。このときの立方体の振動の周期はいくらか。ただし，立方体が静止状態で沈んでいる部分の長さと比べて糸を引いた距離 x が十分に小さく，抵抗力や液面の変動は無視できるものとする。

（B）図に示すように，水平で滑らかな一直線上を，ばね定数 k のばねのついた質量 M の物体 A が速さ V で，質量 m の物体 B が速さ v で，どちらも右向きに動いている。$M > m$，および，$V > v$ とし，ばねの質量は無視できるものとして，以下の問いに答えよ。



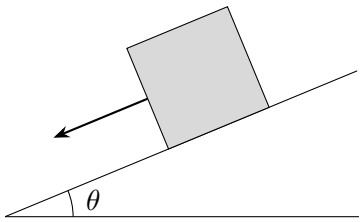
(1)　ばねが最も縮んだときの A の速さを求めよ。

(2)　ばねが最も縮んだときのばねの縮みを求めよ。

(3)　B がばねから離れた後の A の速さと B の速さを求めよ。

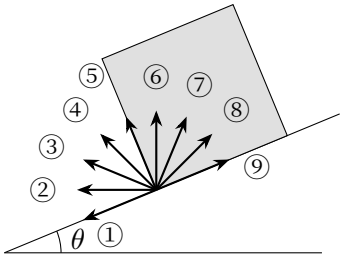
（注）(3) の解答用紙には，導出過程を書く欄がある。

（C）水平から角度 θ だけ傾いた粗い斜面に一辺の長さ a，質量 m の一様な密度の立方体を置いた。ただし，$0° < \theta < 45°$ とする。図に示すように立方体の側面の中心に取り付けた糸を斜面に平行に引っ張る。重力加速度の大きさを g とし，立方体は斜面を滑らないものとして，以下の問いに答えよ。



(1)　糸の張力の大きさを徐々に大きくしていったとき，立方体が回転し始めるのは糸の張力の大きさがいくらをこえたときか。

(2)　糸の張力の大きさがちょうど (1) の答えのとき，斜面が立方体におよぼす力の向きを図の①〜⑨から一つ選べ。ただし，①〜⑨の隣り合った矢印のなす角は等しく，22.5° である。



(3)　(2) において斜面が立方体におよぼす力の大きさを求めよ。

II.

(A) 図 1 に示すように，x 軸を伝わる振幅 A，波長 λ，振動数 f の正弦波を考える。図 1 の実線は時刻 $t = 0$ のときを表しており，$x = 0$ の変位は $-A$ である。そこから微小時間 Δt だけ進んだ波を破線で表している。

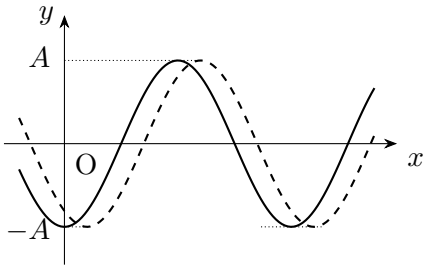


図 1

(1)　任意の位置 x の時刻 t における変位 y はどのように表されるか。

(B) ヤングの干渉実験の再現を行った。図 2 のように，波長 λ の光源の直後にスリット S_0 を設置し，さらに，S_0 との距離が等しくなるように複スリット S_1，S_2 を設置した。S_1 と S_2 の距離は d である。複スリットから距離 L の場所に，複スリットの設置面と平行になるようにスクリーンを設置したところ，明暗の干渉縞が観測され，スクリーン上の点 P で光が強め合った。ここで，点 P は，S_1 と S_2 から等距離にあ

るスクリーン上の点 O から距離 x の位置にあるとする。また，d は L に比べて十分短いとする。S_1 と S_2 の中点と P を結ぶ直線が，直線 S_0O となす角を θ とすると，θ が十分小さい場合，点 P で光が強め合う条件は以下のように表せる。

$$x = \frac{mL\lambda}{d} \quad (m = 0,\ 1,\ 2,\ \cdots) \qquad ①$$

以下の問いに答えよ。

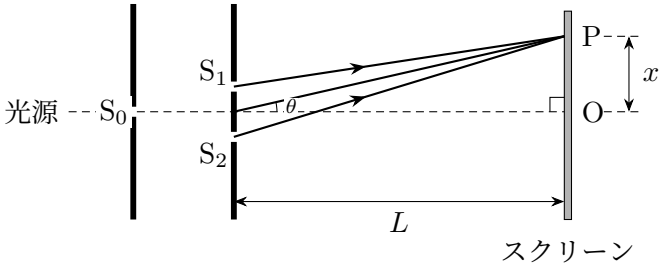


図 2

(1)　①式の導出過程を示せ。ただし，$\sin\theta = \tan\theta = \theta$ としてよいとする。

(2)　S_1 の直前に透明な薄膜を設置したところ，点 P で光は弱め合った。薄膜を設置したことで，光の何がどのように変化し，この結果となったと考えられるか説明せよ。ただし，「光路差」と「位相」という用語を使うこと。

（C）光電効果について調べるために，図 3 のような装置を用いて光により発生する光電流 I を測定した。電極 b に対する電極 a の電位を V とする。電極 b に振動数 f の単色光を照射し，V を変化させて I を測定したところ，図 4 のような結果が得られた。プランク定数を h，電気素量を e として以下の問いに答えよ。

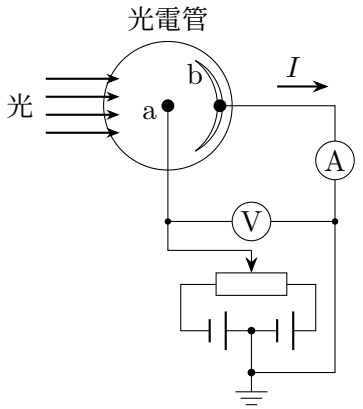


図 3

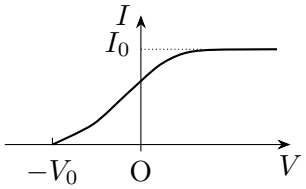


図 4

(1) $V < -V_0$ のとき，光電効果により電極 b から飛び出した電子が，その後どうなるか説明せよ。

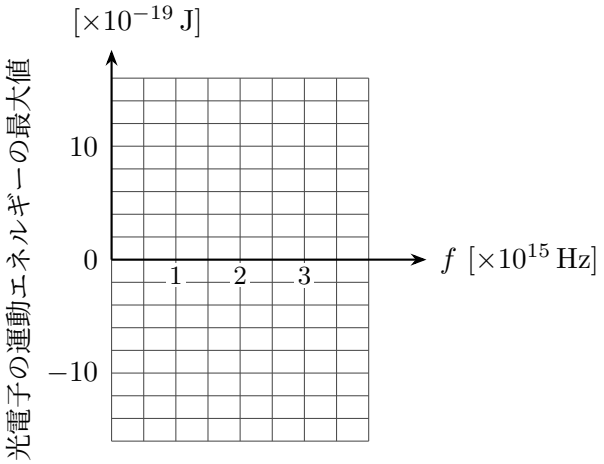
(2) 入射する光を強くすると，$V > -V_0$ のときは，光電流の大きさも比例して大きくなる。一方で，$V < -V_0$ のときは，入射する光を強くしても，光電流は流れなかった。この結果を光の波動性では説明できないが，なぜか。

(3) 光は光子の集団であるとし，この光子が電子にエネルギーを与えると考えると，電極 b に用いている金属の仕事関数はどのように表せるか。

次に振動数の異なる光を様々に用意して，光電子の運動エネルギーの最大値を調べたところ，電極 b に用いている金属の仕事関数は $13 \times 10^{-19}\,\mathrm{J}$ であり，限界振動数は $2.0 \times 10^{15}\,\mathrm{Hz}$ であると求められた。

(4)　電極 b に用いている金属の，光の振動数と光電子の運動エネルギーの最大値との関係を図示せよ。また，この実験結果からプランク定数 h を求めよ。

（注）解答欄には次の方眼が与えられている。



III.

（A）幅 a，高さ b $(a < b)$，奥行き c の導体でできた箱がある。この箱の導体の厚さは d である。この箱を図 1 のように高さ b，奥行き c の二つの電極の中心に入れ，箱の幅方向に x 軸をとる。電極間の電圧を V，接地点の電位を 0 V として，中空を通る点線に沿って電場，電位のグラフを描け。

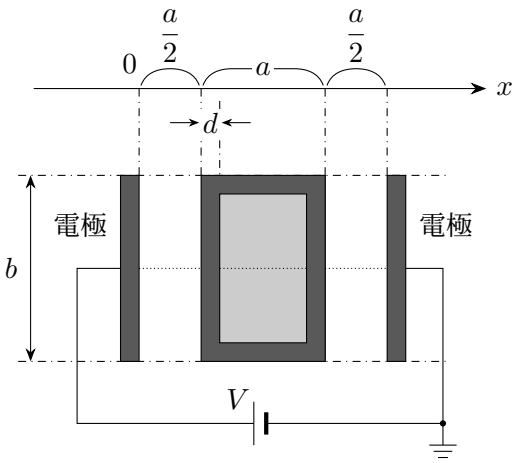
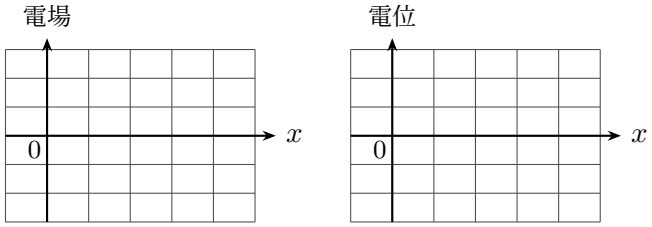


図 1

（注）解答欄には次の方眼が与えられている。



（B）短辺の長さ a，長辺の長さ b $(a < b)$ の長方形の太さが一様で十分に細い導線を考える。導線の抵抗値は R である。図 2 のようにこの導線の短辺の方向に x 軸を，長辺の方向に y 軸をとる。また，xy 平面の $0 \leqq x \leqq 2a$ の領域に，磁束密度 B で紙面表から裏向きの一様な磁場がある。導線を xy 平面内で x 軸の正の向きに一定の速さ v で動かした。導線の右辺が $x = 0$ にきたときを時刻 $t = 0$ とする。導線を流れる電流が作る磁場は無視してよい。以下の問いに答えよ。

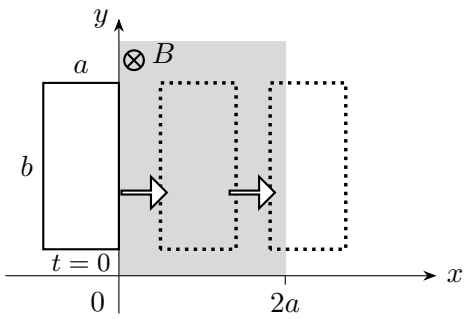
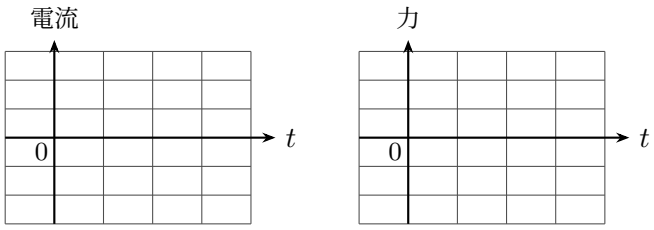


図 2

(1)　このとき導線に生じる誘導電流の時間変化と導線が磁場から受ける力の時間変化を，導線が一様な磁場の領域に入ってから抜けるまでグラフに描け。時計回りに流れる電流の向きを正，x 軸の正の向きを力の正の向きとする。

（注）解答欄には次の方眼が与えられている。



(2)　導線が一様な磁場の領域に入ってから抜けるまでに生じたジュール熱 Q と導線を動かすために外力がした仕事 W を求めよ。

（注）(2) の解答用紙には，導出過程を書く欄がある。

(3)　Q と W を比較し，なぜそうなるのか理由を説明せよ。

（C）（B）で用いた導線を取り出し，図 3 のように起電力 V の電池，電気容量 C のコンデンサー，抵抗値 r の抵抗をつないだ。電池の内部抵抗は無視できるものとする。太線部分が（B）で用いた導線である。十分時間がたったとして以下の問いに答えよ。

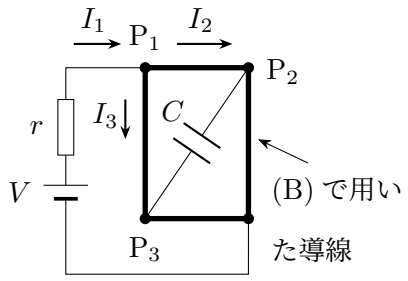


図 3

(1)　点 P_1 に流れ込む電流 I_1，流れ出る電流 I_2，I_3 をそれぞれ求めよ。

(2)　点 P_2 および点 P_3 の電位を I_1，I_2，I_3 を使わずに表せ。電位の基準は電池の負極とする。

(3)　コンデンサーに蓄えられた電気量を I_1，I_2，I_3 を使わずに表せ。