

令和4年度入学者選抜試験問題

工学部

(高分子・有機材料工学科, 化学・バイオ工学科,
情報・エレクトロニクス学科,
機械システム工学科, システム創成工学科)

理 科 (物 理)

前 期 日 程

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 この問題冊子の本文は、1ページから6ページまでです。
- 3 解答は、物理専用の解答用紙を使用してください。
- 4 問題は3問からなっています。**解答は問題番号と一致した解答用紙**に記入してください。解答用紙は裏面まで使用できます。解答用紙には、計算過程も記入してください。
- 5 すべての解答用紙に**大学受験番号**を正しく記入してください。大学受験番号が正しくない場合は、採点できないことがあります。
- 6 試験終了後、問題冊子および下書き用紙は持ち帰ってください。

第1問

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), …, (14) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。なお、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

[A] 図1のように、水平面に対して傾きの角 θ のなめらかな斜面がある。質量 m [kg] の小物体に軽く伸びない糸をつけ、小物体が斜面上の点 O で静止するように、斜面にそって上向きに一定の力 T [N] で引いた。斜面にそって上向きに x 軸、斜面に対して垂直方向上向きに y 軸をとる。

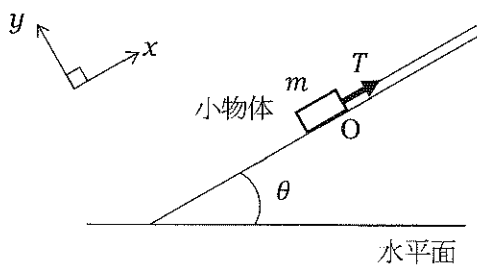


図1

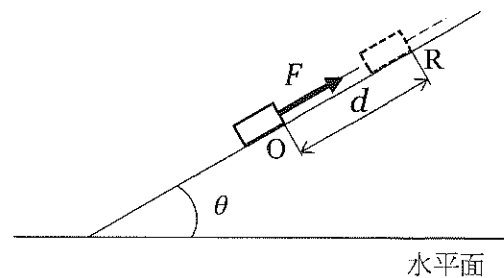


図2

- (1) 小物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさ N [N] を、 θ , g , m を用いて表せ。
- (2) 小物体に働く x 軸方向の力のつり合いの式を、 θ , g , m , T を用いて表せ。
- (3) 糸を静かに切り離すと、小物体は斜面をすべりおりはじめた。小物体が斜面にそって点 O から水平面に到達するまでの時間は t_1 [s] であった。一方、斜面がない状態で、同じ質量 m の小物体を点 O と同じ高さから水平面に自由落下させたところ、水平面に到達するまでの時間は t_2 [s] であった。 $\frac{t_2}{t_1}$ を、 θ , g , m の中から適切な記号を用いて表せ。また、 t_1 と t_2 のどちらの時間が長いかわたせよ。

つぎに、図1の状態に戻し、糸を引く力を T から一定の力 F [N] に変えて小物体を点 O から引き上げた。図2のように、小物体は点 O から斜面にそって移動し、距離 d [m] だけ離れた点 R を通過した。

- (4) 小物体が斜面をすべり上がるときの加速度の大きさ a [m/s²] を、 θ , d , g , m , F の中から適切な記号を用いて表せ。
- (5) 小物体が点 O から点 R まで移動する間に、力 F が小物体にした仕事の大きさ W [J] を、 θ , d , g , m , F の中から適切な記号を用いて表せ。
- (6) 点 R における小物体の速さ v [m/s] を、 θ , d , g , m , F を用いて表せ。

[B] 図3のように、あらい水平面に質量 m [kg] の物体 A をおき、軽くて伸びない糸を物体 A につけ、なめらかに回転する定滑車 C と動滑車 D を通して糸の他端を天井に固定した。滑車 D は鉛直方向に上下し、滑車 C と D の質量は無視できるものとする。また、物体 A と水平面との間の静止摩擦係数を μ 、動摩擦係数を μ' とする。

はじめ、滑車 D に質量の無視できる容器 B を、床から高さ H [m] の位置に静止するようにとりつけた。つぎに、容器 B に少しずつ砂を入れていき、容器 B が下降しはじめたところで砂を入れるのを止めた。そのときの砂の質量は M [kg] であった。容器 B の下降と同時に物体 A は水平面を右向きに運動しはじめ、その後、容器 B は床に衝突した。容器 B が床に衝突してから物体 A が静止するまでに、物体 A は距離 L [m] だけ進んだ。物体 A は滑車 C に衝突せず、容器 B は床に衝突した後、はね返らなかった。

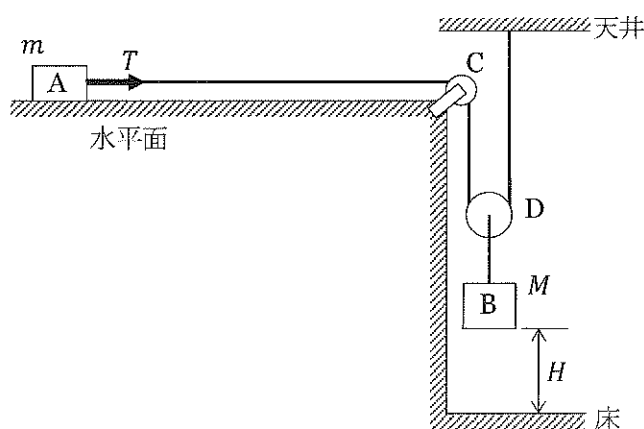


図 3

- (7) 物体 A と水平面との間の静止摩擦係数 μ を、 m 、 M を用いて表せ。
- (8) 容器 B が下降しているときの物体 A の速さ v_A [m/s] を、容器 B の速さ v_B [m/s] を用いて表せ。
- (9) 容器 B が下降しているとき、物体 A につけた糸の張力を T [N]、および物体 A の加速度の大きさを a_A [m/s²] として、物体 A の運動方程式を、 μ' 、 a_A 、 g 、 m 、 T を用いて表せ。
- (10) 下降している容器 B の加速度の大きさを a_B [m/s²] として、砂が入った容器 B の運動方程式を、 a_B 、 g 、 M 、 T を用いて表せ。
- (11) 容器 B が下降しているとき、物体 A につけた糸の張力 T を、 μ' 、 g 、 m 、 M を用いて表せ。
- (12) 床に衝突する直前の容器 B の速さ v_B [m/s] を、 a_B 、 H を用いて表せ。
- (13) 距離 L を、 μ' 、 a_A 、 g 、 H を用いて表せ。
- (14) 物体 A が動き始めてから静止するまでに、動摩擦力がした仕事の大きさ W [J] を、 μ' 、 a_A 、 g 、 m 、 H を用いて表せ。

第2問

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), …, (15) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。なお、円周率を π とする。

[A] 図1のように、起電力 V [V] の電池、4つの抵抗、電気容量 C [F] のコンデンサー、3つのスイッチからなる回路がある。抵抗 R_1, R_3, R_4 の抵抗値は R [Ω]、抵抗 R_2 の抵抗値は $2R$ である。最初、コンデンサーに電荷はなく、スイッチ S_1 は閉じており、スイッチ S_2 と S_3 は開いている。

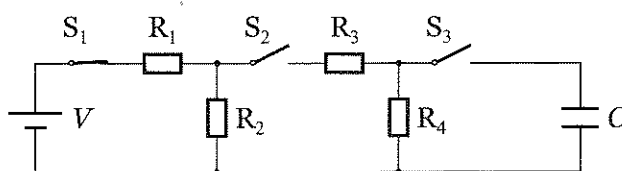


図1

(1) 抵抗 R_1 に流れる電流の大きさ I_1 [A] を、 R, V を用いて表せ。

続けて、スイッチ S_2 を閉じた。

(2) 抵抗 R_1 に流れる電流の大きさ I_2 [A] を、 R, V を用いて表せ。

さらに、スイッチ S_3 を閉じて、じゅうぶん時間が経過した。

(3) コンデンサーに蓄えられた電気量 Q [C] を、 C, R, V の中から必要な記号を用いて表せ。

つぎに、一部の部品を電気容量 C のコンデンサー C_1 と C_2 、自己インダクタンス L [H] のコイルに置き換えて、図2のような回路を作った。最初、スイッチはすべて開いており、コンデンサーに電荷はないものとする。

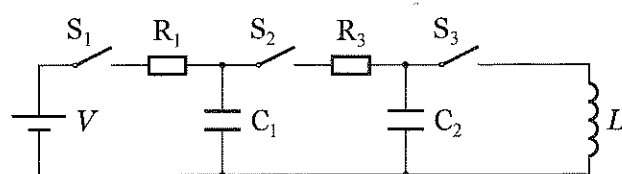


図2

まず、スイッチ S_1 を閉じた。

(4) スイッチ S_1 を閉じた直後に、抵抗 R_1 に流れる電流の大きさ I_3 [A] を、 C, R, V の中から必要な記号を用いて表せ。

スイッチ S_1 を閉じてからじゅうぶん時間が経過した後、スイッチ S_1 を開いた。その後、コンデンサー C_1 の極板間の距離を小さくし、電気容量を C から $2C$ に変化させた。

(5) コンデンサー C_1 に蓄えられている電気量 Q_1 [C] を、 C, R, V の中から必要な記号を用いて表せ。

(6) コンデンサー C_1 に蓄えられているエネルギー U [J] を、 C, Q_1 を用いて表せ。

つぎに、スイッチ S_2 を閉じ、じゅうぶん時間が経過した。

(7) コンデンサー C_2 に蓄えられた電気量 Q_2 [C] を、 Q_1 を用いて表せ。

(8) スイッチ S_2 を閉じてからじゅうぶん時間が経過するまでの間に抵抗 R_3 で熱として失われたエネルギー W [J] を, C, Q_1 を用いて表せ。

最後に, コンデンサー C_2 に Q_2 の電気量が蓄えられている状態から, スイッチ S_2 を開いて, スイッチ S_3 を閉じたところ, 電気振動が起きた。

(9) 電気振動の固有周波数 f [Hz] を, C, L を用いて表せ。

(10) 電気振動が起きている間に回路に流れる電流の最大値 I_m [A] を, C, L, Q_2 を用いて表せ。ただし, 電気振動の減衰は無視できるものとする。

[B] 図3は, 金属の仕事関数を測定する装置の模式図である。金属板 M に振動数 ν [Hz] の光を照射すると, 光電効果によって金属板 M から様々な運動エネルギーを持った電子が飛び出す。金属板 M と極板 N の間に電圧 V [V] を加えることで, 飛び出した電子を減速させることができる。また, 極板 N には小さな穴 P があり, 電子が極板 N に対して垂直方向に通過することができる。極板 N の右側の領域には紙面の表から裏の向きに磁束密度 B [T] の一様な磁界(磁場)があり, 電子はローレンツ力を受けて半円状の軌跡を描く。その後, 特定のエネルギーをもつ電子のみが, 小さな穴 P から距離 a [m] だけ離れた小さな穴 Q を通り, 検出器で検出される。なお, 装置は真空中に置かれ, プランク定数を h [J·s], 電子の電気量の絶対値を e [C], 電子の質量を m [kg] とする。

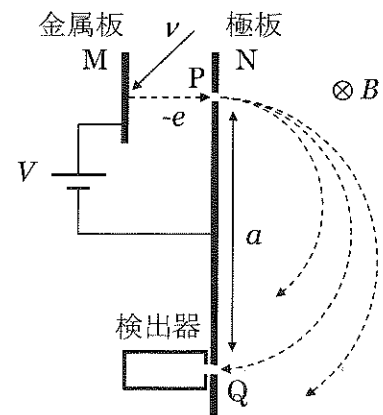


図3

(11) 振動数 ν の光の粒子(光子)1個が持つエネルギー E [J] を, ν, e, h, m の中から必要な記号を用いて表せ。

(12) 金属板 M から運動エネルギー K_0 [J] で飛び出した電子が小さな穴 P を通過するときの運動エネルギー K_1 [J] を, e, K_0, V を用いて表せ。

(13) 小さな穴 P を運動エネルギー K_1 で通過した電子が, 磁場から受けるローレンツ力の大きさ F [N] を, e, m, B, K_1 を用いて表せ。

(14) 検出器に到達した電子が, 小さな穴 Q を通過したときに持っていた運動エネルギー K_2 [J] を, a, e, m, B を用いて表せ。

(15) 電子を減速させる電圧 V を徐々に大きくしていくと, 電圧 V_1 [V] を超えてからは検出器に電子が検出されなくなった。なお, V_1 は阻止電圧より小さかった。金属板 M の仕事関数 W [J] を, a, e, m, B, E, V_1 を用いて表せ。

第3問

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), …, (13) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

[A] 図1のように、単色光を出す点光源 A が液面から深さ d_0 [m] の点 O に置かれている。不透明な円板を、その中心が光源の真上の点 P に重なるように液面上に置くことによって、空気中のどこからも光源が見えなくなるようにすることができる。これに必要な円板の最小の半径は R [m] であった。点光源 A から出た光の空気中での波長は λ_A [m] であり、この光に対する空気の屈折率を 1、液体の屈折率を n_A とする。ただし、 $n_A > 1$ であり、空気中の光の速さを c [m/s] とする。

- (1) この光の液中での波長 λ_A' [m] を、 λ_A, n_A を用いて表せ。
- (2) この光の液中での速さ c' [m/s] を、 c, n_A を用いて表せ。
- (3) 半径 R の円板の外側から点光源 A が見えない理由を答えよ。
- (4) 屈折率 n_A を、 d_0, R を用いて表せ。
- (5) 図1のように、点光源 A を出た光線が半径 R の円板の外の点 S に進んだ場合、適切な経路を図中の (a)~(c) から選べ。
- (6) 図2のように、半径 R の円板の外の点 S に、空気中から波長 λ_A の光線を入射すると、光は液面で屈折する。適切な経路を図中の (e)~(g) から選べ。

次に、空気中での波長が λ_B [m] の光を出す点光源 B を、図1の点 O に重ねて置いた。点光源 B の光に対する液体の屈折率 n_B は n_A よりも大きい。

- (7) 空気中のどこからも点光源 B が見えなくなる円板の最小半径について、以下の文章中の [] に入る適切な語句を (ア)~(エ) から選べ。ただし、どちらの光に対しても空気の屈折率は 1 とする。

点光源 A の光に比べて、点光源 B の光は液面での臨界角が [(ア) 大きく, (イ) 小さく] なるので、点光源 B が見えなくなるための円板の最小半径は、 R より [(ウ) 大きい, (エ) 小さい]。

- (8) 図3のように、点光源 A と点光源 B を点 O に重ねて置いたまま、円板だけを取り除いた。点 P のほぼ真上の空気中から見ると、両光源の見かけの深さが異なっていた。両光源の見かけの深さの差 d [m] を、 d_0, n_A, n_B を用いて表せ。また、深く見える方の光源を答えよ。ただし、点光源から出て目に向かう光の屈折角を θ [rad] とすると、 θ は非常に小さいため、 $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$ が成り立つ。

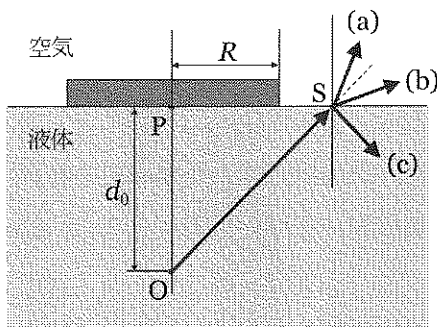


図1

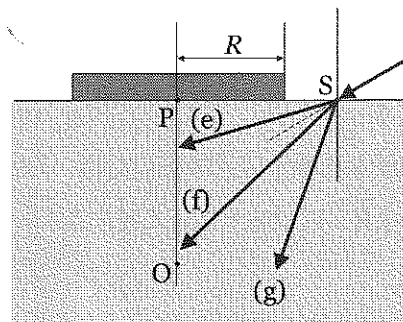


図2

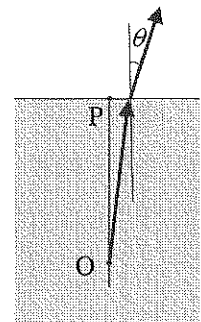


図3

[B] 図4のような光の干渉を観察する装置が空気中にあり、光源Sから出た波長 λ [m]の単色光をハーフミラーHMに入射する。HMは光の一部を透過し、一部を反射する光学部品である。入射光の一部は、HMを透過した後、鏡 M_1 で反射され、HMで再び反射してスクリーンに入る。ほかの一部はHMで反射され、鏡 M_2 で反射した後、HMを透過してスクリーンに入る。スクリーン上ではこの2つの光の干渉によって、光が強め合ったり弱め合ったりする。はじめ、2つの光はスクリーン上で強め合っていた。HMは十分薄く干渉に影響を与えないものとする。空気の屈折率を1とする。

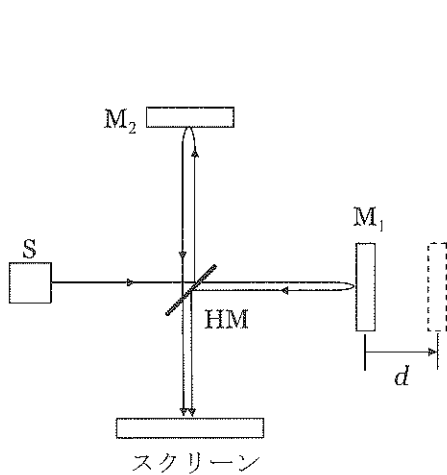


図4

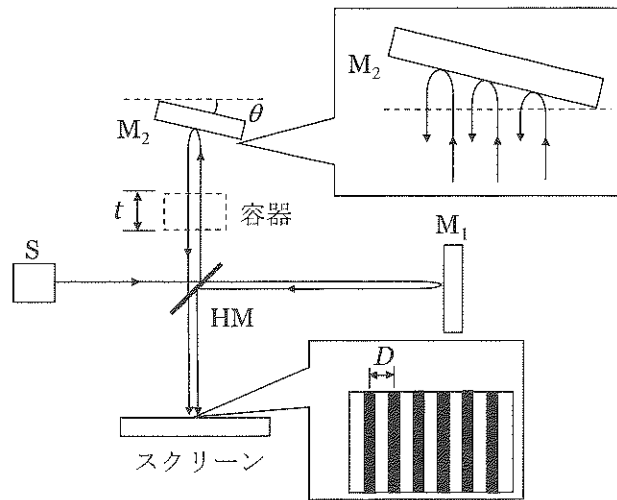


図5

(9) 次の(a)~(c)のうち、単色光の光源として最も適したものを一つ選べ。

(a)白熱電球, (b)太陽, (c)レーザー

(10) 鏡 M_1 を遠ざけるようにゆっくりと平行移動させる。スクリーン上で、新たにちょうど m 回だけ強め合ったときの鏡 M_1 の移動距離は d [m]であった。 λ を、 d, m を用いて表せ。

(11) 次に、図5のように、鏡 M_2 を非常に小さな角度 θ [rad]だけ傾けると、光が反射される鏡 M_2 上の位置によって光路長に違いが生じた。この光が鏡 M_1 からの光とスクリーン上で重なることで干渉縞が観測された。この干渉縞の間隔を D [m]とすると、鏡 M_2 の傾き角 θ を、 λ, D を用いて表せ。ただし、角度 θ が非常に小さいため、鏡 M_2 の傾きによる反射光の向きの変化は無視でき、また、 $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$ が成り立つ。

(12) 光が屈折率 n の媒質中を距離 a [m]だけ伝わるときの光路長 L [m]を、 a, n を用いて表せ。

(13) 鏡 M_2 を傾けたまま、ハーフミラーHMと鏡 M_2 の間に、透明な窓をもつ厚さ t [m]の容器を置く。一旦、容器の中を真空にした後、屈折率の大きな気体をゆっくりと入れた。この気体を入れる前後で干渉縞は横に移動し、その距離は $5D$ であった。この容器内の気体の屈折率 n を、 λ, t を用いて表せ。ただし、容器の窓は干渉に影響を与えないものとする。