

令和 7 年度 (前期日程)

入学者選抜学力検査問題

物 理

〔注意事項〕

1. 監督者の指示があるまで、この冊子と解答用紙を開いてはいけません。
2. この冊子の問題は 8 ページからなっています。また、解答用紙は 3 枚、下書用紙は 1 枚あります。監督者から解答開始の合図があったら、この冊子、解答用紙、下書用紙を確認し、落丁・乱丁、印刷の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。
3. 解答用紙には受験番号を記入する欄がそれぞれ 2 箇所ずつあります。監督者の指示に従って、3 枚すべての解答用紙の受験番号欄(合計 6 箇所)に受験番号を必ず記入しなさい。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された場所(問題番号や設問の番号・記号などが対応する解答欄の中)に記入しなさい。その際、特に要求されていなければ、途中の計算式などを書かずに、問いに対する答えのみを記入しなさい。
5. 解答用紙の欄外や裏面には何も書いてはいけません。
6. 下書用紙への記入の有無・内容は自由です。
7. この冊子の白紙と余白は、下書きや計算などに使用しても構いません。
8. 解答用紙は、持ち帰ってはいけません。
9. この冊子および下書用紙は、持ち帰りなさい。

I 図1に示すように、地表に水平右向きに x 軸、鉛直上向きに y 軸をとり、原点 O から質量が m のボールを鉛直上向きに発射する。ボールには、質量が無視できる音源が取り付けられてあり、音源が発する音の振動数は f_0 である。また、原点 O には音の振動数を測定するための観測装置が設置してある。ただし、重力加速度の大きさを g 、空気中の音速を V とし、空気の抵抗ならびにボール、音源、観測装置の大きさは無視する。

ボールを速さ v_0 で発射すると、ボールは最高点まで上昇し、その後、下降して高さ h ($h > 0$) に到達した。以下の問(1)～(4)に答えよ。

- (1) ボールの最高点の高さを求めよ。
- (2) 下降して高さ h に到達したときのボールの速さを求めよ。
- (3) 次の(ア)～(ウ)について、観測装置が測定する振動数は f_0 に比べてどうか。解答欄の、大きい、等しい、小さいの中から適切なものを選び丸で囲め。
 - (ア) ボールが上昇中に、音源が発した音
 - (イ) ボールが最高点で、音源が発した音
 - (ウ) ボールが下降中に、音源が発した音
- (4) ボールが下降して高さ h に到達したときに音源が発した音について、観測装置が測定する振動数を求めよ。



図1

次に、ボールが下降して高さ h に到達したとき、ボールをラケットで打ち出した。このときの時刻 t を 0 とする。これにより、図 2 に示すように、ボールは x 軸の正の向きに飛び、打ち出した瞬間のボールの速さは $3v_0$ であった。その後、ボールは地表の地点 A に落下した。ボールをラケットで打ち出してから落下するまでの運動中について、以下の問(5)～(8)に答えよ。

- (5) ボールがラケットから受けた力積の大きさを求めよ。
- (6) 時刻 t における、ボールの速度の x 方向成分(ア)と y 方向成分(イ)を求めよ。
- (7) ボールが地点 A に落下したときに、ボールの軌跡と x 軸がなす角度を θ とすると、 $\tan \theta = \frac{1}{9}$ であった。このとき、原点 O から地点 A までの距離を、 m , v_0 , g の中から必要なものを用いて表せ。

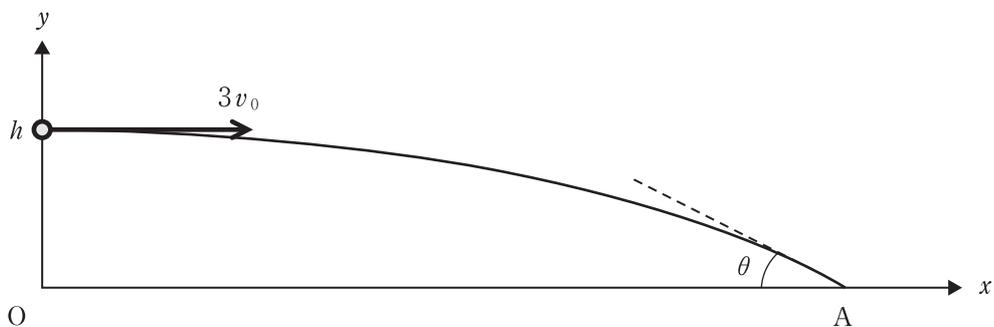


図 2

- (8) 図 3 に示すように、時刻 t においてボールと観測装置を結んだ線分と x 軸がなす角度を ϕ ($0^\circ < \phi < 90^\circ$) とする。時刻 t に音源が発した音について、観測装置が測定する振動数を求めよ。

(配点率 34%)

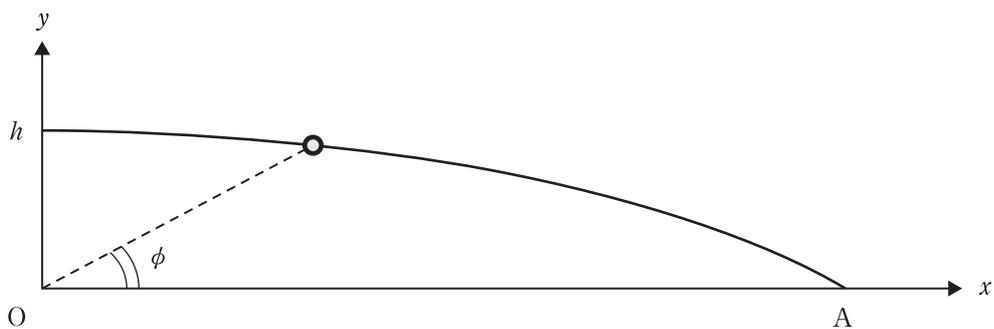


図 3

II バッテリーを充電することを考えよう。バッテリーを電気容量 C のコンデンサーとみなす。充電に使用する電源は起電力 E または $\frac{E}{2}$ の直流電圧電源で表し、抵抗値 R の抵抗とコンデンサーを直列に接続して充電する。充電におけるエネルギーのやりとりを考察した文章を以下に示す。文章中の空欄には、(1) ~ (8), (10) ~ (26) では記号 C, E, R の中から必要なものを用いた式あるいは数値を、(29) ~ (30), (32) ~ (33) では $C, R, I, \Delta t$ の中から必要なものを用いた式あるいは数値を、(9) と (27) では適切な数値を分数で解答せよ。また、(28), (31), (34) では示された選択肢から適切な語句を選び、解答欄の語句を丸で囲め。

【充電方法 A】 起電力 E で充電する場合

図1に示すように、起電力 E の電源、抵抗値 R の抵抗、電気容量 C のコンデンサーとスイッチ S で構成される回路を考える。抵抗の両端の電位差を V_R 、コンデンサーの両端の電位差を V_C 、回路を流れる電流を I で表す。最初 S は開いており、コンデンサーには電荷が蓄えられていない。

充電を開始するにあたり S を閉じた。閉じた直後の V_R と I を求めてみよう。コンデンサーには電荷が蓄えられていないので、 V_C は (1) である。そのため V_R は (2) となり、 I は (3) と求まる。その後、 S を閉じてから十分長い時間が経過し、回路に電流が流れていない ($I = 0$) とみなせるようになった。このとき、 V_R は (4) であり V_C は (5) なので、コンデンサーに蓄えられた電荷 Q_A は (6) である。したがって、このときコンデンサーに蓄えられたエネルギー U_A は (7) となる。一方、この間に電源によってなされた仕事 W_A を考えると、電圧は E で一定であり、この間に移動した電荷は Q_A であるから、 W_A は (8) となる。なされた仕事に対する蓄えられたエネルギーの比をエネルギー効率として定義すると、今回のエネルギー効率は $\frac{U_A}{W_A}$ でありその値は (9) である。

【充電方法 B】 起電力 $\frac{E}{2}$ と E の2回に分けて充電する場合

<ステップ1>

図2に示すように、起電力 $\frac{E}{2}$ の2個の電源、抵抗値 R の抵抗、電気容量 C のコンデンサーとスイッチ S, S_E で構成される回路を考える。 S_E は(a)側に接続されている。最初 S は開いており、コンデンサーには電荷が蓄えられていない。

充電を開始するにあたりまず S を閉じた。閉じた直後の V_R と I を求めてみよう。コンデンサーには電荷が蓄えられていないので、 V_C は (10) である。そのため V_R は (11) となり、 I は (12) と求まる。その後、 S を閉じてから十分長い時間が経過し、回路に電流が流れていない ($I = 0$) とみなせるようになった。このとき、 V_R は (13) であり V_C は (14) なので、コンデンサーに蓄えられた電荷 Q_{B1} は (15) である。一方、この間に電源によってなされた仕事 W_{B1} を考えると、電圧は $\frac{E}{2}$ で一定であり、この間に移動した電荷は Q_{B1} であるから、 W_{B1} は (16) となる。

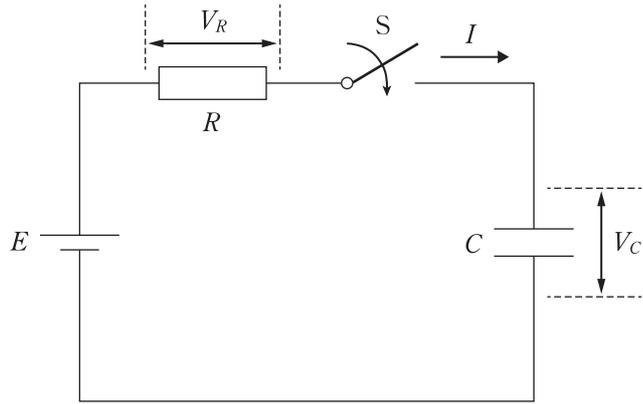


图 1

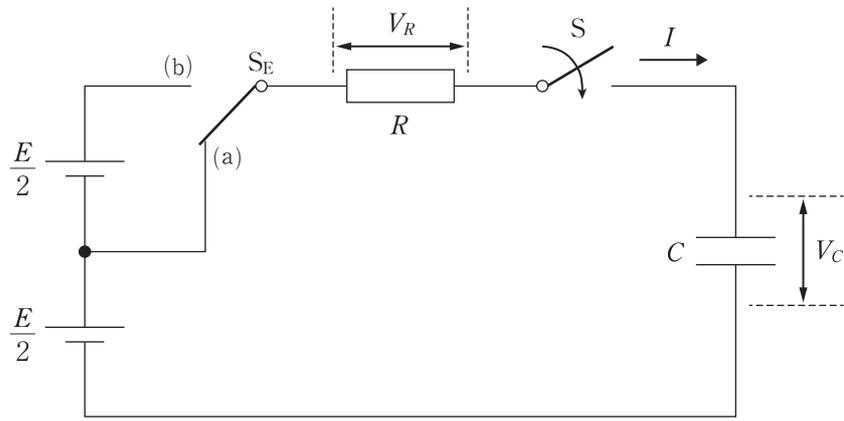


图 2

<ステップ2>

次に、図3のように S_E を(a)側から(b)側へ切り替えた。

S_E を切り替えた直後の V_R と I を求めてみよう。 V_C は (17) なので、 V_R は (18) となり、 I は (19) と求まる。その後、 S_E を切り替えてから十分長い時間が経過し、回路に電流が流れていない($I = 0$)とみなせるようになった。このとき、 V_R は (20) であり V_C は (21) なので、コンデンサーに蓄えられている電荷 Q_B は (22) であり、コンデンサーに蓄えられているエネルギー U_B は (23) となる。一方、 S_E を切り替えてから電源によってなされた仕事 W_{B2} を考えると、電圧は E で一定であり、この間に移動した電荷 Q_{B2} は $Q_{B2} = Q_B - Q_{B1}$ すなわち (24) であるから、 W_{B2} は (25) となる。

<充電方法 B 全体>

充電方法 B 全体として、電源によってなされた仕事 W_B は $W_B = W_{B1} + W_{B2}$ だから、この W_B は (26) である。一方、コンデンサーに蓄えられたエネルギーは U_B であるから、エネルギー効率 $\frac{U_B}{W_B}$ の値は (27) となる。充電方法 A と比べると、充電方法 B ではエネルギー効率が (28) 向上・低下 していることがわかる。

エネルギー効率についての考察

ここで、充電方法 A と B でエネルギー効率が異なる理由について考えてみよう。いずれの充電方法でも、電源によってなされた仕事とコンデンサーに蓄えられたエネルギーの差が、電気回路としてのエネルギーの損失である。この損失分のエネルギーは、電流が抵抗を流れるときにジュール熱を生じることで熱エネルギーに変換されたものであり、この熱エネルギーは電流の大きさの2乗に比例する。そこで、コンデンサーを充電するときの電流の変化を少し詳しくみてみよう。

図1において微小時間 Δt の間の電荷、電位差、電流の変化を考える。 Δt の間にコンデンサーに蓄えられた電荷の変化は電流 I を用いて (29) と表されるから、 V_C の変化は (30) となる。この変化分だけ V_R は (31) 増加・減少 するので、 V_R の変化は (32) となる。このことより、 Δt 経過後の回路の電流は $I \times (1 + (33))$ と求まる。この議論は図2、図3の回路でも成り立つ。つまり、図1と図2の I を比べてみると、スイッチを操作しからの経過時間に対する変化の割合は両者で同じであることから、図1と図2の I の比は時刻によらず一定であることがわかる。これは図1と図3で比較しても同様である。このことを利用すると、各充電方法でのジュール熱の大きさを比較できる。

充電方法 A で S を閉じた直後の I は (3) であるのに対し、充電方法 B ではステップ1で S を閉じた直後の I は (12)、ステップ2で S_E を切り替えた直後の I は (19) であるから、充電方法 A に比べて充電方法 B ではジュール熱が (34) 大きい・小さい ことがわかる。このことが、充電方法 A と B のエネルギー効率に差を生じている理由である。

(配点率 34%)

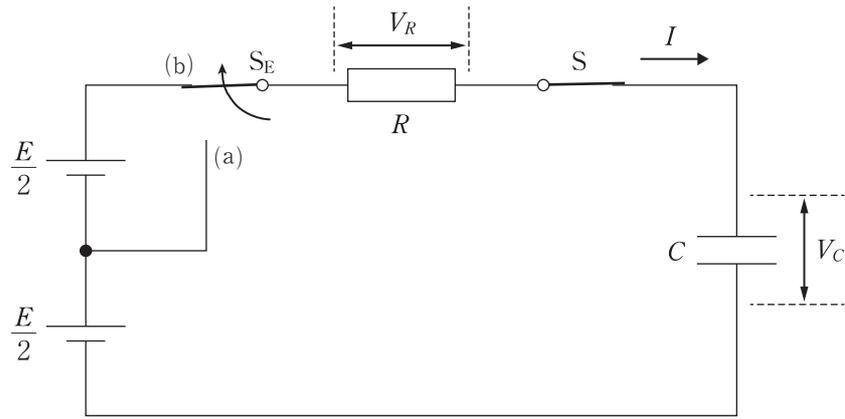


图 3

III

平面鏡(以下、鏡)とスクリーンを互いに垂直に組み合わせた装置を考える。図1左のように、床と鏡が 45° の角度をなすように装置を床に設置する。装置と床の設置地点から離れる方向へ、スクリーン上に x 軸をとる。装置の上方から床に垂直に、波長 λ の平面波の単色光が照射されている。装置に到達する光のうち、一部の光はスクリーンに直接到達し、一部は鏡によって等角で固定端反射されたのちスクリーンに届く。鏡に反射された光とスクリーンに直接届く光が干渉し、図1右の模式図のような干渉縞がスクリーン上に生じる。

問(4)を除き、装置全体は空气中に配置されている。空気の屈折率は1とする。

干渉縞が生じる過程を考察するために、図2のようにスクリーン上に点Pを定め、鏡に反射されてPに到達する光線Aと、直接Pに到達する光線Bを考える。光線Aの鏡での反射点とPの間の距離を L とする。問(1)~(4)に答えよ。ただし、 $\sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}$ とする。

- (1) スクリーン上の点Pに明線が現れる条件を、 L , λ , 干渉の次数 m を用いて示せ。ただし、 $m = 0, 1, 2, \dots$ とする。
- (2) 問(1)の明線に対して x 軸の正方向すぐ隣の明線に届く光について、鏡での反射点とスクリーン到達点の間の距離を、 L , λ を用いて表せ。
- (3) 明線の間隔を、 λ を用いて表せ。
- (4) 鏡とスクリーンの間を屈折率 n ($n > 1$)の媒体で満たしたとき、明線の間隔は問(3)の間隔の何倍になるか答えよ。

次に、装置を傾け、図3のように床と鏡の角度が θ になるように固定する。ただし、 $45^\circ < \theta < 90^\circ$ とする。このとき、鏡に反射されてPに到達する光線をA'、直接Pに到達する光線をB'とする。また、光線A'の鏡での反射点とPの間の距離を L' とする。問(5)~(8)に答えよ。

- (5) 鏡に反射されてスクリーンに届く光線と床とのなす角 ϕ を、 θ を用いて表せ。
- (6) スクリーン上の点Pに明線が現れる条件を、 L' , λ , θ , 干渉の次数 m を用いて示せ。ただし、 $m = 0, 1, 2, \dots$ とする。
- (7) 明線の間隔を、 λ , θ を用いて表せ。
- (8) 明線の間隔は問(3)の間隔と比べてどうなるか。大きくなる、変化なし、小さくなるより選び、解答欄の適切なものを丸で囲め。

(配点率 32%)

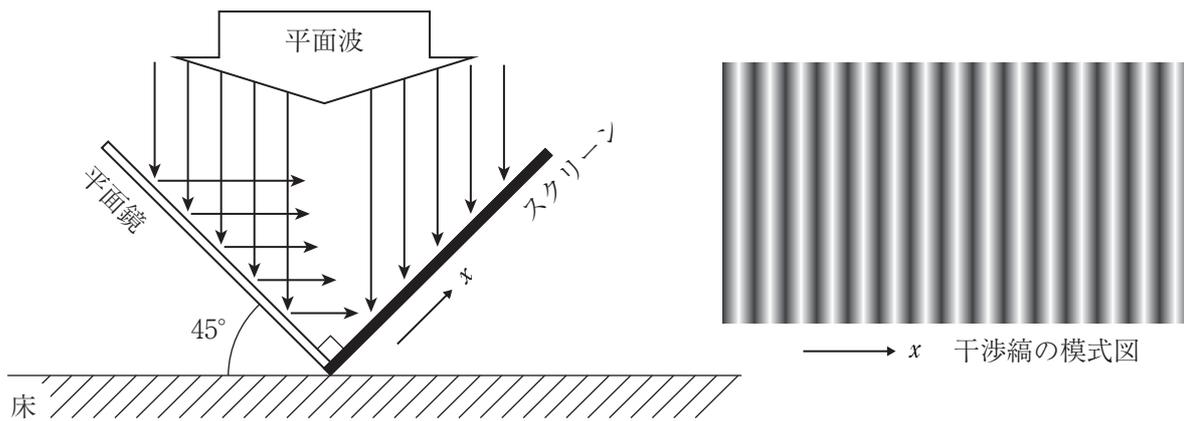


図 1

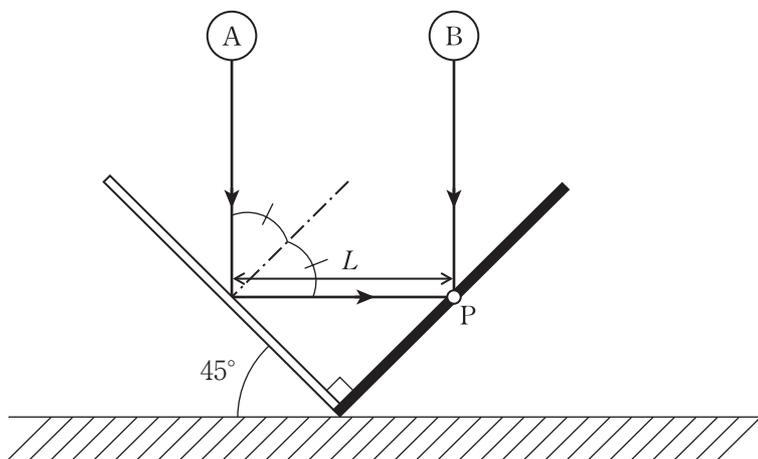


図 2

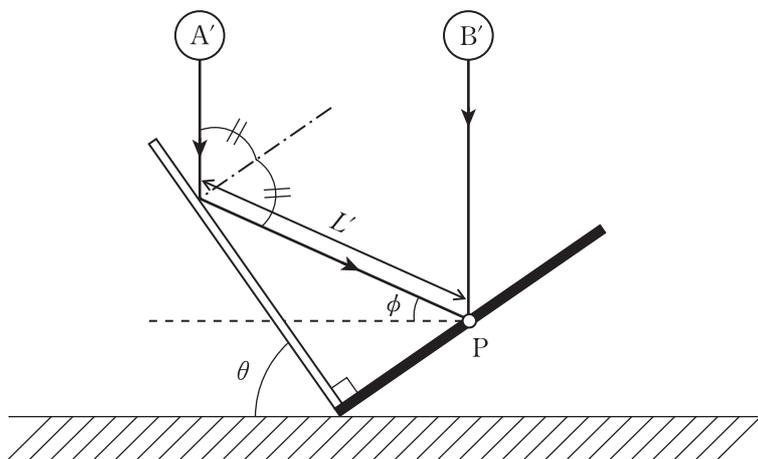


図 3

(以 上)