

令和4年度入学試験問題(前期)

理 科(物 理)

【注 意 事 項】

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いて見てはならない。
2. あらかじめ選択を届け出た科目について解答すること。それ以外の科目について解答しても無効である。
3. 本冊子には、**①**から**③**までの3問題が印刷されていて、合計6ページある。
落丁、乱丁、印刷の不鮮明な箇所等がある場合には、申し出ること。
4. 解答用紙はA-1～A-3を別に配付している。解答は、問題と同じ番号の解答用紙に記入すること。指定の箇所以外に記入したものは無効である。
5. 解答用紙の指定された欄に、学部名及び受験番号を記入すること。
6. 提出した解答用紙以外は、すべて持ち帰ること。

1 水平な床の上に、図1のように斜面とそれに滑らかにつながる水平面をもつ質量 M の台車 S が置かれている。台車 S は左右に自由に動けるようになっており、右端には、質量の無視できる自然の長さのばね(ばね定数 k)が固定されている。

いま、台車 S が静止している状態で、水平面から高さ h のところに大きさの無視できる質量 m の物体 P を置き、そっと手を放すと物体 P が斜面を滑り降りはじめ、同時に、台車 S も動きはじめた。重力加速度の大きさを g 、円周率を π とし、床と台車 S との間、台車 S と物体 P との間の摩擦はすべて無視できるものとして、以下の問いに答えなさい。

問 1 物体 P はやがて台車 S の水平面上を移動して、ばねに衝突した。今後は、この事象を「衝突」と呼ぶことにする。ただし、速度は右向きを正とする。

- (1) 衝突直前の床に対する物体 P と台車 S の速度をそれぞれ v_P 、 v_S としたとき、力学的エネルギー保存の式、および運動量保存の式を書きなさい。
- (2) 速度の向きに注意して v_P および v_S を求めなさい。

問 2 衝突後、物体 P はばねと一体となって運動し、物体 P と台車 S はそれぞれ単振動をした。このとき、力学的エネルギーは保存されているものとする。なお、台車 S の水平面は十分な広さがあり、物体 P の単振動は台車の水平面内で行われるものとする。

- (1) 床に平行に右向きを正とする座標軸をとり、衝突直前の物体 P および台車 S の重心の座標をそれぞれ y_P 、 y_S とおく。衝突直前の物体 P と台車 S 全体の重心の座標を求めなさい。
- (2) 衝突直前の位置を基準にして、衝突後の物体 P の右向きの変位を x_P 、台車 S の左向きの変位を x_S とおいたとき(図2)、衝突後の物体 P と台車 S 全体の重心の座標を、物体 P の変位 x_P 、台車 S の変位 x_S を用いて表しなさい。
- (3) 水平方向の外力は存在しないので、運動を通して物体 P と台車 S 全体の重心は不変である。このことを利用し、 x_P と x_S の間に成立する関係式を求めなさい。

- (4) 物体Pがばねから受ける力 F を k, m, M, x_P で表しなさい。ただし、右向きを正とする。
- (5) 物体Pと台車Sの単振動の周期をそれぞれ求めなさい。
- (6) 物体Pと台車Sの単振動の振幅をそれぞれ求めなさい。

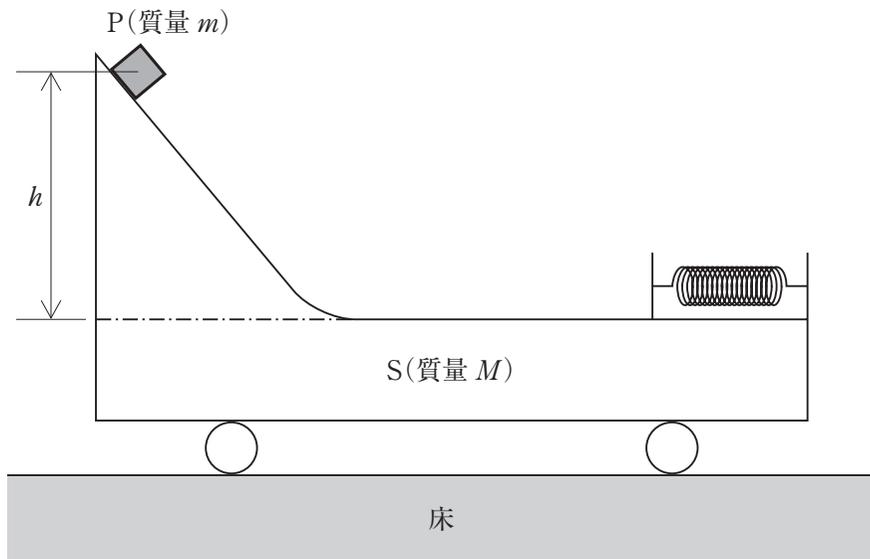


図1

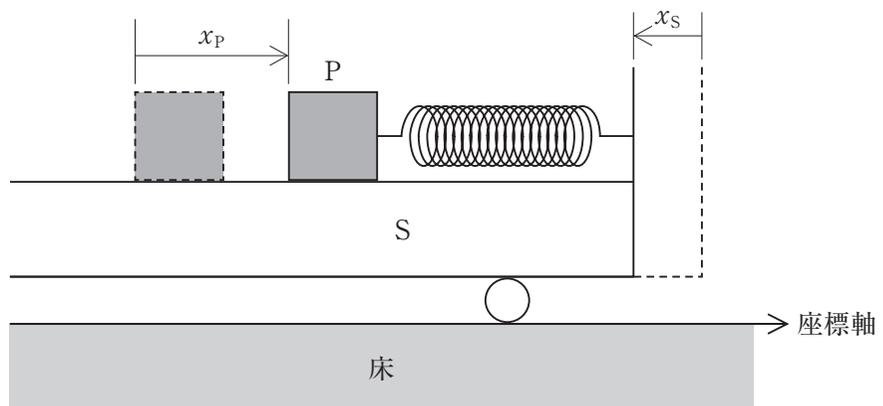


図2

2 図1のように、音源から観測者に向かう向きに対して、観測者が斜め方向に動く場合のドップラー効果を考える。音の速さを V とし、観測者は直線に沿って一定の速さ v で移動する ($V \gg v$)。音源は振動数 f で音を発しているとする。風の影響はないものとして、以下の問いに答えなさい。

問 1 観測者が観測した音のある山に注目し、その観測時刻を $t = 0$ とする。また、この山が音源から発せられた時刻を t_1 、次の山が音源から発せられた時刻を t_2 とする。図1のように、 $t = 0$ のときの観測者と音源との距離を l_1 、観測者と音源を結ぶ方向と観測者の進行方向のなす角を θ とし、 t_1 と t_2 を f 、 l_1 、 V のうち必要なものを用いて表しなさい。

問 2 図2は、観測者が次の山を観測したときの観測者と音源の位置関係を、問1の観測者と音源の位置関係に描き加えたものである。観測者が次の山を観測したときの音源との距離を l_2 とし、その観測時刻 t_3 を f 、 l_1 、 l_2 、 V を用いて表しなさい。

問 3 図3のように、 $t = t_3$ の観測者の位置から $t = 0$ の観測者の位置と音源を結ぶ線分におろした垂線の足を H とし、 l_1 と l_2 のなす角を α とする。

- (1) $t = 0$ の観測者の位置から H までの距離を t_3 、 v 、 θ を用いて表しなさい。
- (2) 音源から H までの距離を l_2 と α を用いて表しなさい。
- (3) $l_1 - l_2$ を t_3 、 v 、 θ を用いて表しなさい。ただし、音源は観測者の軌道から十分に離れているとする。このとき、 α はきわめて0に近いので、必要ならば $\cos \alpha \doteq 1$ を用いてよい。
- (4) $t = 0$ から $t = t_3$ の間に観測者が観測した音の振動数 f' を f 、 V 、 v 、 θ を用いて表しなさい。

問 4 問3(4)の結果を用いて、観測者が観測する音の振動数は、観測者の位置の変化にとまないと、どのように変化するかを説明しなさい。

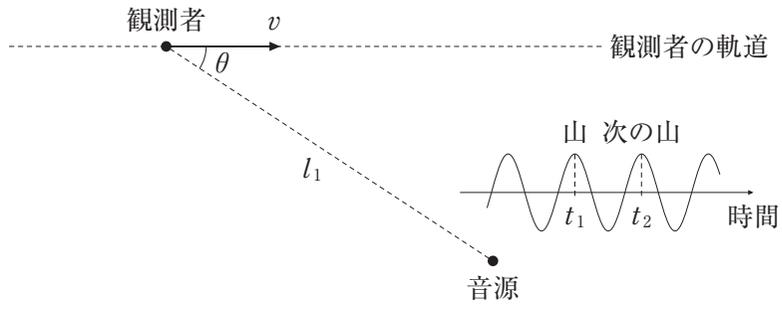


図 1

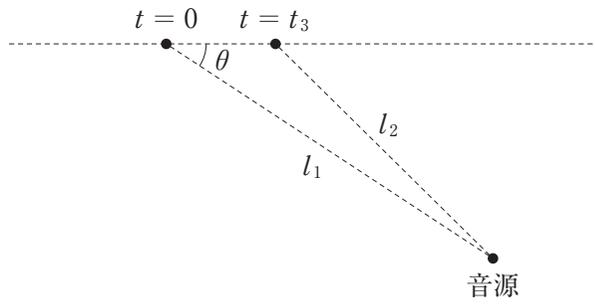


図 2

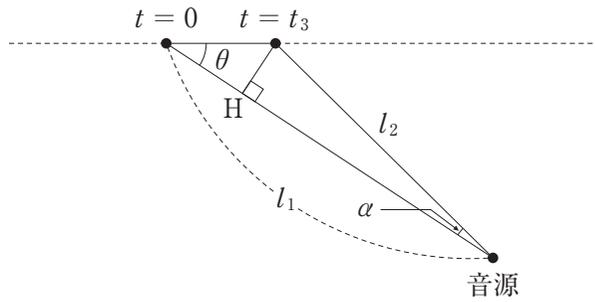


図 3

3 図1のように、一辺の長さが l である正方形 KLMN で囲まれた領域を、紙面に垂直に裏から表に向かって磁束密度 B の一様な磁場が貫いている。いま、正方形 KLMN と同一な平面内にある1回巻きの長方形コイル PQRS を、左から右に向かって一定の速さ v で移動させる。コイルの移動は辺 PQ と辺 KL を平行に保ちながらおこなう。コイルの辺 QR が磁場のある正方形領域の辺 KN と重なった時刻を $t = 0$ とする。PQ の長さは a 、PS の長さは b であり、コイル全体の電気抵抗は r である。コイルの自己インダクタンスは無視できるものとする。また $a < b < l$ とする。以下の問いに答えなさい。

問1 $0 < t < \frac{a}{v}$ のときにコイルに生じる誘導電流について説明する以下の文章の

□ (1) □ ~ □ (3) □ を適切な式で埋めなさい。

コイル全体が右向きに速さ v で移動することにより、時間 Δt の間に辺 QR が横切った面積は □ (1) □ となる。よって、コイルを貫く磁束は Δt の間に □ (2) □ だけ増加する。ファラデーの電磁誘導の法則を用いると、このときコイルに発生する誘導起電力の大きさは □ (3) □ となる。この誘導起電力によりコイルに誘導電流が流れる。

問2 $0 < t < \frac{a+l}{v}$ のときに、時計回りの電流の符号を正として、コイルに流れる誘導電流 i の時間変化をグラフに描き入れなさい。また、誘導電流 i の最大値 X と最小値 Y を答えなさい。

問3 $0 < t < \frac{a}{v}$ のときに、コイルが磁場から受ける力の大きさと向きを答えなさい。

問4 $0 < t < \frac{a}{v}$ のときに、コイルを一定の速さ v で右向きに動かすために外力が単位時間あたりにする仕事と、コイルの抵抗で消費される電力をそれぞれ答えなさい。

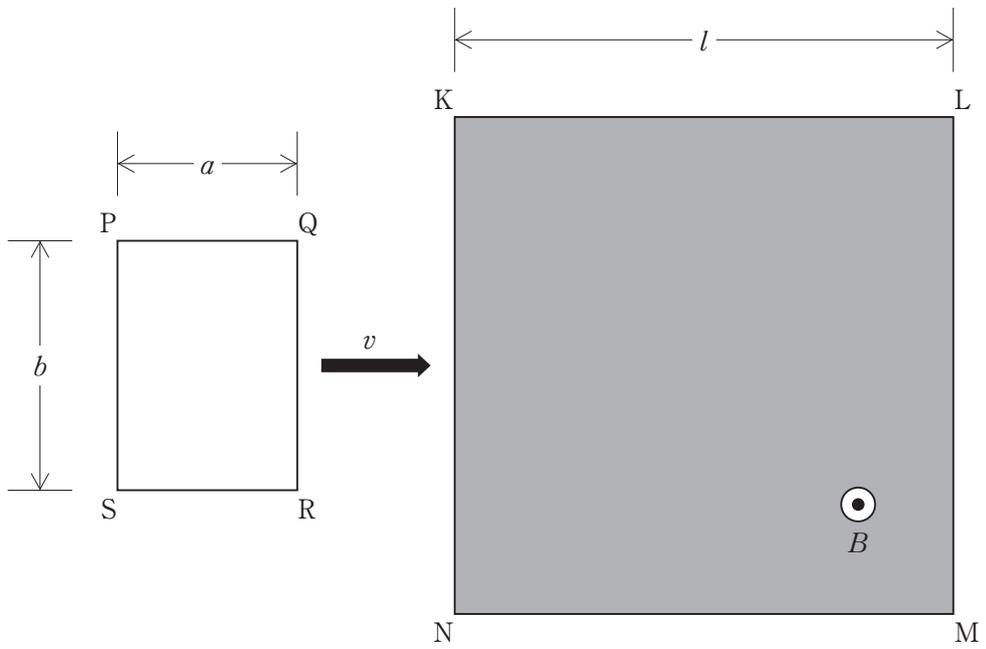


图 1