

## 平成 26 年度・入学試験問題

# 理 科 (前)

### 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はいけません。
2. この冊子は 36 ページあります。
3. 試験開始後、落丁・乱丁・印刷不鮮明の箇所があったら申し出なさい。
4. 解答はすべて解答用紙に、それぞれの問題の指示にしたがって記入しなさい。
5. この冊子のどのページも切り離してはいけません。ただし、余白等は適宜利用してかまいません。
6. 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。
7. 受験科目選択上の注意(重要)

「物理」、 「化学」、 「生物」のうち 2 科目を選択して解答しなさい。

選択しなかった科目の解答用紙は試験開始後、90 分で回収します。それ以後は選択の変更は認めません。

全科目の解答用紙 5 枚ともに受験番号を記入しなさい。

# 物 理

## 物理問題 1

物体の落下運動に関する以下の問いに答えよ。空気抵抗は無視できるものとし、必要であれば重力加速度の値として  $9.8 \text{ m/s}^2$  を用いよ。また、グラウンド(地面)は投手の立っている位置も含めて水平であるとする。

図1のように水平に飛んできた質量  $140 \text{ g}$  のボールを飛んできた向きとは逆向きに打ち返した。打ち返される直前のボールの速さを  $144 \text{ km/h}$ 、直後の速さを  $180 \text{ km/h}$  とする。また、ボールがバットに当たった瞬間のボールとバットの地面からの高さは  $1.0 \text{ m}$  であった。

- (1) 打ち返されたボールは投手が捕球したが、この時投手はボールが地面に到達する前に捕球したと考えられるか。それとも、地面に到達後跳ね返ったボールを捕球したと考えられるか。打者から投手までの距離を  $18 \text{ m}$  とし、その答えを導き出すに至った途中式とともに答えよ。
- (2) (1)において、ボールがバットから受けた力積はいくらか。単位  $\text{N}\cdot\text{s}$  を用いて、有効数字2桁まで求めよ。

次の打者は、ボールを図2のように斜め上方に打ち返した。そして、そのボールはスタンドに落下した。

- (3) ボールの鉛直方向(上向き)の初速度を  $v_y$ 、重力加速度を  $g$  としたとき、打ち返されてからボールがスタンドに落下するまでの時間を記号  $v_y$  と  $g$  を用いて表せ。なお、スタンドの高さはボールがバットに当たった瞬間のボールの高さと等しいものとする。
- (4) 水平方向(右向き)の初速度を  $v_x$  としたとき、飛距離  $L$  を記号  $v_x$ 、 $v_y$ 、 $g$  を用いて表せ。
- (5) ボールはスタンドに落下後、跳ね返った。跳ね返ったボールの最高到達点におけるスタンドからの高さ  $h(\text{m})$  を有効数字2桁まで求めよ。なお、打ち返されたボールの初速度の大きさを  $180 \text{ km/h}$ 、打ち上げた角度を  $45^\circ$ 、ボールとスタンドの間のはねかえり係数を  $0.20$  とする。

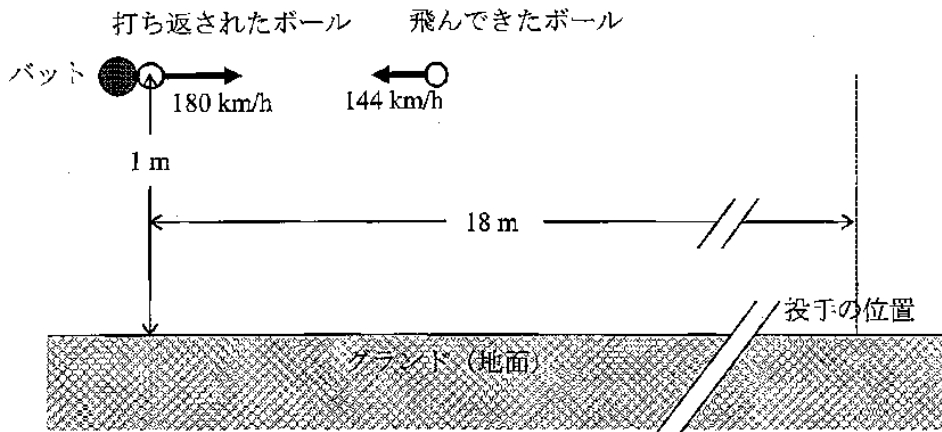


図 1

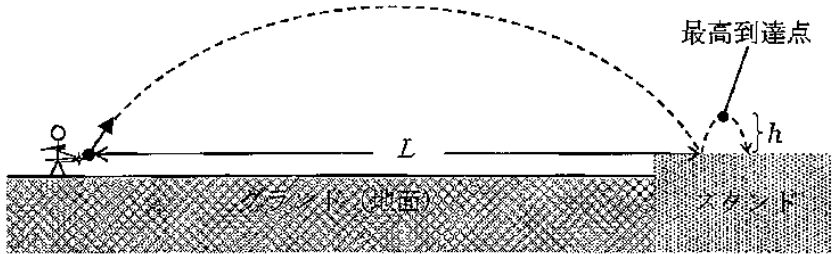


図 2

## 物理問題 2

滑らかに動く軽いピストンのついた断面積が  $S$  のシリンダ内に、1モルの理想気体が入っている(図1)。シリンダの開口部を鉛直上方になるよう設置し、ピストンは鉛直方向のみに動く。ピストンとシリンダは断熱材で作られているが、気体への熱の出し入れをするための熱交換器が備えられていて、その体積は無視できる。シリンダ内の底面からピストンの下面までの距離を、ピストンの高さと呼ぶことにする。大気圧を  $p_0$ 、気体定数を  $R$ 、理想気体の定積モル比熱を  $C_v$  とし以下のように答えよ。

最初、ピストンの高さは  $x$  であった。気体から熱を取り去ると、ピストンの高さは  $y$  になった。

- (1) この時、気体の温度はいくらか。
- (2) 取り去った熱量を求めよ。

次に熱の出入りがないようにして、力を加えてピストンの位置が  $z$  になるまで気体をゆっくり圧縮した。この間、ピストンに働く力はつりあっていると考えてよい。このような断熱変化においては、気体の圧力を  $P$ 、体積を  $V$  とすると、 $PV^\gamma$  が一定であることが知られている。ここで  $\gamma$  は1より大きい無次元の定数である。

- (3) この時の気体の圧力  $p$  を  $p_0$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $\gamma$  を用いて表せ。
- (4) 気体がした仕事を  $p_0$ 、 $p$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $C_v$ 、 $S$ 、 $R$ 、 $\gamma$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (5) 気体がした仕事と加えた力による仕事の和はいくらか。

力を加えた状態で図2のようにピストンの上に静かに物体をのせ、加えていた力を取り除いたところ、ピストンは静止したままであった。

- (6) 重力加速度を  $g$  とする。物体の質量  $m$  を  $p_0$ 、 $p$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $C_v$ 、 $S$ 、 $\gamma$ 、 $g$  のうち必要なものを用いて表せ。
- (7) 気体に熱を加え、ピストンを最初の高さ  $x$  までゆっくり移動させた。気体の内部エネルギーは最初にピストンの高さが  $x$  であった時に比べいくら増加したか。ただし(6)の答え  $m$  を使用してよい。

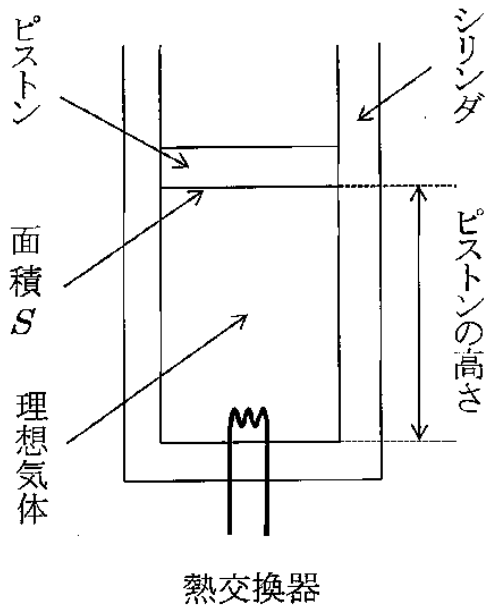


図1

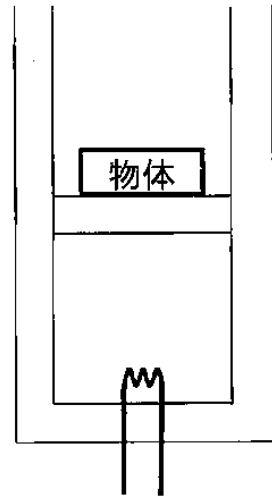


図2

### 物理問題 3

図1のように大きさ  $a$  の物体  $S_1$  から出た光が薄いレンズ  $L_1$  を通って半透明の薄いスクリーン上に像  $BB'$  をつくった(スクリーン上の像は両側から見る事ができる)。レンズ  $L_1$  の焦点距離は  $f_1$  である。物体  $S_1$  と焦点  $F_1$  の距離は  $z$  である。以下の問いに答えよ。

- (1) 像  $BB'$  の大きさを,  $a, f_1, z$  のうち必要な記号を使って示せ。
- (2) 焦点  $F_2$  と点  $B$  の距離を,  $a, f_1, z$  のうち必要な記号を使って示せ。

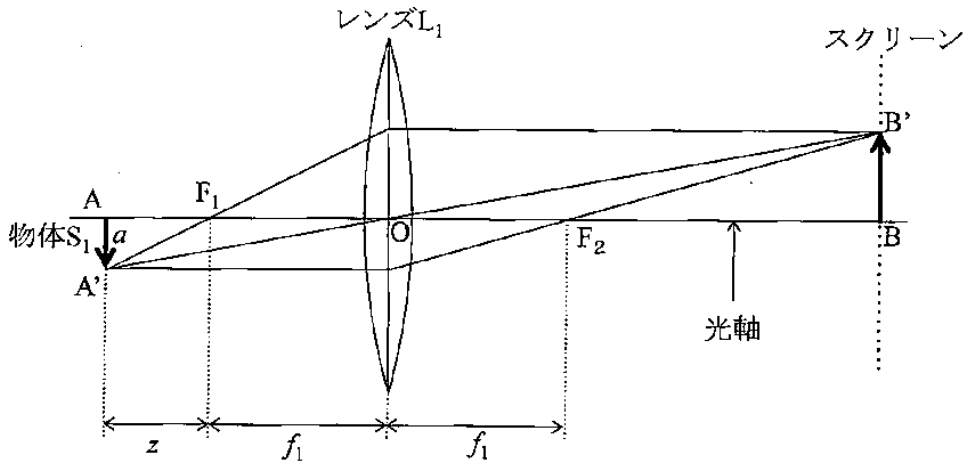


図1

図2のように大きさ  $c$  の物体  $S_2$  を薄いレンズ  $L_2$  の焦点  $F_3$  よりレンズに近い位置に置いて, 物体と反対側の焦点  $F_4$  の位置からレンズを覗き込んだところ, 焦点  $F_4$  から距離  $d$  の位置に虚像  $DD'$  が見えた。レンズ  $L_2$  の焦点距離は  $f_2$  である。以下の問いに答えよ。

- (3) 物体  $S_2$  のレンズからの距離  $O'C$  を,  $c, f_2, d$  のうち必要な記号を使って示せ。
- (4) 虚像  $DD'$  の大きさはいくらに見えるか。  $c, f_2, d$  のうち必要な記号を使って示せ。

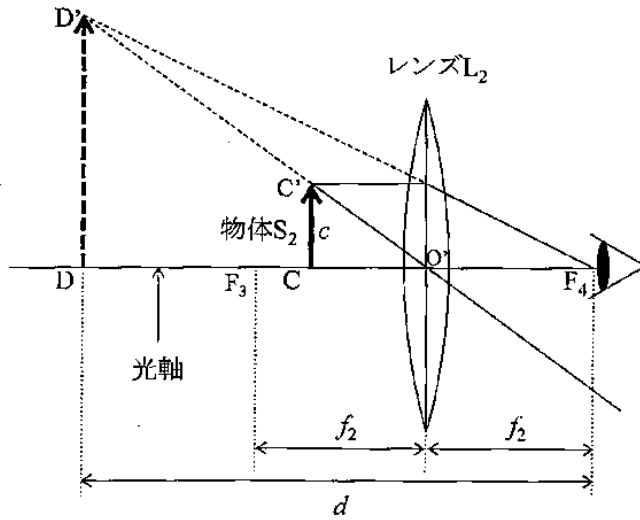


図 2

次に物体  $S_2$  を取り除き、図 1 のレンズ系全体をそのまま平行移動させ、光軸をそろえて半透明の薄いスクリーンを物体  $S_2$  のあった場所  $C$  に一致するように調整し、像  $BB'$  を焦点  $F_4$  の位置からレンズ  $L_2$  を通して見た。以下の問いに答えよ。

- (5) レンズ  $L_2$  を通して見ると物体  $S_1$  の像の大きさは物体  $S_1$  の大きさ  $a$  の何倍に見えるか。  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $z$ ,  $d$  のうち必要な記号を使って示せ。

ここではレンズ  $L_1$  によりスクリーンに映った物体  $S_1$  の像をレンズ  $L_2$  を通して拡大して見ているが、スクリーンがなくても拡大像を見ることができる。これが顕微鏡で物体が拡大されて見える基本的な原理である。

## 物理問題 4

図1のように、矩形のコイル、起電力  $V$  の電池、抵抗  $R$ 、スイッチ  $S_1$  と  $S_2$  からなる回路がある。回路を構成する導線の抵抗や自己インダクタンスは無視できるとする。回路は  $y$  軸を中心に自由に回転できる。回路には不導体でできた滑車を取り付けられており、回路とともに回転する。滑車の直径は、コイルの  $x$  軸方向の長さ  $2r$  に等しい。灰色で示した領域には、磁束密度  $B$  の一様な磁界(磁場)が  $x$  軸正の向きに存在する。磁界は  $x, z$  方向には十分に広い。図2は、滑車を図1の矢印  $P$  の向きから見た図である。滑車には軽くて伸びないひもがぶらさがっており、左と右のひものどちらにも物体をつり下げることができる。ひもは滑車に対してすべらないとする。重力は  $z$  軸負の向きに作用しており、重力加速度は  $g$  である。回路と滑車、ひもの質量は無視できる。最初、ひもには物体がつり下げられていないとして、以下の問いに答えよ。

- (1) スイッチ  $S_1$  を閉じたときに回路に流れる電流の強さ  $I$  を求めよ。
- (2) スイッチ  $S_1$  を閉じたところ、滑車が回路とともに回転した。図2に基づき、回転の向きを反時計回りか時計回りかのどちらかで答えよ。
- (3) 滑車からぶらさがった左右のひもの片方だけに質量  $m$  の物体を取り付け、スイッチ  $S_1$  を閉じ、滑車を回転しないように静止させた。左と右のどちらに物体を取り付けたのか答えよ。また、 $m$  を  $B, V, R, L, g$  を用いて表せ。

問(3)の状態からスイッチ  $S_1$  を切ったところ、物体は重力加速度  $g$  で自由落下を始め、滑車は回転を始めた。滑車がちょうど1回転したときにスイッチ  $S_2$  を閉じたところ、回路に強さ  $I$  の電流が流れた。以下の問いに答えよ。ただし、スイッチ  $S_2$  を閉じたときの滑車の回転角速度を  $\omega$  とする。また、解答には質量  $m$  を用いて良い。

- (4) スイッチ  $S_2$  を閉じてから微小時間  $\Delta t$  が経過する間に、コイルを横切る磁束は  $\Delta\Phi$  だけ変化した。 $\Delta\Phi$  を求めよ。ただし、 $\Delta t$  の間の角速度  $\omega$  の変化は無視して良い。また、近似式  $\sin(\omega\Delta t) \approx \omega\Delta t$  を用いること。



- (5) 電流の強さ  $I$  を求めよ。
- (6) 電流  $I$  がコイルに及ぼす  $y$  軸を支点とした力のモーメント  $M$  を符号付きで求めよ。ただし、図 2 の反時計回りを正とする。
- (7) スイッチ  $S_2$  を閉じた直後の物体の加速度の大きさ  $a$  を求めよ。
- (8)  $\Delta t$  の間に物体が失った位置エネルギー  $\Delta U$  を求めよ。
- (9)  $\Delta t$  の間に物体が得た運動エネルギー  $\Delta K$  を求めよ。ただし、 $\Delta t$  は十分小さいので、 $(\Delta t)^2$  の項は無視すること。
- (10)  $\Delta t$  の間に物体が失った力学的エネルギーが、 $\Delta t$  の間に抵抗  $R$  で生じたジュール熱と等しいことを示せ。

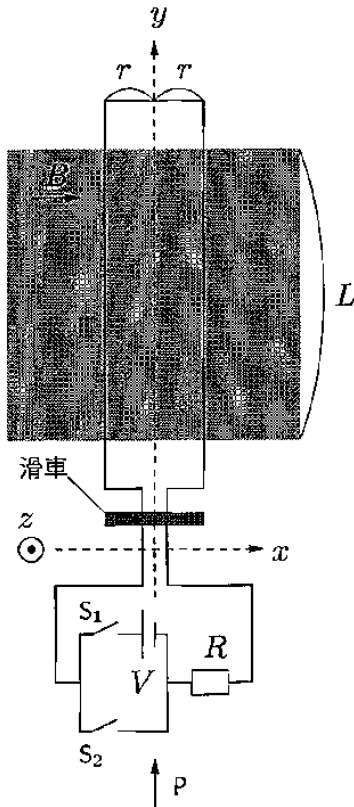


図 1 :  $z$  軸正の向きから見た図

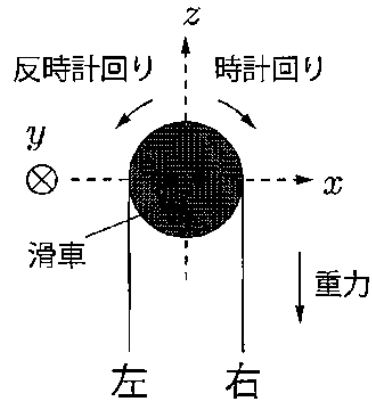


図 2 :  $y$  軸負の向きから見た図

問(10)で分かる通り、力学的エネルギーとジュール熱の総和は保存する。このように電磁誘導を利用して物体の力学的エネルギーを熱エネルギーに変換する過程は、鉄道車両などで発電ブレーキとして利用されている。一方、発生した電力を熱として捨てるのではなく、車両に搭載した蓄電池に充電する手法を電力回生ブレーキと呼び、主に電気自動車やハイブリッドカーで利用されている。