

# 令和3年度入学試験問題

## 理 科

### 注 意 事 項

- 1 この問題冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはならない。
- 2 問題冊子は、全部で55ページある。(落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがあつた場合は申し出ること。)

問題冊子の中に下書き用紙が1枚入っている。

物	理	1～12ページ	化	学	13～30ページ
生	物	31～44ページ	地	学	45～55ページ

- 3 解答用紙は、問題冊子とは別になっている。解答は、すべて解答用紙の指定された箇所に記入すること。
- 4 受験番号は、各解答用紙の指定された2箇所に必ず記入すること。
- 5 解答時間は、次のとおりである。
  - (1) 教育学部および工学部の受験者は、90分。
  - (2) 理学部および農学部の受験者は、次のとおりである。
    - ① 理科1科目の受験者は、90分。
    - ② 理科2科目の受験者は、180分。
  - (3) 医学部および歯学部の受験者は、180分。
- 6 問題冊子および下書き用紙は、持ち帰ること。





物 理

1

〔1〕 質量  $m$  の小球を，以下の問 1，問 2 の 2 通りの方法により，鉛直面内で回転運動をさせる場合について考える。空気抵抗は無視でき，重力加速度の大きさを  $g$  として，以下の問いに答えよ。解答にあたっては，計算の過程も簡潔に示すこと。

問 1 図 1 のように，質量の無視できる長さ  $L$  の棒の一端に小球を取り付け，棒の他端  $O$  を固定し，小球を鉛直面内で滑らかに回転させる。最下点  $A$  で，小球に，右向きに初速  $v_0$  を与えたところ，小球は  $O$  を中心として円運動をした。

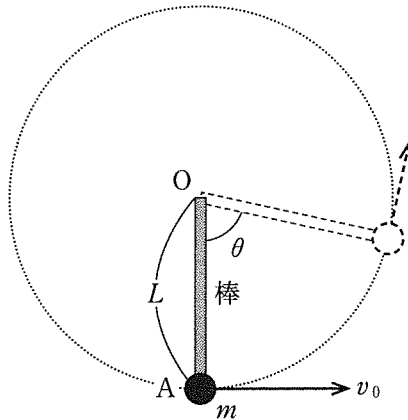


図 1

- (1) 棒と鉛直下向きとのなす角が  $\theta$  ( $0 \leq \theta < 2\pi$ ) のとき，小球の速さを求めよ。
- (2) 小球が途中で引き返すことなく円運動をするためには， $v_0$  はある速さ  $v_m$  に対して  $v_0 > v_m$  となる必要がある。 $v_m$  を求めよ。

問 2 図 2 のように，質量の無視できる長さ  $L$  の糸の一端に小球を取り付け，糸の他端  $O$  を固定し，小球を鉛直面内で滑らかに回転させる。最下点  $A$  で，小球に，右向きに初速  $v_0$  を与えたところ，糸はたるむことなく小球は  $O$  を中心として円運動をした。

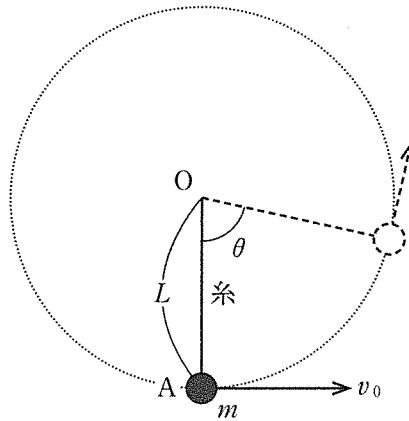


図 2

- (1) 糸と鉛直下向きとのなす角が  $\theta$  ( $0 \leq \theta < 2\pi$ ) のとき，糸の張力(糸が小球を引く力)の大きさを求めよ。
- (2) 糸がたるむことなく小球が円運動をするためには，張力が常にゼロ以上でなければならない。そのために必要な  $v_0$  の最小値を求めよ。

次に，初速  $v_0$  が問 1 の (2) で求めた  $v_m$  に等しいとする。

- (3) このとき，小球が運動する途中で糸はたるんでしまう。糸がたるみだす瞬間における，糸と鉛直下向きとのなす角を  $\theta_m$  とする。 $\cos \theta_m$  を求めよ。

[2] 水平でなめらかな床に、十分に大きい質量  $M$  の平らな板を置き、その上に大きさの無視できる質量  $m$  の木片を置く。床と板との間の摩擦力は無視できるが、木片と板の間には大きさ  $F$  の一定の動摩擦力がはたらく。また、木片は水平方向に直線運動するとして、以下の問いに答えよ。解答にあたっては、計算の過程も簡潔に示すこと。

はじめに、図3のように、板を床に固定した場合を考える。木片に初速  $v_0$  を与えたところ、木片は板上を動いて止まった。

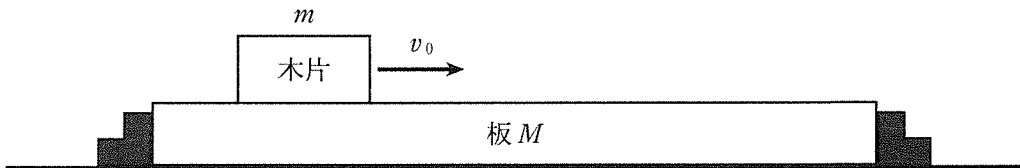


図3

問1 木片が止まるまでに、板上を動いた距離  $L$  を求めよ。

次に、図4のように、板を床に固定しない場合を考える。静止した板の上に置かれた木片に初速  $v_0$  を与えたところ、板は木片と同じ方向に動きだした。しばらくすると、木片は板上で止まり、木片と板は一緒に動いた。問2～問5の答えは、 $m$ 、 $M$ 、 $F$  および  $v_0$  のうち必要なものを用いて表せ。

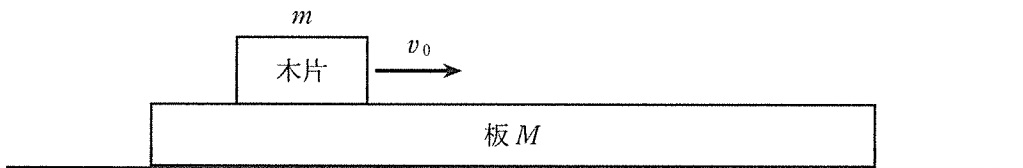


図4

- 問2 木片と板と一緒に動いているときの速さ  $v$  を求めよ。
- 問3 木片が板上で止まるまでの時間  $t$  を求めよ。
- 問4 木片が板上で止まるまでの間に、板が動いた距離  $D$  を求めよ。
- 問5 木片が板上で動いた距離  $d$  を求めよ。

2

図1のように、水平面となす角度が $\theta$  ( $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ )の十分に長い斜面がある。この斜面に、質量が $m$ 、電気抵抗が $R$ 、一辺の長さが $d$ の正方形の一巻きコイルABCDを置く。いま、斜面に沿って下向きを $x$ 軸にとる。斜面上の $x \geq 0$ の領域には、面と垂直上向きに磁場があり、その磁束密度の大きさ $B$ は $x$ の関数として、 $B = kx$ で与えられる。ここで、 $k$ は正の定数である。コイルの自己インダクタンス、およびコイルと斜面の間の摩擦力は無視できるとする。重力加速度の大きさを $g$ として、以下の問いに答えよ。解答にあたっては、計算の過程も簡潔に示すこと。

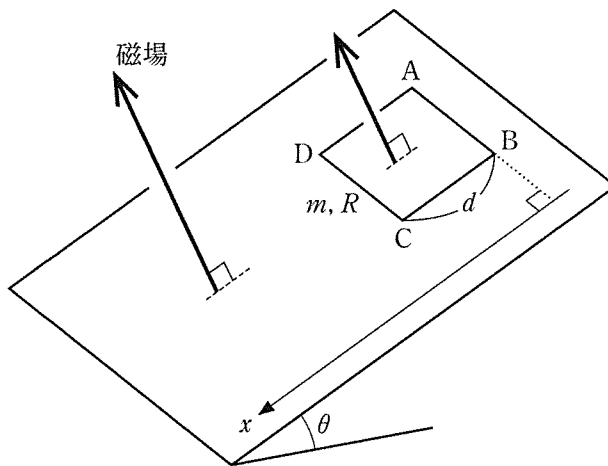


図1



はじめに、コイルの辺 BC が  $x$  軸と平行で、辺 AB と辺 CD の位置が、それぞれ、 $x = 0$  と  $x = d$  になるように置いた。この状態から、コイルを静かに放したところ、コイルは辺 BC が  $x$  軸と平行なまま、斜面に沿って下向きに動きだした。

辺 AB が位置  $x$  にあり、速さ  $v$  で運動している瞬間について、問 1 ~ 問 6 に答えよ。答えの式は、 $m, g, R, k, x, d, \theta, v$  のうち必要なものを用いて表せ。

問 1 辺 AB の両端に生じている誘導起電力の大きさ  $V_1$  を求めよ。また、電位が高いのは端 A と端 B のどちらか答えよ。

問 2 コイルに生じている誘導起電力の大きさ  $V$  を求めよ。

問 3 コイルを流れる電流の大きさ  $I$  と向きを求めよ。ただし、電流の向きは A→B か、B→A か答えよ。

問 4 コイルが磁場から受ける力の大きさ  $F$  を求めよ。

問 5 斜面に沿って下向きのコイルの加速度  $a$  を求めよ。

問 6 コイルが動きだしてからこの瞬間までに発生したジュール熱  $Q$  を求めよ。

コイルを放した後、しばらくすると、コイルは一定の速さ  $v_f$  で運動するようになった。このとき、問 7、問 8 に答えよ。

問 7 コイルの速さ  $v_f$  を  $m, g, R, k, d, \theta$  のうち必要なものを用いて表せ。

問 8 コイルに単位時間あたりに発生しているジュール熱  $P_f$ 、ならびに、コイルが単位時間あたりに失う位置エネルギー  $E_f$  を、それぞれ計算し、両者が等しくなることを示せ。

3 は次ページ

〔1〕 1モルの単原子分子からなる理想気体が、温度  $T_0$ 、圧力  $p_0$ 、体積  $V_0$  の状態 O から、体積が  $V_1$  にゆっくり膨張する以下の3つの過程を考える。

過程 a：圧力  $p_0$  が一定で、状態 O から状態 A に変化

過程 b：温度  $T_0$  が一定で、状態 O から状態 B に変化

過程 c：熱の出入りがなく、状態 O から状態 C に変化

過程 c では、圧力  $p$ 、体積  $V$  に対して、 $pV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$  が成り立つとして、以下の問いに答えよ。

問 1 状態 B の圧力  $p_B$ 、および、状態 C の圧力  $p_C$  を、 $p_0$ 、 $V_0$ 、 $V_1$  を用いてそれぞれ表せ。

問 2 過程 b、および、過程 c における圧力  $p$  の変化を、解答用紙の  $p-V$  グラフにそれぞれ表せ。ただし、 $V_1 = 2V_0$  とする。グラフには、状態 B、および、状態 C を黒丸で示し、変化を表す線が直線の場合は破線(----)，曲線の場合は実線(——)で記入せよ。

問 3 状態 A の温度  $T_A$ 、および、状態 C の温度  $T_C$  を、 $T_0$ 、 $V_0$ 、 $V_1$  を用いてそれぞれ表せ。

問 4 過程 a、および、過程 c における温度  $T$  の変化を、解答用紙の  $T-V$  グラフにそれぞれ表せ。ただし、 $V_1 = 2V_0$  とする。グラフには、状態 A、および、状態 C を黒丸で示し、変化を表す線が直線の場合は破線(----)，曲線の場合は実線(——)で記入せよ。

問 5 過程 a の間に気体が吸収した熱量  $Q_a$ 、および、過程 c の間に気体がした仕事  $W_c$  を、 $p_0$ 、 $V_0$ 、 $V_1$  を用いてそれぞれ表せ。

問 6 過程 a, 過程 b, 過程 c の間に気体が吸収した熱量をそれぞれ  $Q_a$ ,  $Q_b$ ,  $Q_c$  とし, 過程 a, 過程 b, 過程 c の間に気体がした仕事をそれぞれ  $W_a$ ,  $W_b$ ,  $W_c$  とする。これらの量を, 大きいものから順に左から右に, 解答用紙の  の中に記入せよ。ただし, 2つの量  $A$  と  $B$  が等しいとき,   $A$   =   $B$  , または,   $B$   =   $A$   のように, 2つの  の間に等号 = を記入せよ。

- [2] 図1のように、平面ガラス板の上に球面半径の大きい平凸レンズを凸面を下にして置いた。このレンズの上方から波長 $\lambda$ の単色光をレンズの平面と垂直に照射する。このとき、上方から見るとレンズとガラスの接触点 $O$ を中心とした同心円状の光の明暗による明環と暗環が交互に観測された。レンズの曲面は点 $P$ を中心とした半径 $R$ の球面の一部であるとする。以下の問いに答えよ。ただし、観測は空気中で行われ、ガラス板とレンズの屈折率は空気よりも大きいとする。問3～問5の解答にあたっては、計算の過程も簡潔に示すこと。

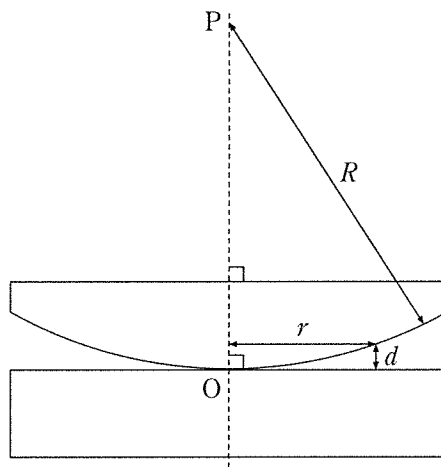


図1

- 問1 半径 $r$ の暗環の位置におけるレンズとガラス板の間隔を $d$ とする。ガラス板の上面で反射した光とレンズの下面で反射する光の光路長の差 $L$ を $d$ を用いて表せ。ただし、曲面での屈折の効果は無視でき、光はガラス板にも垂直に入射するものとする。
- 問2 暗環は光が干渉して弱めあって生じる。屈折率の大きい媒質から小さい媒質へ入射する場合は光の位相は変化せず、屈折率の小さい媒質から大きい媒質へ入射する場合は光の位相は反転する。これらによって暗環を生じる光路長の差 $L$ と入射する光の波長 $\lambda$ の関係を示せ。必要であれば整数の記号として $m$ を用いよ。

問 3 レンズとガラス板の間隔  $d$  が近似的に  $d = \frac{r^2}{2R}$  となることを示せ。ただし、 $r$  は  $R$  に比べて十分小さく、 $d$  に比べて十分大きいとする。必要であれば、 $x$  の大きさが 1 より十分小さいとき、定数  $a$  に対して成り立つ近似式  $(1+x)^a \approx 1+ax$  を用いよ。

問 4 中心から  $m$  番目の暗環の半径を  $r_m$ 、 $m$  番目から外側に  $n$  個だけずれた  $m+n$  番目の暗環の半径を  $r_{m+n}$  としたとき、入射した光の波長  $\lambda$  を  $R$ 、 $r_m$ 、 $r_{m+n}$ 、 $n$  のうち必要なものを用いて表せ。

問 5 図 2 は隣り合う 3 つの暗環の一部を模式的に表している。隣り合う暗環との距離は、それぞれ  $a_1 = 0.25$  mm、 $a_2 = 0.23$  mm であった。この観測に用いた光の波長を求めよ。ただし、 $R = 2.3$  m とし、有効数字を二桁とせよ。

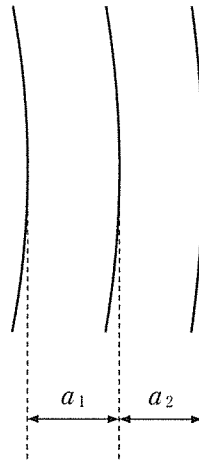


図 2

