

## 平成 29 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 37 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。

## 理 科 問 題

物 理	問題 1	3 ページ
	" 2	6 "
	" 3	8 "
	" 4	10 "

化 学	問題 1	12 ページ
	" 2	15 "
	" 3	18 "
	" 4	21 "

生 物	問題 1	24 ページ
	" 2	28 "
	" 3	32 "
	" 4	35 "

## 解 答 用 紙

理科	物理解答用紙	2 枚
理科	化学解答用紙	1 枚
理科	生物解答用紙	2 枚

# 物 理

## 物理問題 1-1

図1のように、粗い斜面の上に質量  $3M$  の台車 A を置き、その上に質量  $M$  の球 B を載せる。台車 A と斜面との間の静止摩擦係数は  $\mu_0$ 、動摩擦係数は  $\mu_1$  とする。

斜面の上端には軽くてなめらかな滑車がある。台車 A には軽くて伸縮しない糸で質量  $m$ 、半径  $r$  の球体 C がつながれている。球体 C は糸が滑車にかけられた状態で、鉛直方向にのみ移動でき、また台車 A と滑車の間では糸は常に斜面と平行に保たれる。また、地面と斜面のなす角を傾斜角とよぶ。

傾斜角がある角度の時に台車 A は静止していたが、滑車の位置を固定したまま徐々に傾斜角を大きくすると、傾斜角  $\delta$  を超えた直後に台車 A は斜面を下がり始めた。また滑車の位置を固定したまま徐々に傾斜角を小さくすると、傾斜角  $\theta$  を下回った直後に台車 A は斜面を上がり始めた。なお、重力加速度の大きさは  $g$  とする。

- (1) 質量比  $\frac{M}{m}$  を  $\delta$ 、 $\mu_0$  を用いて式で表せ。
- (2) 質量比  $\frac{M}{m}$  を  $\theta$ 、 $\mu_0$  を用いて式で表せ。
- (3) 傾斜角  $\theta$  の時に球体 C の下端は地面より距離  $h$  の高さで静止している。台車 A に載せた球 B を静かに取り除いたところ、球体 C は降下し始めた。球体 C がちょうど地面に接触する瞬間の速度を、 $M$ 、 $m$ 、 $g$ 、 $h$ 、 $\theta$ 、 $\mu_1$  を用いて式で表せ。

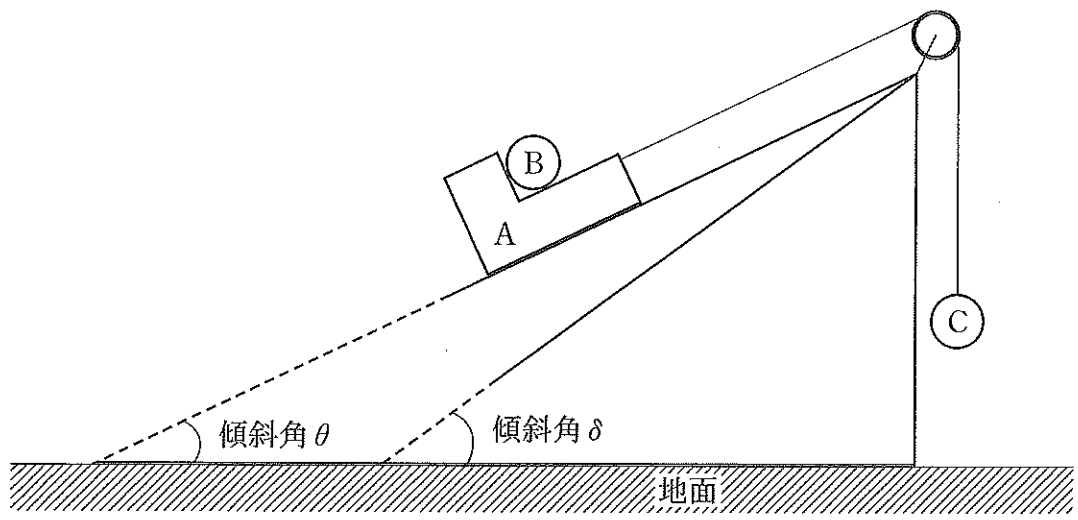


圖 1

## 物理問題 1-2

底面積  $S$ 、高さ  $H$  の円柱の浮きが、水面下に、その高さの  $\frac{2}{3}$  だけを沈めた状態で直立して浮いている。この浮きは直立したまま鉛直方向にしか運動せず、水面は静止しているものとして以下の設問に答えよ。なお、水の密度を  $\rho$ 、重力加速度を  $g$  とし、水の抵抗は無視するものとする。

- (1) 浮きを軽く鉛直下方に押し下げて放すと、上下運動する。その周期  $P$  を求めよ。
- (2) 浮きの底面を水面の高さまで持ち上げた後、放すと、浮きは鉛直下方に沈んでいくが、その過程で浮きの上面が水面の高さになった時の速度  $v$  を求めよ。

## 物理問題 2

図1のように、厚さの無視できる2つの断熱容器A, Bが、体積の無視できる細い断熱管でつながれており、コックが開けられている。容器AおよびBはそれぞれ、半径が $r$ および $\frac{1}{2}r$ の球形で変形しない中空容器であり、容器A内には体積が無視できるヒーターが取り付けられている。

容器A, Bには、単原子理想気体が閉じ込められており、容器内の気体は一様になっている。容器A, B内での個々の気体分子は、容器の内壁と弾性衝突を繰り返して行っており、気体分子どうしの衝突は無視できるものとする。容器A, B内の気体のモル数をそれぞれ $n_A, n_B$ とし、気体分子1個の質量を $m$ 、気体の温度を $T$ 、アボガドロ定数を $N_A$ 、気体定数を $R$ 、円周率を $\pi$ とする。

以下の設問に答えよ。

- (1) 図2のように、容器A内で1個の分子が速さ $v$ で内壁上の点Qに、球の中心 $O_A$ と点Qを結ぶ線(法線)と $\theta$ の角度をなして衝突したとき、この分子が内壁に与える力積の大きさを求めよ。
- (2) 点Qに衝突した後、次に内壁に衝突するまでの時間を求めよ。
- (3) 容器Aの内壁が、この分子から単位時間あたりに受ける外向きの力積の総和を求めよ。
- (4) 容器内の気体分子の速さの二乗の平均 $\overline{v^2}$ を用いて、容器A内の圧力 $P_A$ を求めよ。
- (5) コックを閉めて、容器A内のヒーターから熱量 $q$ を与えた結果、気体の温度が $2T$ となった。与えた熱量 $q$ を、 $n_A, N_A, R, T$ の中から必要なものを用いて表せ。
- (6) (5)の状態にした後、再びコックを開けてしばらく経過し、容器内の気体が一様になったときの温度 $T'$ を求めよ。
- (7) (6)の状態のとき、容器内の気体分子の速さの二乗の平均 $\overline{u^2}$ を、 $n_A, n_B, m, N_A, R, T$ の中から必要なものを用いて表せ。なお、導出過程も示すこと。

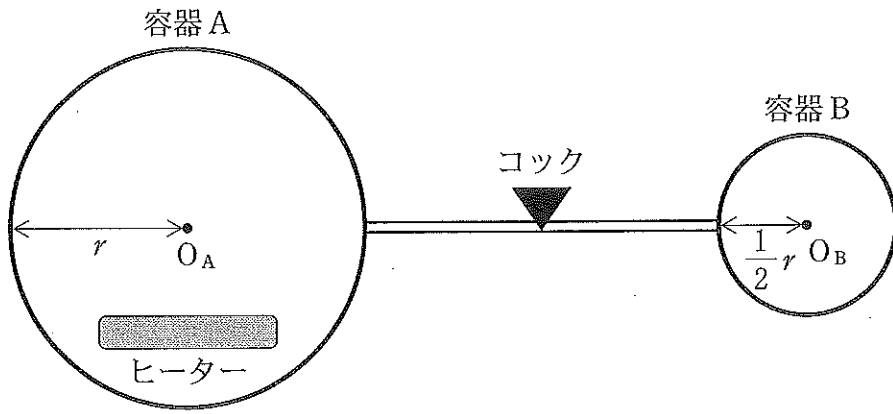


図 1

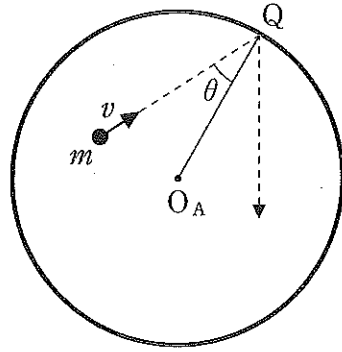


図 2

### 物理問題 3

皆既月蝕は、地球の影に月が入ることによって起きる。地球の影に入っているにも関わらず、皆既月蝕中の月がわずかに赤く光って見える理由を、図1に示した簡単なモデルに基づいて考察しよう。

地球を半径  $R$  の球だとする。その表面は、一定の厚さの一様な大気で覆われており、その外側は宇宙空間(真空)だとする。地球大気の屈折率を  $n$ 、真空の屈折率を 1 とする。地球の中心を点  $O$  とし、そこから右側に直線  $OQ$  を引き、それとは垂直に直線  $OP$  を引く。太陽は図の左側に位置し、太陽光は直線  $OQ$  に対して平行に入射する。点  $A$  の位置において入射角  $\theta_1$  で地球大気に入射した太陽光は、屈折角  $\theta_2$  で地球大気に侵入し、点  $B$  において屈折角  $\theta_3$  で宇宙空間へと飛び出したのち、点  $C$  にて直線  $OQ$  と交わった。

以下の設問に答えよ。ただし、角度の単位はすべてラジアンとし、円周率を  $\pi$  とする。

- (1) 角  $AOP$  を  $\alpha$  とする。 $\theta_1$  を  $\alpha$  を用いて答えよ。
- (2)  $\sin \theta_2$  を  $\theta_1$  と  $n$  を用いて答えよ。
- (3)  $\sin \theta_3$  を  $\theta_1$  を用いて答えよ。
- (4)  $\theta_2$  を  $n$  と  $\alpha$  を用いて答えよ。ただし、 $\theta_1$  と  $\theta_2$  はいずれも  $\frac{\pi}{2}$  に近いとして、 $\frac{\pi}{2}$  に近い角度  $\phi$  に対する近似式  $\sin \phi \approx 1 - \frac{1}{2} \left( \phi - \frac{\pi}{2} \right)^2$  を用いること。
- (5) 光線  $BC$  が直線  $OQ$  となす角度  $\delta$  を、 $n$  と  $\alpha$  を用いて答えよ。

地球大気の厚みは地球半径に対して十分に小さいため、点  $A$  と点  $B$  は直線  $OP$  上で一点に重なっていると考えてよい。つまり、図の左側から入射した太陽光は、直線  $OP$  上で角度  $\delta$  だけ進行方向が変化すると見なすことができる。月は地球の右側を、月軌道 1 (点  $C$  の左側) もしくは月軌道 2 (点  $C$  の右側) に沿って通過する。 $n = 1.0003$ ,  $R = 6.4 \times 10^3 \text{ km}$  とし、地球中心から月軌道までの距離を  $3.8 \times 10^5 \text{ km}$  とする。また、地球大気の厚さは地球半径より十分に小さいので、無視してよい。



以下の設問に答えよ。

(6)  $\delta$  を有効数字2桁で求めよ。必要であれば、近似値  $\sqrt{\frac{2}{1.0003}} \doteq 1.41$ ,

$\sqrt{\frac{3}{1.0003}} \doteq 1.73$ ,  $\sqrt{\frac{6}{1.0003}} \doteq 2.45$  を用いてよい。

(7) この問題設定において、正しい月軌道は1と2のどちらか、理由とともに答えよ。必要であれば、近似式  $\tan \delta \doteq \delta$  を用いてよい。

(8) 上記の解答に基づき、皆既月蝕中の月がわずかに赤く光って見える理由を述べよ。

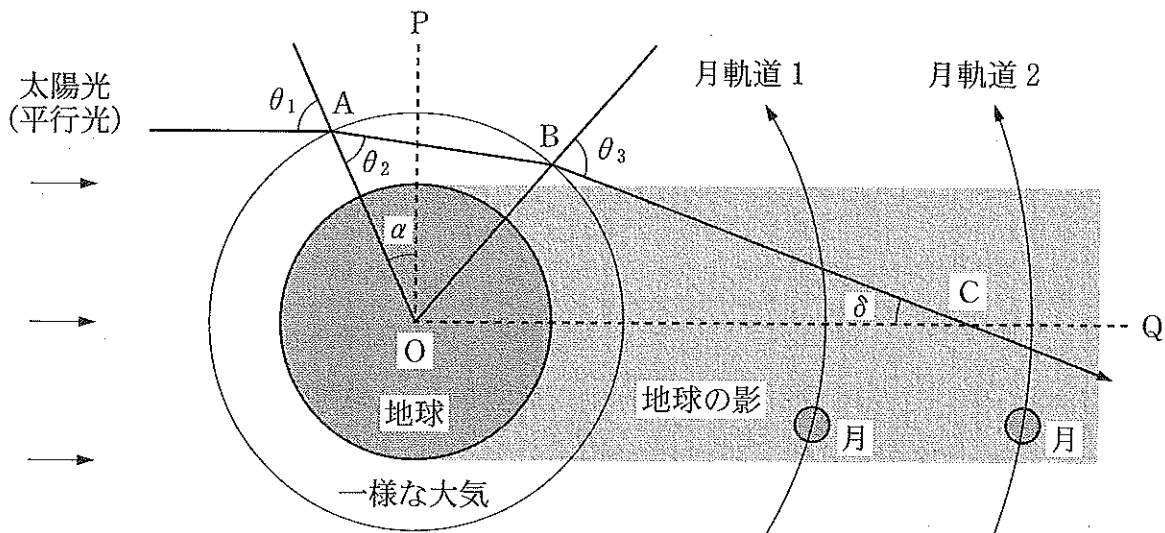


図1 (概念図)

## 物理問題 4

起電力が  $V$  で内部抵抗が  $r$  の直流電源，静電容量が  $C$  のコンデンサー，自己インダクタンスが  $L$  で相互インダクタンスが  $M$  のコイル 1 とコイル 2，鉄心，抵抗値が  $R$  の抵抗，スイッチ 1 ～ 3 で構成された，図 1 に示す電気回路について，以下の設問に答えよ。

導線の抵抗は無視する。コイル 1，2 を貫く磁束は鉄心の外に漏れないとする。電磁波の放射によるエネルギー損失はないとする。最初，時刻  $t = 0$  で 3 つのスイッチは開いており，コンデンサーの電荷はゼロとする。電流の符号は，図 1 中に示した矢印の方向に電流が流れている場合を正とする。

- (1)  $t = t_0 (> 0)$  でスイッチ 1 を閉じると，コンデンサーは充電されはじめ，充電が完了されるまでの間，回路に電流が流れる。図 1 中のコンデンサーの上側の極板にたまる電荷を  $Q$  とする。充電中，回路に流れる電流  $I$  を，ここまですてきた記号を用いて数式で示せ。
- (2)  $t = t_0$  のあと， $Q$  は図 2 に示すように時間に対して増加していく。電荷  $Q_0$  は充電が完了したときのコンデンサーの電荷である。 $I$  の時間変化はどうなるか，横軸を  $t$ ，縦軸を  $I$  としてグラフで示せ。また，グラフ中に  $t = t_0$  における電流  $I_0$  を，ここまですてきた記号を用いて数式で示せ。
- (3) 電荷  $Q_0$  を，ここまですてきた記号を用いて数式で示せ。
- (4) 充電が完了したあと， $t = t_1$  でスイッチ 1 を開き，スイッチ 2 を閉じると，コイル 1 に電流  $I$  が流れる。微小時間  $\Delta t$  の間の  $I$  の変化量を  $\Delta I$  とする。 $t = t_1$  以降の  $Q$  を，ここまですてきた記号を用いて数式で示せ。
- (5)  $t = t_1$  のあと， $Q$  は図 3 に示すように時間に対して周期  $T$  で振動する。 $I$  の時間変化はどうなるか，横軸を  $t$ ，縦軸を  $I$  としてグラフで示せ。 $I$  の最大値は  $I_1$  とする。
- (6) コイル 1 の両端に生じる誘導起電力の最大値  $V_1$  を，ここまですてきた記号を用いて数式で示せ。

- (7)  $Q$  が図 3 に示すように周期  $T$  で振動している途中で、 $t = t_2$  でスイッチ 3 を閉じると、コイル 2 に電流  $I$  が流れる。その後、時間の経過とともに抵抗で電気エネルギーは消費されていき、最後には回路に電流が流れなくなる。抵抗で消費される電気エネルギーの総量  $E$  を、ここまでに出てきた記号を用いて数式で示せ。
- (8) 微小時間  $\Delta t$  の間の  $I$  の変化量を  $\Delta I$  とする。 $I$  を、ここまでに出てきた記号を用いて数式で示せ。図 1 中のコイルの巻き方に注意せよ。

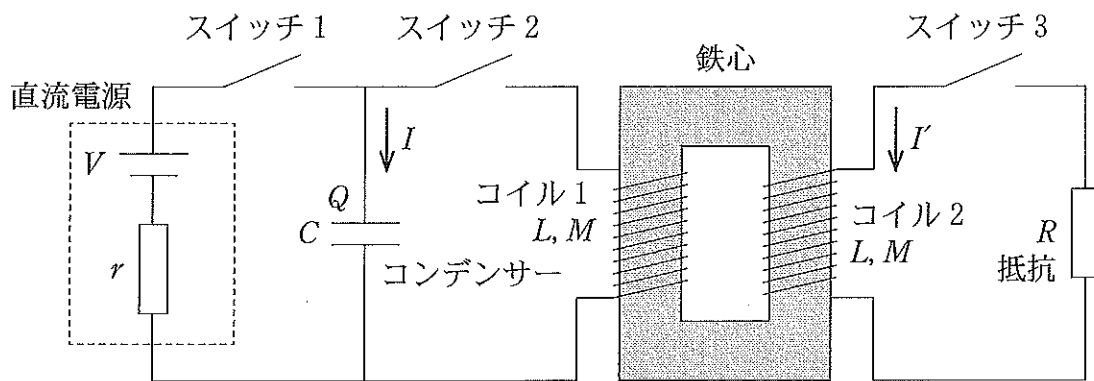


図 1

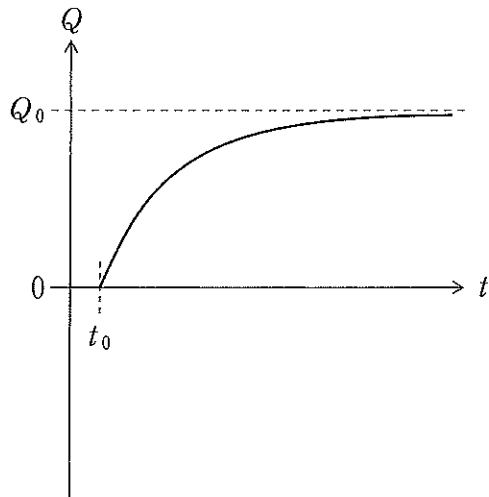


図 2

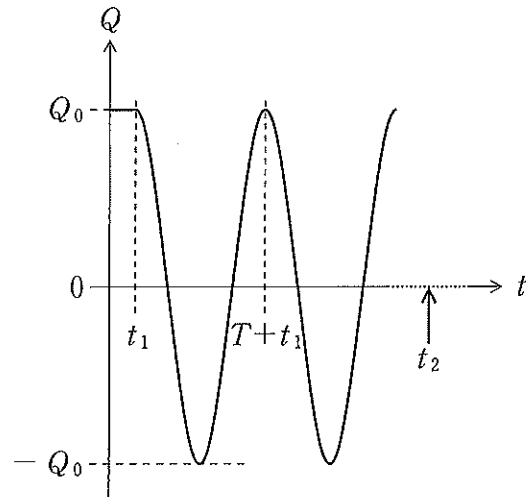


図 3