

- [ I ] 図1のように、静止した水平な床の上で、右向きに大きさ  $a$  の加速度で等加速度運動をする変形しない箱を考える。この箱の天井から質量  $m$  の質点を糸でぶら下げたところ、角度  $\theta$  の位置でつり合った。糸の質量は無視できる。質点にはたらく糸の張力の大きさを  $T_1$  とする。重力加速度は図1の下向きで、その大きさを  $g$  とする。ただし、以下の問いで、水平方向は図の左右方向、垂直方向は図の上下方向とする。

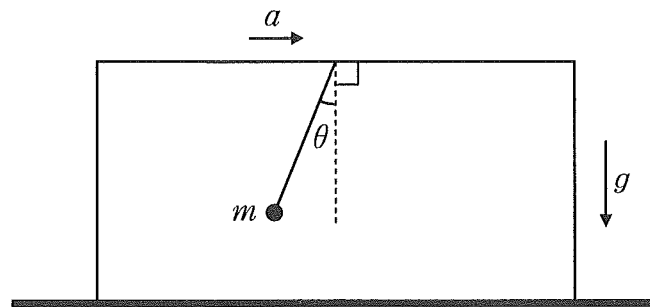


図1

問1 図1における質点の運動について、以下の問いに答えよ。

- (1) 箱の外にいる静止した人から観測した場合の、質点の垂直方向の力のつり合いの式と水平方向の運動方程式を示せ。
- (2) 箱の中にいる人から観測した場合の、質点の垂直方向の力のつり合いの式と水平方向の力のつり合いの式を示せ。
- (3)  $\tan \theta$  を求めよ。

次に、同じ大きさ  $a$  の加速度で右向きに等加速度運動する箱の床に、ヘリウムガスで満たされた体積  $V$  の風船を糸で固定したところ、アルキメデスの原理に従い浮力がはたらき、図2のように角度  $\phi$  の位置でつり合った。風船にはたらく糸の張力を  $T_2$  とする。箱の中は空気で満たされている。空気とヘリウムの密度をそれぞれ  $\rho_0$ ,  $\rho$  とする。ヘリウムガスを除いた風船の質量と糸の質量は無視できる。また風船の体積  $V$  は一定である。箱は密閉されており、また箱の中の空気に流れはない。

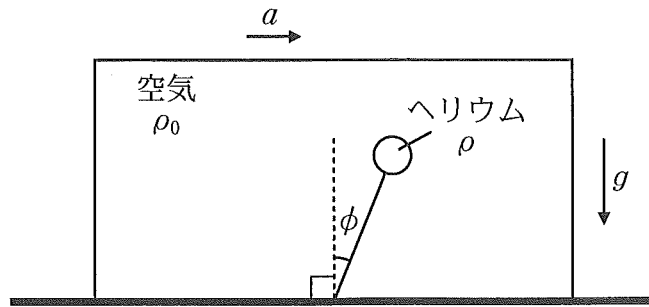


図 2

問 2 図 2 における風船の運動について、以下の問いに答えよ。

- (1) 箱の中にいる人から観測した場合の、風船の垂直方向の力のつり合いの式と水平方向の力のつり合いの式を示せ。
- (2)  $\tan \phi$  を求めよ。
- (3) 糸の張力の大きさ  $T_2$  を求めよ。
- (4) 風船の糸をハサミで切断し、風船が自由に運動できるようにした。箱の中にいる人から観測した風船の速度の大きさ(速さ)が  $v$  のとき、空気と風船の間に  $v$  に比例した大きさ  $kv$  ( $k$  は定数) の抵抗力が作用する。風船の終端速度の大きさ  $v_1$  を求めよ。導き方も示せ。必要であれば糸の張力の大きさ  $T_2$  を用いてもよい。ただし、箱は十分に大きく、風船が箱の天井や壁に届く前に終端速度に達するとする。

〔Ⅱ〕 定圧モル比熱  $C_P$  および定積モル比熱  $C_V$  をもつ理想気体 1 モルが、なめらかに動くピストンを持つ容器に閉じ込められている。この気体の状態を、図 1 の A (圧力  $P_0$ 、体積  $V_0$ 、絶対温度  $T_0$ )  $\rightarrow$  B  $\rightarrow$  C  $\rightarrow$  D  $\rightarrow$  A のように変化させた。過程① (A  $\rightarrow$  B) は定圧過程、過程② (B  $\rightarrow$  C) は断熱過程、過程③ (C  $\rightarrow$  D) は定積過程、過程④ (D  $\rightarrow$  A) は断熱過程である。状態 B の体積は  $aV_0$ 、状態 C と D の体積は  $bV_0$  で、 $b > a > 1$  である。比熱比を  $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$  とする。

以下の問いに、 $P_0$ 、 $V_0$ 、 $T_0$ 、 $a$ 、 $b$ 、 $C_P$ 、 $C_V$ 、 $\gamma$  のうち必要なものを用いて答えよ。

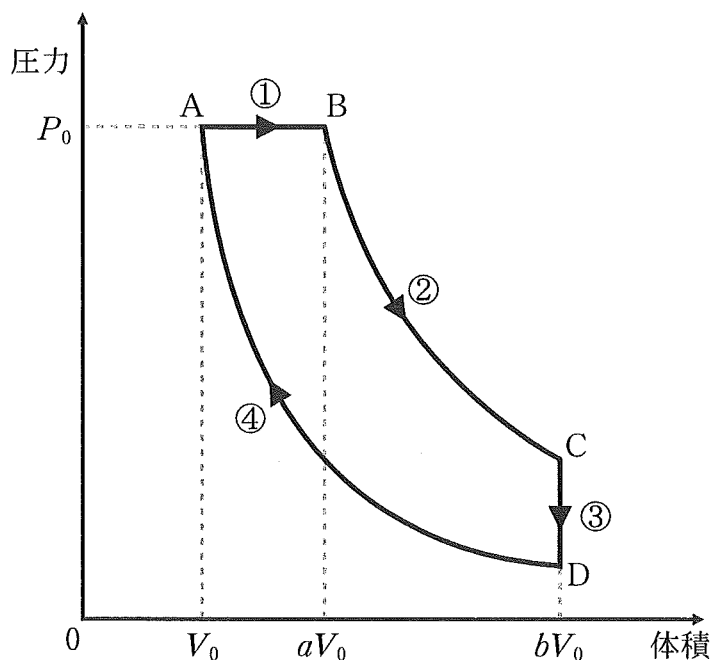


図 1

問 1 状態 B の絶対温度  $T_B$  を求めよ。

問 2 過程①で気体を得る熱量  $Q_1$  を求めよ。

問 3 状態 C と D における絶対温度  $T_C$  と  $T_D$  をそれぞれ求めよ。ただし断熱過程においては「 $PV^\gamma = \text{一定}$ 」の関係が成り立つ。

問 4 過程③で気体を得る熱量  $Q_3$  を求めよ。

問 5 熱サイクル  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$  の熱効率  $e$  を求めよ。導き方も示せ。

問 6  $\gamma = 1.4$  の二原子分子理想気体について、 $a = 2$ 、 $b = 4$  のときの熱効率  $e$  の値を有効数字一桁で答えよ。必要ならば、 $2^{1.4} \doteq 2.6$ 、 $4^{1.4} \doteq 7.0$ 、 $2^{0.4} \doteq 1.3$ 、 $4^{0.4} \doteq 1.7$  を用いてもよい。

〔Ⅲ〕 電気容量  $C$  のコンデンサー a, 電気容量  $2C$  のコンデンサー b, 抵抗, スイッチが金属導線でつながれた回路を考える。金属導線の抵抗は無視できる。

まず, コンデンサー a と b にそれぞれ  $Q_a$  と  $Q_b$  ( $Q_a > Q_b > 0$ ) の電荷を蓄え, スイッチが開いた状態で図 1 のように接続した。

問 1 スイッチが開いた状態のとき, コンデンサー a と b に蓄えられている静電エネルギーの総和  $U_1$  を求めよ。

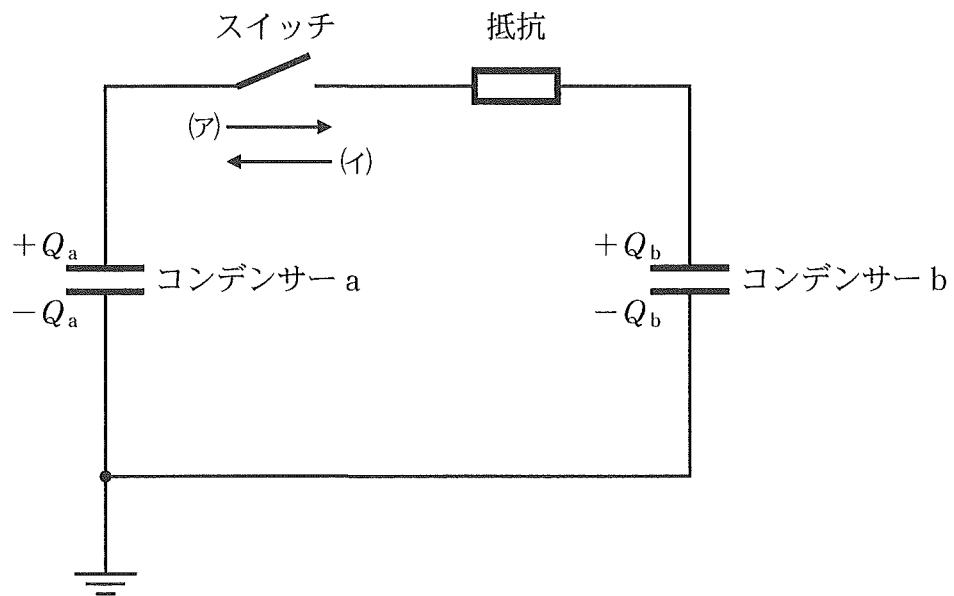


図 1

次に、スイッチを閉じると、コンデンサー a と b の間で電荷が移動しはじめた。

問 2 スイッチにおける正電荷の移動の向きを、図 1 の記号(ア)と(イ)から選べ。また、電荷の移動が完了するまでに抵抗を通った電荷の総量  $Q$  を求めよ。

問 3 電荷の移動が完了した後、コンデンサー a と b に蓄えられている静電エネルギーの総和  $U_2$  を求めよ。導き方も示せ。

問 4 抵抗で生じたジュール熱を求めよ。ジュール熱は正であることがわかるように式を表せ。導き方も示せ。

ここで、問 4 で求めたジュール熱を、別の観点から導出する。電位差による電界(または電場)は、抵抗内の電荷に仕事をする。

図 1 のスイッチを閉じてからある瞬間までに抵抗を通過した正電荷の量を  $q$ 、そのときの抵抗の両端の電位差を  $V_{ab}$  とする。

問 5  $V_{ab}$  と  $q$  の関係式を求めよ。導き方も示せ。

問 6  $V_{ab}$  を  $q$  の関数として解答用紙のグラフに描け。

問 7  $V_{ab}$  と  $q$  のグラフを利用し、電荷の移動が完了するまでに生じたジュール熱を求めよ。導き方も示せ。

〔IV〕 二つのヤングの実験を考える。

第一の実験配置を図1に示す。空気中に板1，板2，スクリーンを平行に置く。光源からの光が，板1のスリット  $S_0$  を，さらに板2の間隔  $d$  の二重スリット  $S_1, S_2$  を通った後にスクリーンに投影される。光の波長は  $\lambda$  である。板1と板2の距離は  $R$ ，板2とスクリーンの距離は  $L$  である。スクリーン上に  $x$  軸をとる。光源からスクリーンに向かって垂直に引いた点線とスクリーン上との交点を  $x$  軸の原点  $O$  とする。 $S_0, S_1, O$  は一直線上になるように配置されている。 $x$  軸上の任意の点を  $P$  とし，その座標を  $x$  とする。板1と板2は光を通さず，その厚さは無視できる。スリットの幅は  $\lambda$  程度，空気の屈折率は1とする。 $R \gg d, R \gg x, L \gg d, L \gg x$  と考える。以下の問いでは，指示があれば  $|z| \ll 1$  のときに成り立つ次の近似式を用いよ。

$$\sqrt{1+z} \doteq 1 + \frac{1}{2}z \quad \cdots \textcircled{1}$$

また，経路  $S_0$  から  $S_1$  までの光路長(光学距離)を  $S_0S_1$  と表すことにする。 $S_0S_2, S_1P, S_2P$  も同様である。

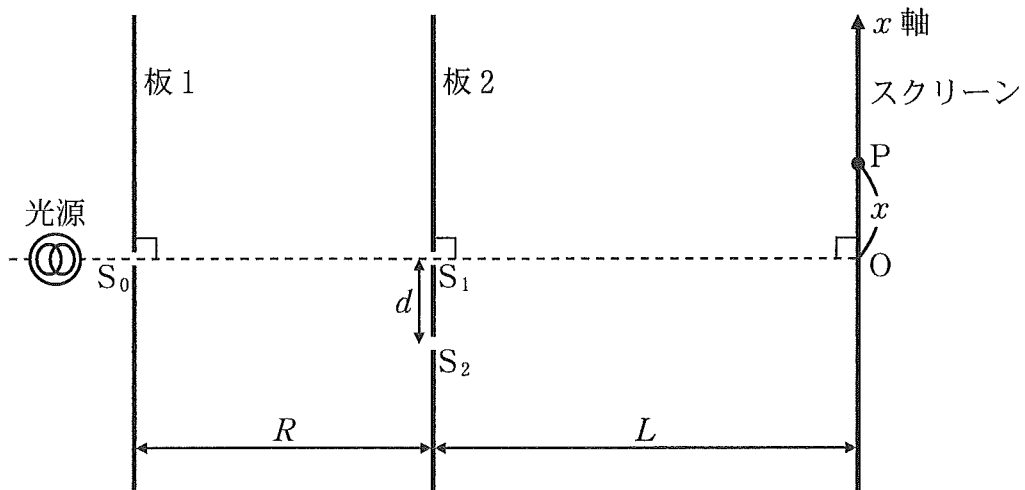


図1

問 1 以下の文章の  から  に、 $\lambda$ ,  $d$ ,  $L$ ,  $R$ ,  $x$ ,  $m$  ( $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) から必要なものを用いて、適切な式を記入せよ。

「三角形  $S_0S_1S_2$  は直角三角形なので、光路長  $S_0S_2$  は  である。光路差  $\Delta R = S_0S_2 - S_0S_1$  は、近似式①を用いると、 $\Delta R \doteq$   となる。光路長  $S_1P$  と  $S_2P$  はそれぞれ  ,  と書け、光路差  $\Delta L = S_2P - S_1P$  は近似式①を用いると  $\Delta L \doteq$   となる。以上の結果から、光路差  $(S_0S_2 + S_2P) - (S_0S_1 + S_1P)$  は  となる。この光路差が  $m\lambda$  に等しいとき明線が現れ、明線の座標は  $x =$   と表される。特に  $m = 0$  のときの明線の位置は  $x_0 =$   となる。」



第二の実験配置を図2に示す。第一の実験配置に加えて、 $S_1$ の光源側に屈折率  $n$  を自由に変化できる厚さ  $W$  の薄膜を配置する。 $n$  を1から徐々に大きくすると、第一の実験配置で位置  $x_0$  にある明線が移動する。ただし、薄膜による光の反射は無視できる。また、この薄膜は  $S_2$  を通る光に影響を及ぼさない。

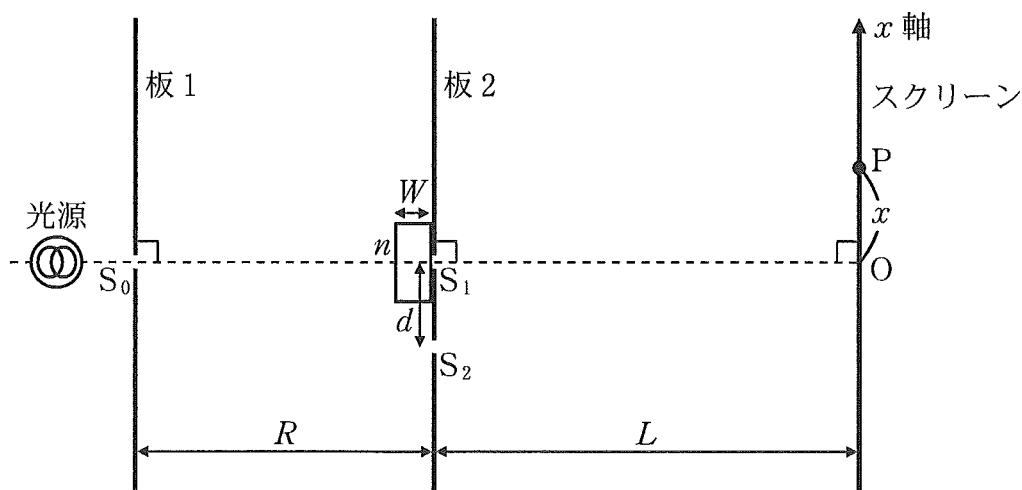


図2

問2 以下の文章の  から  に、 $\lambda$ ,  $d$ ,  $L$ ,  $R$ ,  $x$ ,  $W$ ,  $n$ ,  $m$  ( $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) から必要なものを用いて、適切な式を記入せよ。

「薄膜の屈折率が  $n$  のとき、光路長  $S_0S_1$  は  と表される。問1と同様に光路差を計算すると、点Pが明線となる条件は  となる。特に  $m = 0$  のときの明線の位置は  $x_0' =$   と表される。この明線の座標が原点Oとなるときの屈折率は  $n = 1 +$   である。」