

物 理

「解答上の注意」

問題に単位の指定がない場合、用いられる記号はSI(国際単位系)単位に従っているものとする。各問いに対する解答では{ }内に記号が示されている場合には、その記号のうち必要なものを用いて記せ。示されていない場合は、各問いの指示に従って解答せよ。

第1問

図1のように、点Pを中心とする半径 r の半円形でなめらかな面のくぼみを持つ質量 M の台が、なめらかで水平な床の上に置かれており、台の動きがストッパーで止められている。くぼみの左端に質量 m の小球を置いて静かに手を放すと、小球は、くぼみの内面に沿って動き、くぼみの中で往復運動を始めた。小球が最初に最下点Qを通過するときについて、以下の問いに答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g とし、速度に関しては、図の右方向を正として床に固定された x 軸を基準とせよ。また、台は左右対称の形状であり、その対称軸は $x=0$ にあるとする。

問1 小球の速度を求めよ。 $\{M, m, r, g\}$

問2 小球が台のくぼみの内面から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。 $\{M, m, g\}$

次に、図2のようにストッパーをはずして、左端に置いた小球から静かに手を放すと、小球はなめらかなくぼみの内面に沿って動くとともに台も動きだし、両者は往復運動を開始した。小球が最初に最下点Qを通過するときについて、以下の問いに答えよ。

問3 小球と台からなる物体系について水平方向の運動量保存則を適用し、台の水平方向の速度 V を小球の水平方向の速度 v を用いて表せ。 $\{M, m, v\}$

問4 小球の水平方向の速度を求めよ。 $\{M, m, r, g\}$

問5 台の水平方向の速度を求めよ。 $\{M, m, r, g\}$

問6 小球が台のくぼみの内面から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。 $\{M, m, g\}$

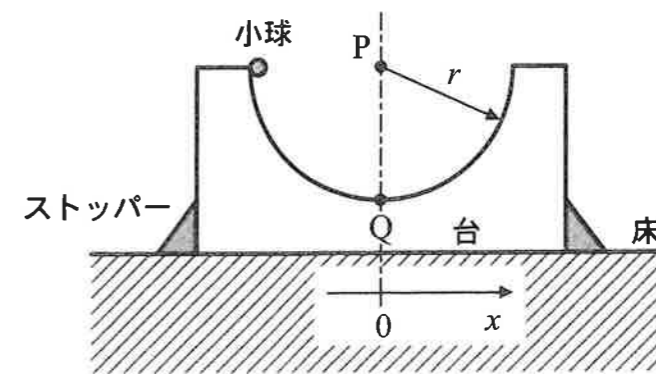


図1

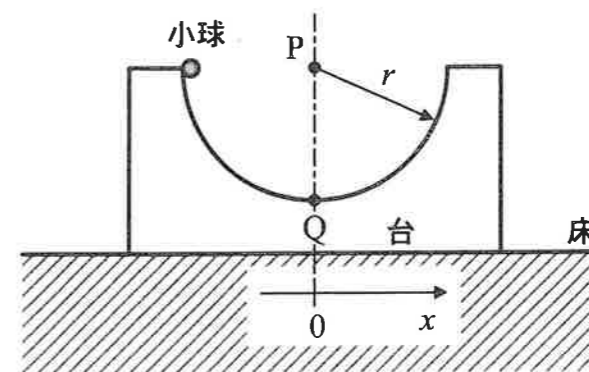


図2

第2問

図3のように、電極 a, b および平板 c を互いに平行に設置した。b にはスリット S_1 が、c にはスリット S_2, S_3 がある。 S_3 の左側には粒子検出器が設置されている。a と b の間の距離は d 、 S_2 と S_3 の間の距離は L とする。

電極 a, b の間に一定の電位差 V を加え、b と等電位の平板 c の右側の領域には磁束密度の大きさが B の一様な磁場を印加した。電極 b より電極 a が高電位である。正の電荷 q を持ち、質量 m の粒子を位置 O に静止させ、電極間で加速したところ、 S_1, S_2 および S_3 を通過した後、検出器に到達した。以下の問いに答えよ。ただし、装置は真空中に設置され、重力と地磁気の影響は無視でき、粒子の運動は紙面内に限定されるものとする。

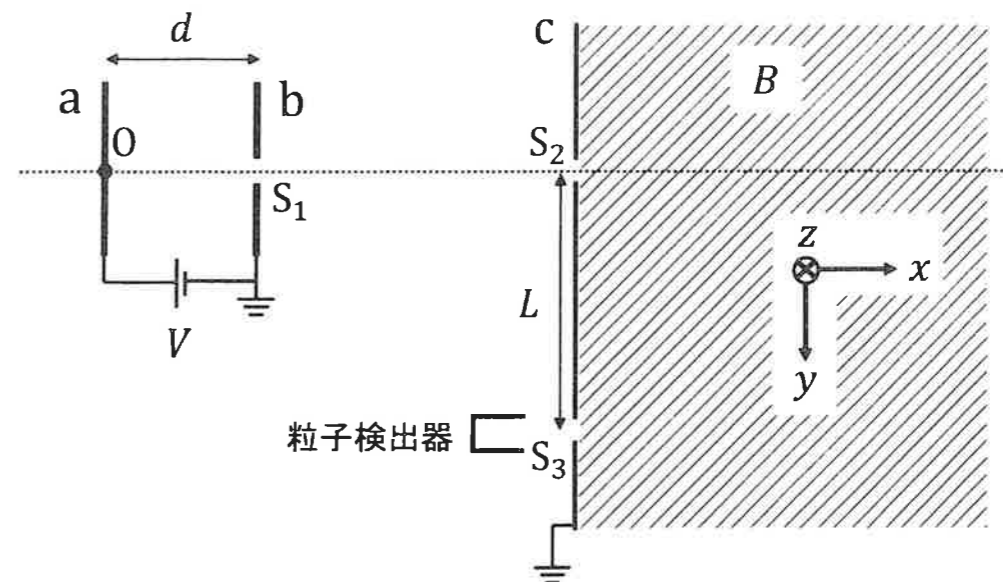


図3

問1 電極間で粒子に働く力の大きさを求めよ。 $\{d, V, q, m\}$

問2 S_1 に到達したときの粒子の速さを求めよ。 $\{d, V, q, m\}$

問3 粒子が位置 O から S_1 に到達するのに要した時間を求めよ。 $\{d, V, q, m\}$

問4 粒子が平板 c の右側で描く軌跡を解答欄の図に示せ。

問5 印加されている磁場の向きを答えよ。ただし、座標軸は図3に示すように、 x 軸は平板 c に垂直、 z 軸は紙面奥向きを正とする。

問6 印加されている磁場の磁束密度の大きさ B を求めよ。 $\{L, V, q, m\}$

次に、正の電荷 q を持ち、質量 $\frac{m}{2}$ の粒子を位置 O に静止させ、電極間で加速した。この粒子は S_2 を通過後、 S_3 を通過することなく平板 c に衝突した。

問7 S_2 と衝突点の間の距離は L の何倍になるか答えよ。

問8 粒子が S_2 を通過してから平板 c に衝突するまでに要した時間を求めよ。 $\{q, m, B\}$

第3問

図4のように、容器AとBがバルブのついた細い管で接続されている。容器Aは、断面積 S のシリンダーとなめらかに動くピストンからなる。容器Bは断面積 S で長さ $\frac{L}{4}$ である。

最初にバルブは閉じられている。容器Aには単原子分子の理想気体 n モルが閉じ込められており、ピストンはシリンダーの右端から長さ L の位置にストッパーで固定され、内部の圧力は大気圧 P_0 と等しい。また、容器Bの内部は真空である。これを状態①とする。気体定数を R として以下の問いに答えよ。ただし、容器A、Bとバルブおよび管は断熱材で作られていて、ストッパーの体積は無視できるものとする。

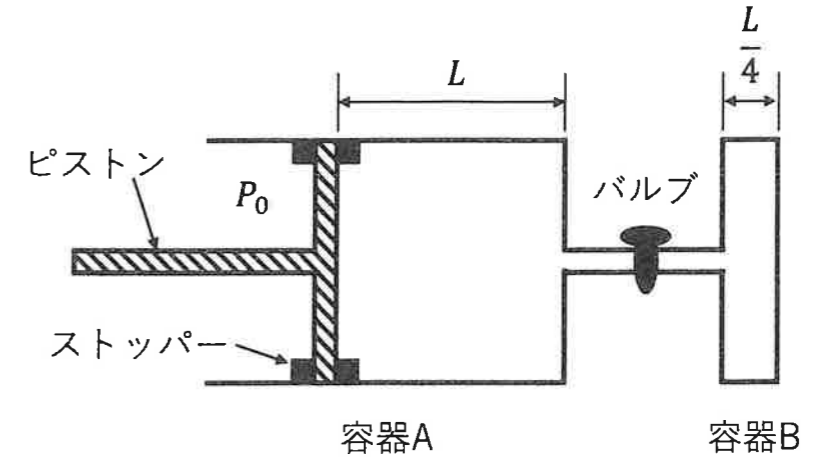


図4

問1 状態①における気体の温度 T_1 と内部エネルギーを求めよ。 $\{P_0, S, L, n, R\}$

状態①から、バルブを静かに開き、充分時間が経過すると全体の状態が一様になった。このとき、気体の温度は T_2 であった。この状態を状態②とする。

問2 状態①における気体の温度 T_1 と T_2 の関係を、解答欄の選択肢 $\{<, =, >\}$ の中から選んで丸で囲み、その理由を答えよ。

問3 状態②で、ピストンを手に持ちストッパーを外したとき、ピストンの位置を一定に保つには力を加える必要がある。その力の大きさを答えよ。 $\{P_0, S, L\}$

あらためて、状態①から、ストッパーを外してからバルブを静かに開き、充分時間が経過すると全体の状態が一様になった。このとき、ピストンは右側に動き、その位置はシリンダーの右端から L_3 となった。また、気体の温度は T_3 であった。この状態を状態③とする。

問4 状態①から状態③へ変わる間に気体が外部にした仕事を求めよ。 $\{P_0, S, L, L_3\}$

問5 状態③におけるピストンの位置 L_3 を L を用いて表せ。

問6 状態③における気体の温度 T_3 を T_1 を用いて表せ。

第4問

図5のように、平面ガラスの上に一方が平面で他方が半径 R の球面になっている平凸レンズを、凸面を下にして置いた。鉛直上方から波長 λ の単色光を当てて上から観測したところ、平凸レンズと平面ガラスの接点 C を中心として同心円状の暗環と明環が交互に見られた。この縞模様は平凸レンズの球面半径を求めることに利用できる。空気の屈折率は1、レンズとガラスの屈折率はともに1より大きいとして、以下の問いに答えよ。

問1 明暗の縞模様は、平凸レンズの下面で反射された光と、平面ガラスの上面で反射された光が干渉することで現れる。平凸レンズの下面で反射された光の位相は(ア)。平面ガラスの上面で反射された光の位相は(イ)。暗環が現れる地点では、これらの二つの経路の光路差は光の半波長の(ウ)。
()に入る適切な語句を下の選択肢から選び、解答欄にその記号を記せ。

- ① 変わらない ② π ずれる ③ 偶数倍となる ④ 奇数倍となる

問2 点 C から r だけ離れた位置に、中心から $m (= 0, 1, 2, \dots)$ 番目の暗環が現れるとき、その位置での空気層の厚さ d を単色光の波長 λ を用いて表せ。 $\{m, \lambda\}$

問3 $d \ll R$ のときの d を求めよ。ただし、 $|x| \ll 1$ で成立する近似式 $(1+x)^\alpha \approx 1+ax$ を用いよ。 $\{r, R\}$

問4 問2と問3の結果を用いて球面半径 R を求めよ。 $\{m, r, \lambda\}$

平凸レンズの球面半径が小さいと暗(明)環の半径が小さくなるため、球面半径を正確に求めることが難しい。その場合、平面ガラスを図6のように平凹レンズに置き換えることで、球面半径の測定精度を高めることができる。

問5 半径 $R_0 (> R)$ の球面を持つ平凹レンズと平凸レンズの接点 C' から r' だけ離れた位置に、中心から $m (= 0, 1, 2, \dots)$ 番目の暗環が現れた。問3と同様の方法で球面半径 R を求めよ。 $\{m, r', R_0, \lambda\}$

問6 同じ $m (> 0)$ 番目の暗環を比較したときの、平凹レンズを使った場合の半径 r'_m と平面ガラスを使った場合の半径 r_m との比を求めよ。 $\{m, R, R_0, \lambda\}$

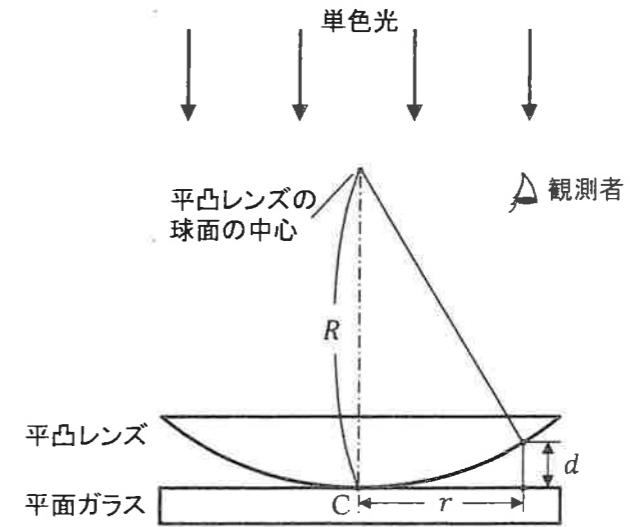


図5

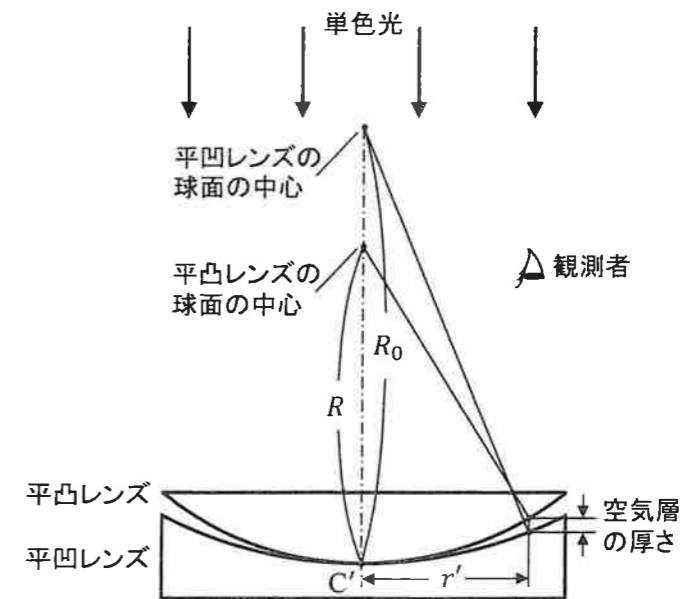


図6