

I

図 1 のように、大きさの無視できる質量 m の小物体が傾きの角 θ のあらい斜面上の点 O に静止している。小物体と斜面の間の静止摩擦係数は μ 、重力加速度の大きさを g とし、 θ の範囲は $0^\circ < \theta < 90^\circ$ とする。

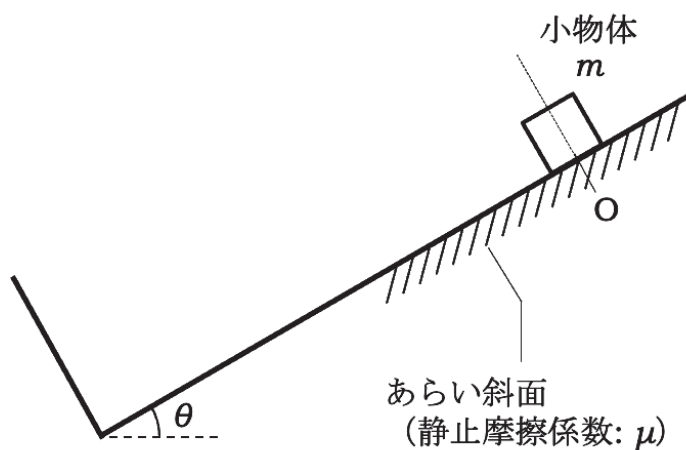


図 1

- (1) 小物体が点 O で静止しているとき、小物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさ F_O を m, g, θ を用いて表せ。
- (2) 小物体が斜面上に静止しつづけるために $\tan\theta$ が満たすべき不等式を、 μ, θ を用いて表せ。

物 理 $\frac{2}{10}$

図 2 のように、傾きの角度が 30° になったとき、小物体が点 O から静かにすべりだした。あらい斜面に沿って点 O から点 A まで距離 L だけすべったとき、小物体の速さは v であった。小物体の運動において空気抵抗は無視できるとし、速度は斜面に沿って下向きを正とし、小物体の加速度は a とする。また、小物体と斜面の間の動摩擦係数は μ' とする。

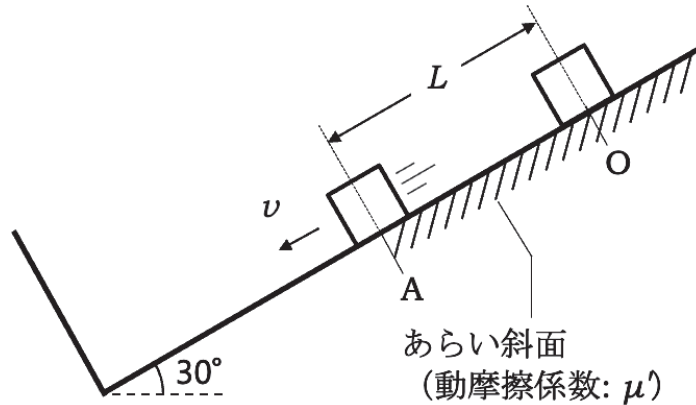


図 2

- (3) OA 間における小物体の運動方程式を a, m, g, μ' の中から必要なものを用いて表せ。
- (4) 小物体が点 O からすべりだし、点 A に到達するまでに動摩擦力が小物体にした仕事として正しいものを、以下の候補の中から選び番号で答えよ。
- ① : $\frac{\sqrt{3}}{2}mg\mu'L$
- ② : $-\frac{\sqrt{3}}{2}mg\mu'L$
- ③ : $\frac{1}{2}mg\mu'L$
- ④ : $-\frac{1}{2}mg\mu'L$
- (5) μ' を v, g, L を用いて表せ。

図 2 において点 A を通過した後、小物体は点 AB 間の摩擦力のはたらかないなめらかな斜面をすべりおりた。図 3 に示すとおり、点 B で小物体が壁に衝突する直前、点 O に固定された音源から出た振動数 f_0 の音が小物体で反射した。このとき、小物体の速度は v_1 であった。この反射音を点 O に静止する観測者が聞くと、振動数が f であった。音速を V とし $v_1 < V$ の関係があるとする。

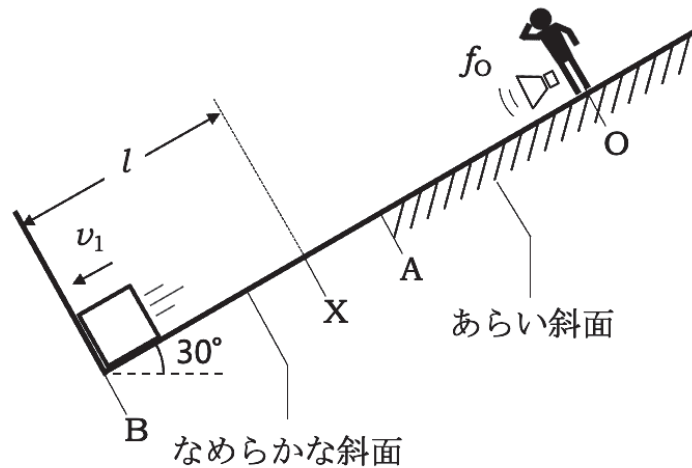


図 3

- (6) 音源から出る音の振動数と反射音の振動数の比を $R = f/f_0$ としたとき、壁に衝突する直前の小物体の速度 v_1 を R, V を用いて表せ。
- (7) 小物体が壁に衝突し、反発係数 e ではね返った。その後、なめらかな斜面に沿って上向きに移動し、最高点 X に到達したあと再び斜面をすべりおりた。点 B から点 X までの距離 l を e, g, R, V を用いて表せ。衝突後の物体の速度を v_2 として、導出過程も示すこと。なお、距離 l は AB 間の距離よりも小さいとする。

II

図4のように、屈折率が1となる空気の中に、透明な半径 a の半円形ガラスがある。入射光線として緑色の単色光を空気中から半円形ガラスの円の中心 O に向けて平面側から入射角 i で入射させると、屈折光線は半円形ガラスの曲面の点 P を通過した。このとき、中心 O を通りガラス平面に垂直な法線と点 P の距離は h となった。緑色の単色光に対するガラスの屈折率を n とし、次の問に答えよ。ただし、ガラスの屈折率は光の波長によって変化し、波長が長くなれば屈折率は小さくなるものとする。また、光は中心 O を通る法線を含む同一平面内を進むものとする。

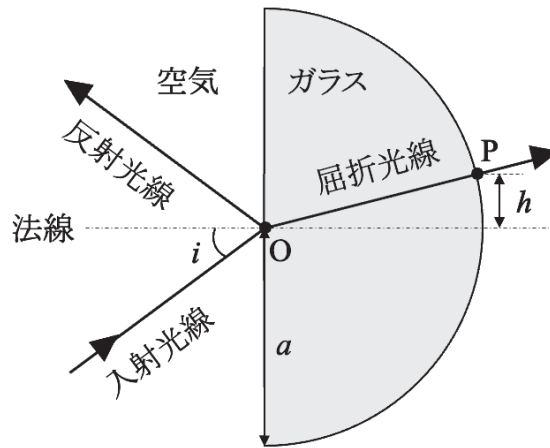


図4

- (1) h を n, a, i を用いて表せ。
- (2) 入射光線を青色の単色光とした場合、 h の値はどう変化するか。以下の候補から選び、番号で答えよ。

- ① : 大きくなる
- ② : 小さくなる
- ③ : 変わらない

物 理 $\frac{5}{10}$

同じ半円形ガラスを用いて、図5のように入射光線として緑色の単色光を曲面上の点P'を通り円の中心Oに向けて入射させると、屈折光線は屈折角 r で空气中に射出された。点P'の位置を変化させ、中心Oを通る法線から点P'までの距離 h' を大きくしていくと、屈折角 r が 90° となりそれ以降は屈折光線が観測できなくなった。次の間に答えよ。

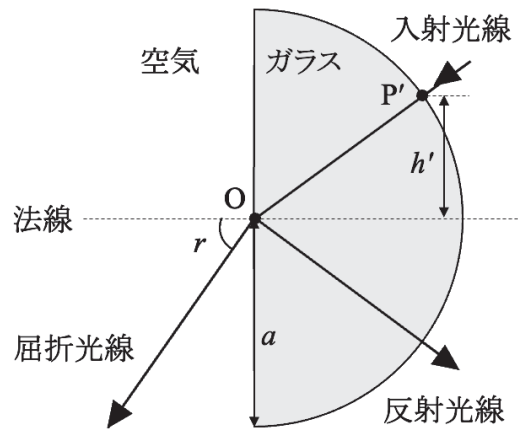


図5

- (3) 屈折角 r が 90° となったときの h' を a, n を用いて表せ。
- (4) 屈折角 r が 90° となったとき、点P'を通る入射光線をどのように変化させると屈折光線が再び観測できる可能性があるか、以下の候補から正しいものをすべて選び、番号で答えよ。
- ① : 赤色の単色光にする
 - ② : 青色の単色光にする
 - ③ : 白色光にする

物 理 6/10

次に、図6のように、屈折率が1となる空気中に、透明な物質で作られた厚さ d (ただし $d > 0$) の薄い膜がある。この膜に対して波長 λ の単色光を空気中から膜へ垂直に入射させる。入射光線の一部は膜の表面で反射される (光①)。残りは膜の中に入り、その一部が膜の裏面を透過する (光②)。その残りは膜の裏面で反射され、一部が膜の表面を透過する (光③)。さらに膜の表面で反射された光の一部が膜の裏面を透過する (光④)。反射光線として光①と光③が干渉し、透過光線として光②と光④が干渉してそれぞれ観測される。波長 λ の光に対する物質の屈折率を n として、次の問に答えよ。

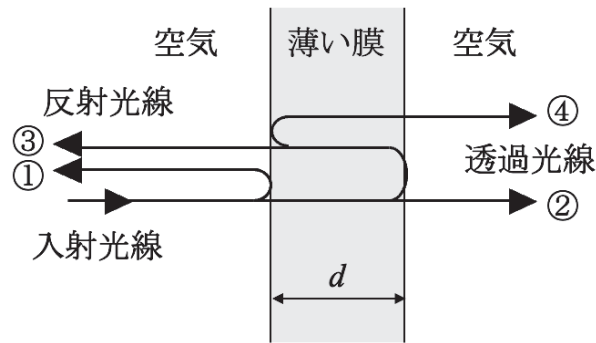


図6

- (5) 反射光線のうち、光①と光③の光路差を n, d を用いて表せ。
- (6) 膜の厚さ d を変化させたとき、ある厚さ d_0 で反射光線が干渉によって弱め合った。このとき、膜の厚さとして正しいものを、以下の候補から選び、番号で答えよ。

① : $\frac{\lambda}{2n}$

② : $\frac{\lambda}{3n}$

③ : $\frac{\lambda}{4n}$

物 理 7/10

図 6 と同じ厚さ d の膜に対して、波長 λ の単色光を空気中から図 7 のように入射角 θ で入射させる場合を考える。反射光線として光①と光③が干渉し、透過光線として光②と光④が干渉してそれぞれ観測される。波長 λ の光に対する膜の屈折率を n とし、次の間に答えよ。

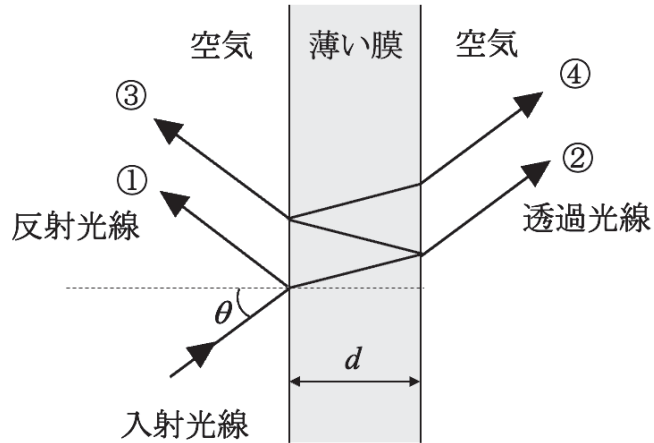


図 7

- (7) 透過光線のうち、光②と光④の光路差を n, d, θ を用いて表せ。
- (8) 膜の厚さが (6) と同じ d_0 の場合、ある入射角 θ のときに透過光線が干渉によって弱め合った。このときの膜の屈折率 n を入射角 θ を用いて表せ。

III

理想気体の性質と物体の運動との関係調べるために、図 8 のような、断面積 S のなめらかに動くことのできるピストンで仕切られた円筒容器を台の上に固定する。ピストンの左側は真空になっており、質量 m の物体が 1 個封入されている。ピストンの右側は物質量 n モルの単原子分子理想気体が封入されている。図の水平右向きを x 軸にとる。物体は x 軸に平行方向にのみ運動しており、ピストンおよび円筒容器の左側面とは弾性衝突をする。理想気体の圧力は P であり、ピストンは理想気体から x 軸の負の向きに力を受けている。以下では重力の影響は無視できるものとする。

物体はピストンと何度も衝突を繰り返すことになるが、衝突の状況は毎回同じであり、円筒容器の左側面の位置を $x = 0$ としたときに、ピストンと物体の衝突位置は常に $x = A$ であった。これを定常状態と呼ぶことにする。また、円筒容器の理想気体が入っている部分の長さ B および気体の圧力 P は常に一定とみなしてよいとする。

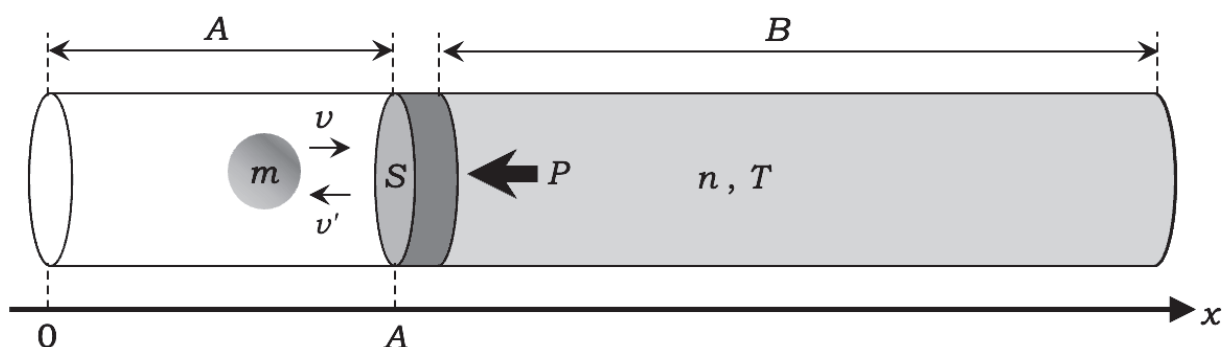


図 8

- (1) 物体とピストンが衝突する直前の物体の速度を v 、衝突した直後の物体の速度を v' とする。定常状態と弾性衝突の条件から、 $v = -v'$ が満たされなければならない。一回の衝突でピストンが物体から受ける力積の大きさを J とする。 J を m, v を用いて表せ。
- (2) 十分長い時間 t の間に物体がピストンと衝突する回数を i とする。 i を v, A, t を用いて表せ。

物 理 $\frac{9}{10}$

- (3) (2)において、ピストンが物体から受ける力の時間平均値を F とする。 F を i, J, t を用いて表せ。
- (4) 定常状態の条件から、ピストンが物体から受ける力の時間平均値と、理想気体から受ける力がつり合っていないなければならない。このことを用いて、理想気体の絶対温度を T 、気体定数を R としたときに、 T を n, R, B, F を用いて表せ。導出過程も示すこと。
- (5) 物体の運動エネルギーを K とする。 K を A, B, n, R, T を用いて表せ。

物 理 10/10

物体が非常に小さいときには、物体を粒子として考えると説明できないような現象が知られている。ド・ブロイによると、ミクロな粒子は波動としての性質も持っていると考えが必要があり、ド・ブロイ波と呼ばれている。ド・ブロイ波の波長 λ は粒子の運動量の大きさを p 、プランク定数を h として $\lambda = h/p$ となる。また粒子の運動エネルギー K は $K = p^2/(2m)$ で与えられる。図 8 の定常状態において、図 9 に示すような、波長 λ のド・ブロイ波が形成されているとする。

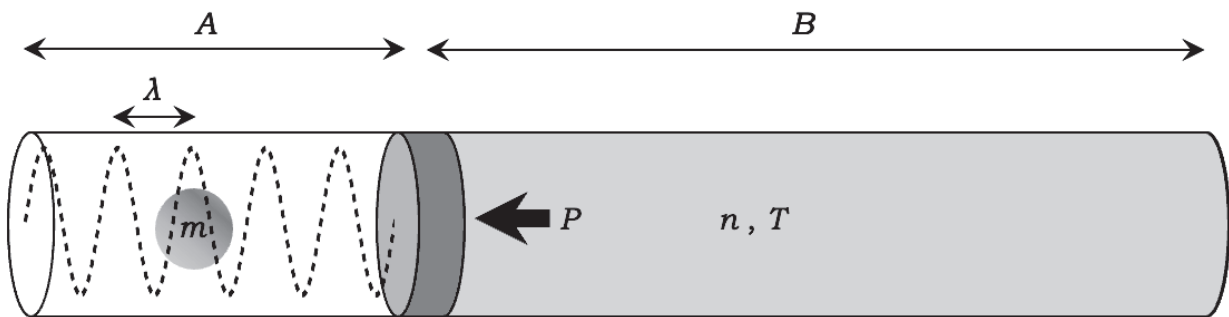


図 9

- (6) 次の文の空欄 (ア), (イ), (ウ) に対して当てはまる数式および語句を、それぞれ以下の候補から選び、番号で答えよ。

物体の運動エネルギー K に対し、物体のド・ブロイ波の波長 λ は A, B 一定の条件において (ア) に比例する。したがって、理想気体の絶対温度 T に対し、(イ) に比例する。つまり、理想気体の絶対温度が (ウ) ほど物体のド・ブロイ波の波長 λ は長くなる。

(ア) の候補 : ① K ② K^2 ③ \sqrt{K} ④ $\frac{1}{K}$ ⑤ $\frac{1}{K^2}$ ⑥ $\frac{1}{\sqrt{K}}$

(イ) の候補 : ① T ② T^2 ③ \sqrt{T} ④ $\frac{1}{T}$ ⑤ $\frac{1}{T^2}$ ⑥ $\frac{1}{\sqrt{T}}$

(ウ) の候補 : ① 高い ② 低い