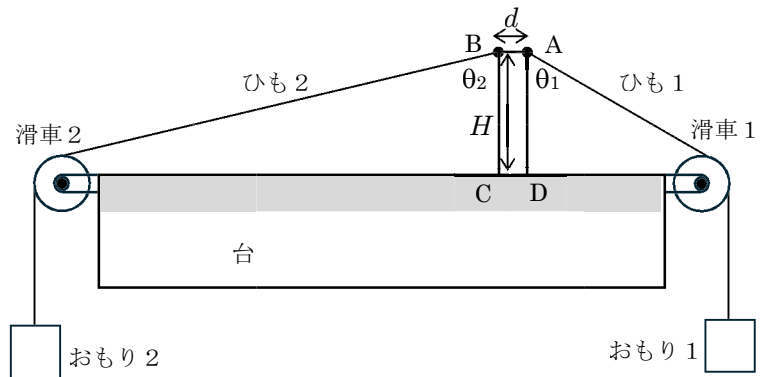


物 理 (その1)

第1問

図のように、両端に軽くてなめらかな滑車がついた水平であらい台の上に、幅が d で高さが H の密度が均一な直方体 $ABCD$ (以下、直方体という) を置く。台は固定されていて動かないものとする。点 A にひも 1 をつけ、ひも 1 を滑車 1 にかけて、ひも 1 の他端におもり 1 を取り付けて鉛直につり下げる。同様に、点 B にひも 2 をつけ、ひも 2 を滑車 2 にかけて、ひも 2 の他端におもり 2 を取り付けて鉛直につり下げる。点 A 、 B 、 C 、 D 、および 2 本のひも、おもり 1、おもり 2、および直方体の重心は、直方体の側面と平行な鉛直面内にあるとする。

ひも 1、ひも 2 が鉛直方向となす角度を各々 θ_1 、 θ_2 ($\theta_2 > \theta_1$)、おもり 1 の質量を m_1 、おもり 2 の質量を m_2 ($m_2 > m_1$)、直方体の質量を M とし、重力加速度の大きさを g とする。以下において、台と直方体の間の摩擦は十分に大きいとする。



全体を静止させてから静かに手をはなすと直方体は台の上で静止した。

問1 直方体が台から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。

問2 直方体が台から受ける静止摩擦力の大きさを求めよ。

問3 直方体に対して、ひも 1 が与える点 C のまわりの力のモーメントの大きさを求めよ。

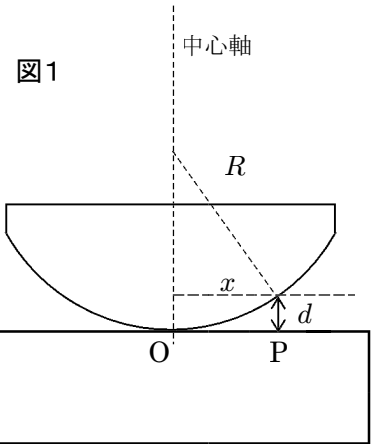
おもり 2 をより質量の大きなおもり 3 に付け替えてから静かに手をはなしたところ、おもり 3 の質量が m_{th} より大きいとき、台に対してすべることなく直方体が左側 (滑車 2 側) に倒れた。また、おもり 3 の質量が m_{th} より小さいとき、直方体は倒れなかった。

問4 m_{th} を求めよ。

物 理 (その2)

第2問

図1のように、平面ガラスの上に球面半径が R の平凸レンズの凸面を下にして、平凸レンズの平面が平面ガラスと平行になるように置く。上方からレンズの平面に垂直に波長 λ の単色光をあて、上方から観測する。平面ガラスと平凸レンズの凸面との接点を点 O とし、点 O から(点 O を通る中心軸から) 距離 x の点 P でのレンズの凸面と平面ガラスとの距離(空気の層の厚さ)を d とする。平面ガラスとレンズの屈折率は共に n であり、空気の屈折率を 1 とする。また、 d は R に比べて十分に小さいとし、必要ならば、実数 k に対して $|a| \ll 1$ のときに成り立つ近似式 $(1+a)^k \approx 1+ka$ を用いてよい。

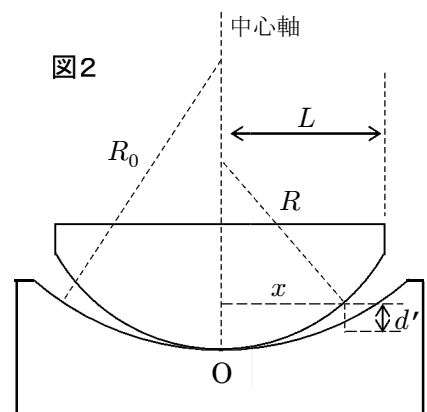


問1 距離 d を R と x を用いて表せ。

問2 点 P に中心から m 番目の明環ができるとき、 x を R 、 λ 、 m を用いて表せ。ただし、 $m=1, 2, 3 \dots$ である。

問3 点 O の近くは明るい暗い。解答欄の選択肢の正しいものを○で囲め。

問4 平面ガラスとレンズの間を屈折率 n_1 ($n_1 > n$) の透明な液体で満たすと明環の位置はどのように変化するか簡単に述べよ。



平面ガラスの代わりに、球面半径 R_0 の平凹レンズを、凹面を上にして水平におき、その上に球面半径 R の平凸レンズの凸面を下にしてのせる(図2)。互いのレンズの中心軸は一致していて、接点を点 O とする。ここで、 R は R_0 に近いが少しだけ小さい($R < R_0$)とする。平凸レンズと平凹レンズの屈折率を共に n とする。

上方から平凸レンズの平面に垂直に波長 λ の単色光をあて上方から観測したところ、点 O から距離 L より内側に明環が1つだけ現れ、中心から2番目の明環は観測されなかった。

問5 中心軸から距離 x の位置での、空気の層の中心軸に平行な向きの厚さ d' を R 、 R_0 、 x を用いて表せ。

問6 観測された明環の本数から半径 R と R_0 の比 $\frac{R}{R_0}$ の範囲を求め、 R_0 、 λ 、 L を用いて表せ。

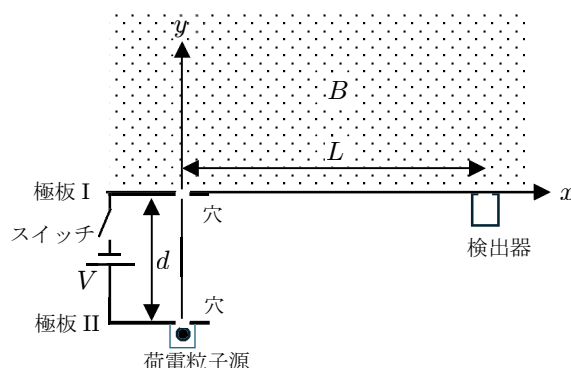
問7 $R_0 = 1.0 \text{ m}$ 、 $L = 5.0 \text{ cm}$ 、 $\lambda = 500 \text{ nm}$ として $\Delta R = |R_0 - R|$ の範囲の上限値を有効数字2桁で求めよ。

物 理 (その3)

第3問

図のように、極板間の距離が d の平行平板極板があり、起電力 V の電源とスイッチがつながれている。極板には小さな穴が向かい合う位置に空いている。

極板Ⅰの穴の位置を原点として極板と平行に、図中で右向きを正として x 軸をとり、極板と垂直に図中で上向きを正として y 軸をとる。また、 xy 平面に垂直で紙面奥から手前に向かう向きに z 軸をとる。 $y > 0$ の領域に一樣な磁場がかけられていて、この磁場の磁束密度の大きさ B は変えることができる。また、荷電粒子源は y 軸上に配置され、 $y = -d$ にある極板Ⅱの穴から電荷 e ($e > 0$) の荷電粒子を極板間に向けて初速度 0 (ゼロ) で放出する。



x 軸上の点 $(x, y) = (L, 0)$ には小さな検出器が設置されており、荷電粒子が $y > 0$ の領域に進入してから検出器で検出されるまでにかかった時間を測定することができるとする。

重力は無視できるとして以下の問いに答えよ。

[A] まず、スイッチを閉じたままにして検出器で荷電粒子を検出する。この荷電粒子の質量を m とする。磁束密度の大きさ B を $B=0$ から徐々に大きくしていくと、 $B=B_1$ の時に初めて検出器で荷電粒子が検出された。

問1 $y > 0$ の領域に進入する瞬間の荷電粒子の運動量の大きさを e 、 m 、 V を用いて表せ。

問2 荷電粒子が極板Ⅱから極板Ⅰに達するまでにかかる時間を d 、 e 、 m 、 V を用いて表せ。

問3 磁束密度の大きさ B_1 を L 、 e 、 m 、 V を用いて表せ。また、この磁場の向きを答えよ。

問4 荷電粒子の x 座標が $x=0.25L$ のときに荷電粒子が受ける力の x 成分と y 成分を e 、 V 、 L を用いて表せ。

問5 荷電粒子が $y > 0$ の領域に進入してから検出器で検出されるまでにかかる時間を L 、 e 、 m 、 V を用いて表せ。

物 理 (その4)

[B] 次に、電荷は e ($e > 0$) で質量が不明な荷電粒子を放出する荷電粒子源を用いて、磁束密度の大きさを B_1 のまま変えずに観測したところ、検出器で荷電粒子は検出できなかった。

そこで、スイッチを閉じている時間の長さを調節し、0 (ゼロ) から徐々に長くして測定を繰り返してみることにした。その結果、スイッチを閉じている時間の長さを Δt にした時に検出器で初めて荷電粒子が検出された。ただし、スイッチを閉じている間は極板間の電位差が V になり、一方、スイッチを開いている間は極板間の電位差が 0 (ゼロ) になるとする。また、スイッチの開閉によって生じる電位差の変化は瞬時に起きるとする。

問6 検出された荷電粒子が $y > 0$ の領域に進入した瞬間における、荷電粒子の運動量の大きさを Δt 、 d 、 e 、 V を用いて表せ。

荷電粒子が $y > 0$ の領域に進入してから検出器で検出されるまでにかかる時間を測定すると T であった。

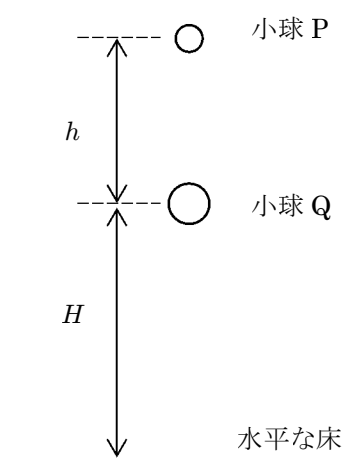
問7 荷電粒子の質量を Δt 、 d 、 e 、 V 、 L 、 T を用いて表せ。

物 理 (その5)

第4問

図のように、質量 M の小球 Q が床から高さ H にあり、さらにその鉛直上方 h (ただし、 $h < H$) の位置に質量 m の小球 P がある。小球 P と小球 Q は同じ鉛直線上を運動するものとし、空気抵抗は無視できるとする。

小球 P と小球 Q 、および小球 Q と床との反発係数 (はねかえり係数) を e ($0 < e \leq 1$) とし、重力加速度の大きさを g とする。



小球 P と小球 Q を初速度ゼロで同時に落下させる。

問1 小球 Q が床に達するまでにかかる時間を求めよ。

問2 小球 Q が床ではねかえった直後の速さを求めよ。

問3 小球 Q が床に衝突した瞬間における、小球 P の床からの高さを求めよ。

小球 Q が床ではねかえった後、小球 Q が再び床につく前に小球 P と空中で衝突した。このような小球 P と小球 Q の空中衝突が起きるのは、反発係数 e の値がある範囲にある場合に限られる。この範囲を以下の問4～問6の手順で求めてみよう。

問4 小球 Q が床に衝突してはねかえってから小球 P と小球 Q が衝突するまでにかかる時間を求めよ。

問5 小球 P と小球 Q が衝突する位置 (床からの高さ) を求めよ。

問6 小球 Q が最初に床ではねかえった後、再び床につく前に小球 P と空中で衝突する場合に、反発係数 e が満たすべき範囲を H 、 h を用いて表せ。

以下において、問6の条件を満たすものとする。

問7 小球 P と小球 Q が空中で衝突する直前の速さを各々求め、 H 、 h 、 g 、 e を用いて表せ。

最初の距離 h が十分に小さい ($h \rightarrow 0$ の極限) 場合について以下の問いに答えよ。

問8 小球 P と小球 Q が空中で衝突した直後の速さを各々求め、 H 、 M 、 m 、 g 、 e を用いて表せ。

問9 小球 P が達する床からの最高点の高さ $Y_{\max}$ を H 、 M 、 m 、 e を用いて表せ。

問10 質量の比を $x = \frac{M}{m}$ とおいて、 $e = 1$ の場合に対して、横軸を x にとり $0 \leq x \leq 3$ の範囲で縦軸を

小球 P が達する最高点の高さ $Y_{\max}$ としてグラフを描け。