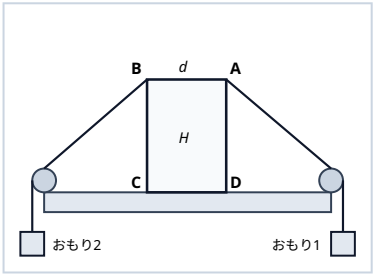
物　　理

（2科目 120分 ／ 物理目安 60分・配点 100点）

第1問　（力学：剛体のつり合いと転倒条件）



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 の密度が一様な直方体 ABCD を置く。点 A にひも1をつけて滑車1にかけ，質量 m_1 のおもり1を鉛直につり下げる。点 B にひも2をつけて滑車2にかけ，質量 m_2（$m_2 > m_1$）のおもり2を鉛直につり下げる。ひも1，ひも2が**水平方向となす角度**を各々 α_1，α_2（$0 < \alpha_2 < \alpha_1 < 90°$），直方体の質量を M，重力加速度の大きさを g 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。

問4　おもり2をより質量の大きなおもり3に付け替えて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。m_{th} を求めよ。

第2問　（波動：ニュートンリングと凹凸レンズの干渉）

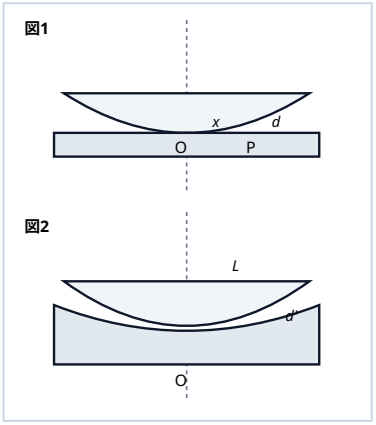


図1のように，平面ガラスの上に球面半径が R の平凸レンズの凸面を下にして水平に置く。上方からレンズの平面に垂直に波長 λ の単色光をあて，上方から反射光を観測する。接点を点 O とし，中心軸から距離 x の点 P での空気の層の厚さを d とする。ガラスとレンズの屈折率は共に n であり，空気の屈折率を 1 とする。また d は R に比べて十分に小さいとし，必要ならば $|a| \ll 1$ のときに成り立つ近似式 $(1+a)^k \approx 1 + ka$ を用いてよい。

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（$m = 1, 2, 3, \cdots$）の**暗環**（点 O の中心暗斑は含めない）ができるとき，x を R，λ，m を用いて表せ。

問3　上方からの反射光ではなく，**下方からの透過光**を観測するとき，点 O の近くは明るいか暗いか。

問4　平面ガラスとレンズの間を屈折率 n_2（$1 < n_2 < n$）の透明な液体で満たして上方から反射光を観測すると，明環の位置はどのように変化するか簡単に述べよ。

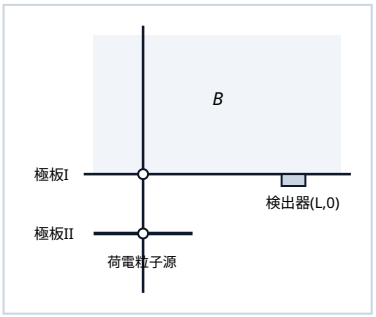
平面ガラスの代わりに，球面半径 R_0 の平凹レンズを凹面を上にして水平に置き，その上に球面半径 R の平凸レンズをのせる（図2）。R は R_0 に近いが少しだけ小さい（$R < R_0$）とし，両レンズの屈折率を共に n とする。上方から波長 λ の単色光をあてて反射光を観測したところ，点 O から距離 L より内側に**明環が2つだけ**現れ，中心から3番目の明環は観測されなかった。

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の比 $\dfrac{R}{R_0}$ の範囲を求め，R_0，λ，L を用いて表せ：（解答欄）［　　］$< \dfrac{R}{R_0} <$［　　］

問7　$R_0 = 1.2$ m，$L = 6.0$ cm，$\lambda = 600$ 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。

第3問　（電磁気：電場加速と磁場偏向による質量分析）



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 I の穴を原点 $(0, 0)$ として極板と平行に右向きに x 軸，上向きに y 軸，紙面奥から手前に向かう向きに z 軸をとる。$y > 0$ の領域に一様な磁場（磁束密度 B）がかけられており，$y = -d$ にある極板 II の穴から正電荷を帯びた荷電粒子を初速度 0 で放出する。x 軸上の点 $(L, 0)$ には小さな検出器が設置されている。重力は無視できるものとする。

［A］ スイッチを閉じたままにして電荷 e（$e > 0$），質量 m の荷電粒子を放出し，$B = B_1$ の時に初めて検出器で検出された。

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 $\boldsymbol{x = 0.50L}$ 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。

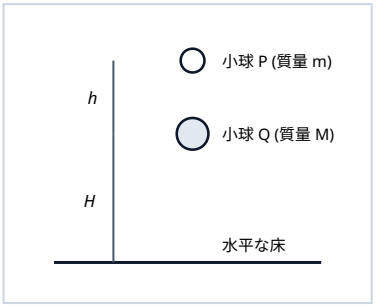
問5　荷電粒子が $y > 0$ の領域に進入してから検出器で検出されるまでにかかる時間を L，e，m，V を用いて表せ。

［B］ 次に，**電荷は $2e$** で質量が不明な荷電粒子を放出する粒子源を用いて，磁束密度を B_1 のまま変えずに，スイッチを閉じている時間の長さを 0 から徐々に長くしたところ，時間を Δt にした時に初めて検出器で検出された。ただし，スイッチを開いている間は極板間の電位差が 0 になるものとする。

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運動量の大きさを Δt，d，e，V を用いて表せ。

問7　$y > 0$ に進入してから検出されるまでの時間を測定すると T であった。荷電粒子の質量を Δt，d，e，V，L，T を用いて表せ。

第4問　（力学：2球の自由落下と床反発・空中衝突）



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（$h < H$）の位置に質量 m の小球 P がある。両球は同じ鉛直線上を運動し，小球 P と Q，および小球 Q と床との反発係数を e（$0 < e \leq 1$），重力加速度の大きさを g とする。両球を初速度 0 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。

問4　小球 Q が床ではねかえってから小球 P と Q が空中で衝突するまでにかかる時間を求めよ。

問5　小球 P と Q が衝突する位置（床からの高さ）を求めよ。

問6　小球 Q が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。

問7　最初の距離 h が十分に小さい（$h \to 0$ の極限）場合について，空中で衝突する直前の P と Q の速さを各々 H，g，e を用いて表せ。

問8　$h \to 0$ の極限において，空中で衝突した直後の P と Q の速さを各々 H，M，m，g，e を用いて表せ。

問9　$h \to 0$ の極限において，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 $x = \dfrac{M}{m}$ とおいて，$\boldsymbol{e = \dfrac{1}{2}}$ の場合に対して，衝突直後に小球 P が上向きに跳ね返るための x の条件を求め，また $x \to \infty$ の極限において小球 P が達する最高点の高さ $Y_{\max}$ を H を用いて表せ。