物　　理

1 図1に示す斜面と水平面に沿った物体の運動に関して以下の問いに答えよ。ただし，斜面1および斜面2は水平面とそれぞれ θ_1，θ_2 の角度をなし，斜面1と水平面はなめらかにつながっている。重力加速度を g とする。結果だけでなく考え方および計算の過程も記せ。

(1) 質量がそれぞれ M と m の小物体AとBを質量の無視できる糸で結び，斜面1上に置き，Aに取り付けたばね定数 k のばねを通して壁に固定したところ，AとBは斜面1上に静止した。この時の自然長から測ったばねの伸びの長さを l とする。物体A，Bと斜面1の間の静止摩擦係数がともに μ であるとして，l のとりうる最大値 l_L および最小値 l_S を μ，k，M，m，g，θ_1 を用いて表せ。ただし，$\tan\theta_1 > \mu$ とする。

(2) その後斜面1をなめらかな斜面にとりかえ，AとBを斜面1上に静止させた後，それらの間の糸を切ると，AもBも運動を開始した。A，Bの運動に関する以下の問いに答えよ。ただし，AおよびBの大きさは無視してよいものとする。

(a) 最初の位置から水平面の端Pに至る面は，水平面上の長さ d の一区間を除いてなめらかであるとする。この区間における面と物体Bの間の動摩擦係数を μ'，水平面から測った物体Bの最初の高さを h として，Pを通過するときのBの速さ v_P を，h，μ'，g，d を用いて表せ。

(b) 物体BはPから空中に飛び出し，飛び出してから時間 T 後に斜面2上の地点Qに落下した。この間風が吹き，物体Bには，図2に示すように，重力の他に大きさ f の力が水平面と θ_3 $\left(\theta_2 \leqq \theta_3 < \dfrac{\pi}{2}\right)$ の角度をなす方向から右下に向けてはたらき続けた。T を v_P，g，θ_2，θ_3，f，m を用いて表せ。

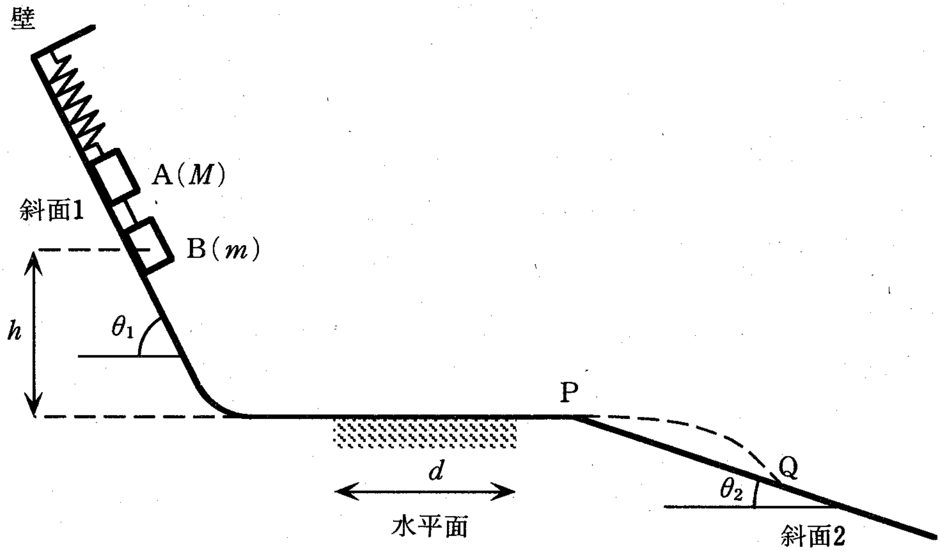


図 1

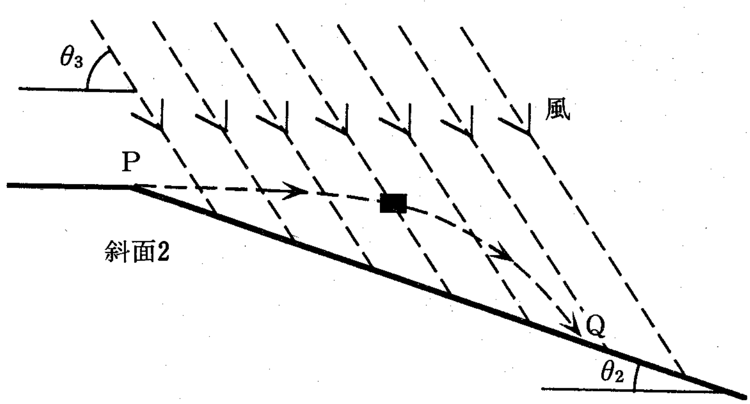


図 2

(c) 重力だけが働く場合に比べて，飛行時間 T が長くなるか短くなるか，理由を付けて答えよ。

(d) 糸が切れたあと物体Aは斜面1に沿って単振動をする。ばねが一番短くなった時のばねの伸びの長さを l_1 とするとき，l_1 を M，m，k，g，θ_1 を用いて表せ。ただし，M は m より大きいとする。

(3) 次に，斜面に沿って落下する物体Bを均一の物質でできた半径 R，質量 m の球状の物体にかえて，なめらかな面に沿って落下する場合と，摩擦がある面に沿って落下する場合を比較する。

(a) 斜面1が粗(あら)く，球が問(1)で考えたばねの長さ l_S で止まっている状態において，球に働いている全ての力を答案紙裏面の図中に書き込め。その際，それぞれの力について，作用点を黒丸，その方向を作用点を起点とする矢印で示し，例えば「遠心力」などの，名前を付けること。

(b) 斜面1が粗い面である場合と，なめらかな面である場合に球が落下する様子の違いを簡単に述べよ。ただし，説明文には，摩擦，重心，力のモーメントという言葉を入れること。

2 図に示すように，薄い金属箔（はく）で作られた幅 W，奥行 D，高さ L の中空の直方体の箱1と箱2が距離 d だけ離して平行に置いてある。箱1は直接接地され，箱2はスイッチと電流計Aを通して接地されている。箱1の下面と上面それぞれの中央には小さな孔（あな）OとPがあり，孔Oの下に電子銃（電子の発生装置）が取り付けられている。

電子銃から発射された電子を，孔OとPを通過させて，箱2に衝突させたい。図のように箱1の下面中央（孔Oの中心）を原点とする x，y，z 軸をとる。以下の問いに答えよ。ただし，結果だけでなく考え方および計算の過程も記せ。なお，電子の電荷を $-e$（$e>0$），質量を m とし，電子の運動に対する重力の影響は無視してよい。また，箱1や箱2に衝突した電子は完全に吸収され，その際，余分な電子の発生はないものとする。

(1) 図のスイッチを閉じた後，電子銃を動作させても，電流計Aの針は振れず，電子は箱2に衝突していないことがわかった。原因を調べたところ，電子銃が誤って傾いて取り付けられており，y-z 面内で z 軸から角度 θ（$0<\theta<\frac{\pi}{2}$）の方向に，速さ v_0 で電子が孔Oから箱1の中に発射されていた。

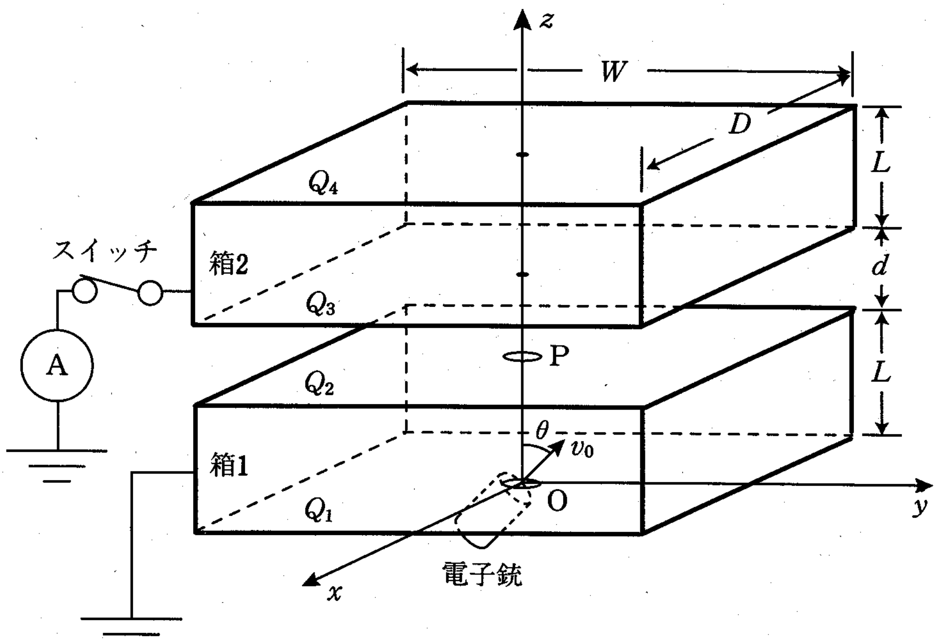
x，y，z のいずれか1成分のみを持つ一様で時間的に変化しない磁場を箱1の内部にかけることにより，電子が孔Pを通るようになる。いくつかの方法があるが，それらすべての場合について，磁場をかける方向（x，y，z）とその向き（正，負）を示し（例えば，x 軸正方向），そのときの磁束密度の大きさ B を v_0，θ，m，e，L の中の必要なものを用いて表せ。なお，幅 W と奥行 D は十分に大きく，電子は箱1の側面に衝突しないものとする。また，電子銃や孔O，Pによる磁場の乱れは考慮しなくてもよい。

(2) 問(1)の方法で孔 P を通過するようになった電子の速度の z 成分 v_z を実験的に決めることを考える。電子銃を動作させながら，図のスイッチを開いてしばらくすると，電子は箱 2 に衝突しなくなった。つぎに，電子銃からの電子の発生を止めて，箱 2 上の総電荷を計測したところ $-q$ $(q > 0)$ であった。電子が箱 2 に衝突しなくなった状態に関する以下の問いに答えよ。ただし，電子が箱 1 と箱 2 のすきまから外に出ることによって箱 2 と衝突しなくなる可能性は考えなくてよい。なお，問(1)で箱 1 の内部にかけた磁場はその外部には影響を与えないものとする。

(a) 箱 1 と箱 2 には，図に示すように，下面および上面にそれぞれ Q_1，Q_2，Q_3，Q_4 の電荷が面内に一様に分布し，それらの側面には電荷は分布しないものとする。このとき，箱 1 と箱 2 の内部に作られる電場の大きさ E_1 と E_2 を，Q_1，Q_2，Q_3，Q_4，D，W および真空の誘電率 ε_0 を用いて表せ。ただし，面積 S の金属箔平板に一様に分布した電荷 Q によりその両側に作られる電場は，大きさが $\dfrac{1}{2\,\varepsilon_0}\dfrac{|Q|}{S}$，方向が，$Q > 0$ の場合には金属箔平板から垂直に離れる向き，$Q < 0$ の場合には垂直に近づく向きであることを用いよ。

(b) 静電しゃへい効果を考慮して Q_1，Q_2，Q_3，Q_4 を q を用いて表せ。

(c) 電子が孔 P を通過するときの速度の z 成分 v_z を，q，d，m，e，ε_0，D，W の中から必要なものを用いて表せ。



z
W
D
L
d
L
Q_4
Q_3
Q_2
Q_1
スイッチ
箱2
箱1
A
P
θ
v_0
O
y
x
電子銃

3 レーザー光は，波長λが単一で，位相のそろった指向性の良い光である。屈折率 n （$n > 1.0$），厚さ d のガラス板にレーザー光を入射する場合に起こる光の現象について考える。ガラス板は空気中にあり，空気の屈折率は1.0とする。以下の問いに答えよ。ただし，結果だけでなく考え方および計算の過程も記せ。

(1) 図1に示すように，ガラス板にレーザー光を入射する場合を考える。A点にレーザー光を入射すると，ガラス表面で一部が反射し，残りは屈折しガラス中に入る。入射角を θ_0，屈折角を θ_1 とすると θ_0 と θ_1 は，屈折の法則 $\dfrac{\sin\theta_0}{\sin\theta_1} = n$ を満たす。ガラス中に入ったレーザー光は，ガラス板の表面上の点 B_i （$i = 1, 2, \cdots$）で，反射と空気中への透過をくり返す。入射角 θ_0 を小さくしていくとある角度 θ_c で点 B_1 での透過光が消える。そのときの θ_c と n の間の関係式を求めよ。

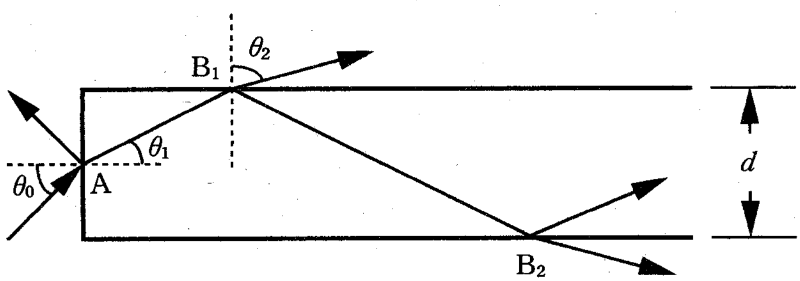


図1

(2) 図 2 に示すように，ガラス板の端に波長 λ のレーザー光を入射すると，距離 L 離れたスクリーン上に間隔 x の干渉じまが観測される。この干渉じまを，ガラス板の端点 C，D の 2 点で回折された光の干渉によるものと考えて考察する。

(a) 図 3 に示すように，点 C，D を通る 2 つの光の経路 ECG および FIDH を比較する。この 2 つの光路差は，

$$d \times \left| \sin\theta_4 - \sqrt{n^2 - \cos^2\theta_3} \right|$$

であることを示せ。ここで，$|a|$ は a の絶対値を示す。さらに，回折光が強めあう条件を n，d，λ，θ_3，θ_4，m（$m = 0, 1, 2, \cdots$）を用いて記せ。ここで，入射光の経路 EC と FI は平行であり，L は d に比べて十分大きいので回折光の経路 CG と DH も平行であると考えてよい。

(b) 干渉じまは，レーザー光の進行方向 θ_3 に対して非常に小さな角度（$\theta = |\theta_3 - \theta_4| \fallingdotseq 0$）で観測される。このことを考慮して，

$$\lambda = 6.3 \times 10^{-7}\,\text{m},\ L = 1.0\,\text{m},\ d = 1.0 \times 10^{-3}\,\text{m},\ \theta_3 = \frac{\pi}{4}$$

のとき，干渉じまの間隔 x を有効数字 2 桁（けた）で求めよ。さらに，ガラス板の傾き θ_3 を大きくした場合，干渉じまの間隔はどのように変化するか。30 字程度で述べよ。

ここで，$\theta \fallingdotseq 0$ での近似式，$\sin\theta \fallingdotseq \theta$，$\cos\theta \fallingdotseq 1$，および三角関数の加法定理，$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$，さらに，$\sqrt{2} = 1.4$ を用いてよい。

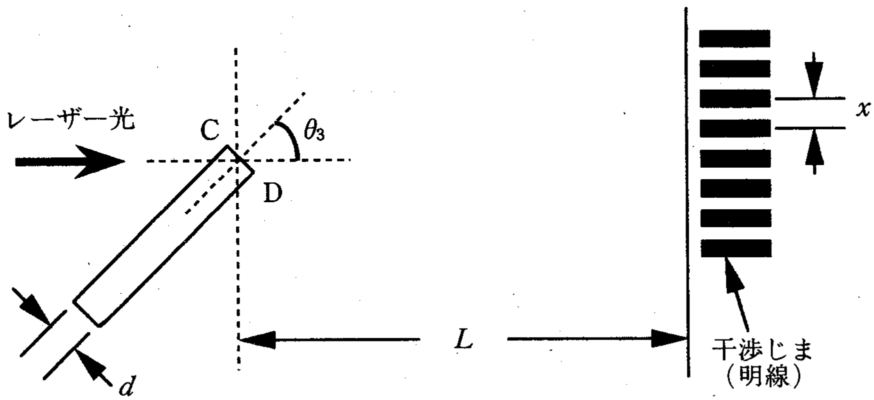


図 2

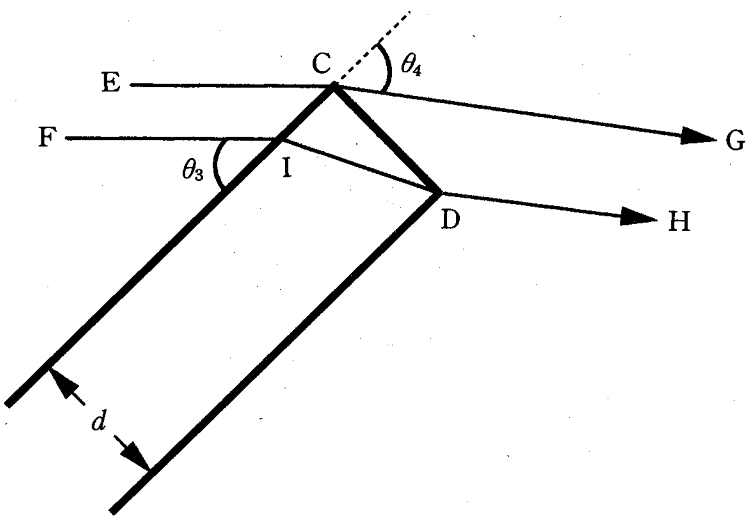


図 3