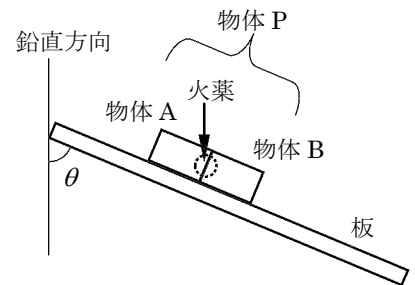


物 理 (その1)

第1問

右図のように、質量 m_A の物体 A と質量 m_B の物体 B をつないで作られた物体 P を表面の粗い板の上に置いて、物体 A が上側になるように板を傾ける。板と鉛直方向との間の角度 θ は $0^\circ < \theta \leq 90^\circ$ の範囲で任意の値に設定することが出来るものとし、板には十分な長さがあるものとする。



物体 A と B を接合した部分には火薬がつめられており、火薬が爆発すると物体 P が瞬間的に物体 A と物体 B に分裂するようになっている。爆発の勢いはすべて板と平行な向きに生じ、物体 A と物体 B にのみ影響を与えるものとする。また、この火薬の質量は無視できるものとする。

板と物体 P (物体 A と B) の間の静止摩擦係数を μ 、動摩擦係数を μ' 、重力加速度の大きさを g として以下の問いに答えよ。

問1 角度 θ を 90° からゆっくり小さくしていったところ、 θ が θ_c より小さくなると物体 P がすべり始めた。 θ_c と μ との関係を示す式で表せ。

次に、角度 θ を θ_1 ($\theta_1 < \theta_c$) にして、板の上に置いた物体 P から静かに手を離すと、物体 P はすべり下り始める。

問2 物体 P の加速度の大きさを求めよ。

手を離れた瞬間の時刻を 0 として、時刻 t_0 に火薬が爆発し物体 P が物体 A と B に分裂した。このとき、分裂した直後の物体 A の速さが 0 (ゼロ) であった。

問3 物体 A が爆発から受けた力積を求めよ。分裂前の速度の向きを正とする。

問4 分裂した直後の物体 B の速さを求めよ。

問5 時刻 t ($> t_0$) での物体 A と物体 B の速さを求めよ。

問6 物体 P が物体 A と B に分裂する際に、爆発によって物体 A と B が受けた仕事の和を求めよ。

つぎに、角度 θ を θ_2 ($< \theta_1$) にして、最初と同じ物体 P (A と B をつないだ物体) を置いて静かに手を離すと、物体 P はすべり下り始める。その後、ある時刻に火薬が爆発し物体 A と B に分裂する。火薬を爆発させる時刻を調節することによって、分裂した直後の物体 A の速さを 0 (ゼロ) にしたい。ただし、物体 A が受ける力積の大きさは問3と同じであるとする。

問7 火薬を爆発させる時刻をいつにすればよいか。この時刻を求めよ。

物 理 (その2)

第2問

- [A] 図1のように、絶対屈折率が各々 n_1 、 n_2 、 n_3 ($n_1 < n_3 < n_2$) の媒質1、媒質2、媒質3が層状に重なっていて、境界面は互いに平行になっている。レーザー光が媒質1から媒質2に入射するときの入射角と屈折角をそれぞれ θ_1 、 θ_2 、媒質2から媒質3に入射するときの屈折角を θ_3 とする。

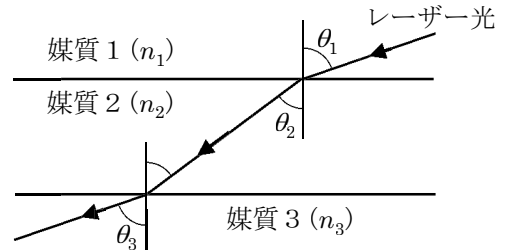


図1

- 問1 $\sin\theta_2$ を n_1 、 n_2 、 θ_1 で表せ。
 問2 θ_1 を変えても $\sin\theta_3$ はある値以上にはならない。
 この $\sin\theta_3$ の上限値を n_1 、 n_3 を用いて表せ。

以下の問において、空気とガラスの絶対屈折率をそれぞれ n_A 、 n_G ($n_A < n_G$) とし、ガラス板は平行平面ガラスで、十分な広さがあり、側面は上面（下面）と垂直になっているとする。

- [B] 空気中からガラス板の側面にレーザー光を当てる場合を考える。このとき、ガラス板の上面と側面に垂直な平面（紙面に平行な平面）に沿ってレーザー光を入射させる（図2）。側面への入射角を θ_{in} とする。□(ア)～□(ウ) にあてはまる数値または式を答えよ。

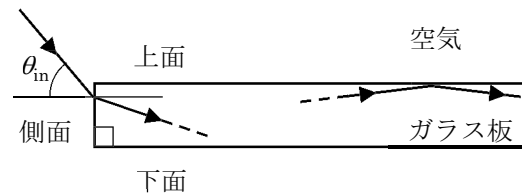


図2

- 問3 θ_{in} がある範囲内にあるとき、ガラス板の側面に入射したレーザー光がガラス板の上面や下面から出ていくことなく反射を繰り返してガラス板の中を進む。この現象が生じる $\sin\theta_{in}$ の範囲は、

- (i) $n_G < \square(\text{ア}) \times n_A$ のとき、 $0 \leq \sin\theta_{in} \leq \square(\text{イ})$
 (ii) $n_G \geq \square(\text{ア}) \times n_A$ のとき、 $0 \leq \sin\theta_{in} < \square(\text{ウ})$
 である。

- [C] 空気中からガラス板の上面にレーザー光を当て、ガラス板にレーザー光を入射させる（図3）。上面への入射角を θ_{in} とする。

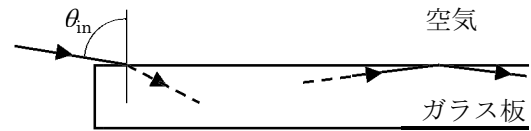


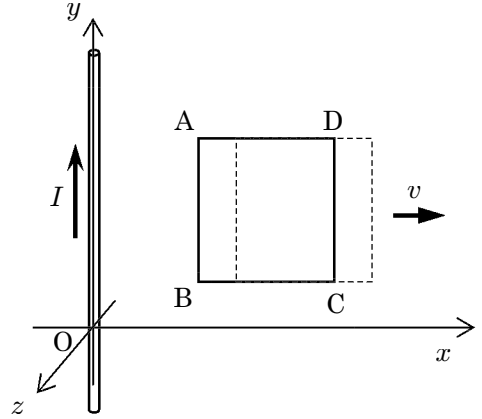
図3

- 問4 ガラス板の上面からガラス板へ入射させた場合、 θ_{in} の大きさに関係なく前問と同じ現象（反射を繰り返してガラス板の中を進み続ける現象）を起こすことはできない。この理由をわかりやすく説明せよ。

物 理 (その3)

第3問

真空中に図のように座標軸をとり、 y 軸上に無限に長い直線導線をおく。この直線導線には電流 I (これ以降、直線電流という) が y 軸の正の向きに流れているとする。図中の点 O は座標原点を表す。直線導線を含む xy 平面上に一辺の長さが L の正方形コイル(右図の実線 $ABCD$)をおく。コイルは単位長さ当たり ρ の電気抵抗をもつ素材でできている。コイルが動く際には、辺 AB が y 軸と平行を保ったまま、 xy 平面上を x 軸と平行に動くものとする。また、コイルに流れる電流がつくる磁場は無視できるものとし、真空の透磁率を μ_0 とする。



直線電流 I が距離 r 離れた点につくる磁場の強さは $\frac{I}{2\pi r}$ で与えられる。

問1 辺 AB の位置が $x=x_0$ ($x_0>0$) のとき、直線電流が辺 AB 上につくる磁束密度の大きさと向き、および、辺 CD 上につくる磁束密度の大きさと向きを答えよ。

ただし、磁束密度の向きについては、つぎの選択肢 (a)~(f) から選び記号で解答すること。

- (a) x 軸正の向き (b) y 軸正の向き (c) z 軸正の向き (d) x 軸負の向き (e) y 軸負の向き (f) z 軸負の向き

つぎに、コイルを x 軸正の方向に外力を加えて一定の速さ v で動かす場合を考える。

時刻 t にコイルの辺 AB の位置が $x=x_0$ ($x_0>0$) にあり、微小時間 Δt 後に x 軸正の方向に移動したとする(図中の破線)。

問2 微小時間 Δt の間に辺 AB が通過する領域を貫く磁束 Φ_{AB} および、 Δt の間に辺 CD が通過する領域を貫く磁束 Φ_{CD} を各々 $I, L, x_0, \mu_0, \rho, v, \Delta t$ の中から必要な記号を用いて表せ。

ただし、微小時間 Δt は十分に短く、コイルの移動距離も微小量であり、 Δt の2乗より高次の微小な項は無視できるとする。必要であれば近似式 $(1+A)^{-n} = 1 - nA$ ($|A| \ll 1$) を用いてよい。

問3 微小時間 Δt の間の移動によって生じる、コイルを貫く磁束の変化 $\Delta\Phi$ を $I, L, x_0, \mu_0, v, \Delta t$ を用いて表せ。このとき、コイルを貫く磁束が増加するなら正符号、減少するなら負符号をつけて解答すること。

問4 コイルに生じる誘導起電力の大きさを $I, L, x_0, \mu_0, \rho, v, \Delta t$ の中から必要な記号を用いて表せ。

問5 コイルに流れる誘導電流の大きさを $I, L, x_0, \mu_0, \rho, v, \Delta t$ の中から必要な記号を用いて表せ。

問6 コイルで生じる単位時間当たりのジュール熱を $I, L, x_0, \mu_0, \rho, v, \Delta t$ の中から必要な記号を用いて表せ。

問7 コイルの各辺 AB, BC, CD, DA が磁場から受ける力の向きとして正しいものを以下の選択肢(a)~(g)から選び、解答欄に記号で答えよ。

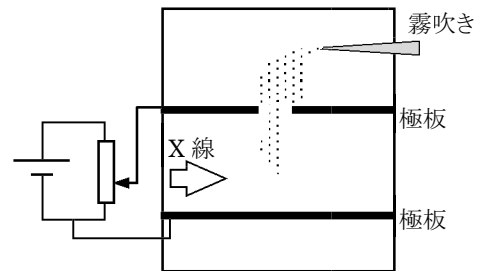
- (a) x 軸正の向き (b) y 軸正の向き (c) z 軸正の向き
(d) x 軸負の向き (e) y 軸負の向き (f) z 軸負の向き (g) 力の大きさがゼロなので決まらない

問8 コイルを一定の速さ v で動かすために必要な外力の大きさを求めよ。

物 理 (その4)

第4問

右図はミリカンの油滴実験装置の概略を示している。霧吹きから油を吹き込むと、細かい油滴となって空气中を落下する。油滴は重力の他に空気からの抵抗力を受ける。油滴は球形になっていて、空気から受ける抵抗力の大きさは krv で表されるとする。ここで、 k は定数、 r は油滴の半径、 v は油滴の速さである。また、油の密度を ρ 、空気の密度を ρ_0 とし、重力加速度の大きさを g とする。



まず、極板間の電位差をゼロにして油滴の落下を観測する。

- 問1 半径 r の油滴にはたらく浮力の大きさを答えよ。
- 問2 半径 r の油滴にはたらく重力の大きさを答えよ。
- 問3 落下途中の半径 r の油滴の加速度の大きさを求めよ。

油滴が落下し始めてから、しばらくすると、一定の速さ v_1 で落下するようになった。

- 問4 油滴の半径を k, ρ, ρ_0, g, v_1 を用いて表せ。

次に、極板間に強さ E の電場をかけると、極板間にある油滴は上昇し始め、しばらくすると、一定の速さ v_2 で上昇するようになった。この油滴の電荷を $-Q$ ($Q > 0$) とし、

- 問5 油滴にはたらく力のつり合いの式を $k, r, \rho, \rho_0, g, v_2, E, Q$ を用いて表せ。
- 問6 油滴の電荷の大きさ Q を k, r, v_1, v_2, E を用いて表せ。

油滴の半径を、直接、正確に測ることは難しいが、 v_1 を測定すれば、問4で導いた関係式から半径 r を求めることができるので、 v_1 と v_2 を測定することで油滴の電荷の大きさが得られる。

- 問7 複数の異なる油滴に対して測定を行って、油滴の電荷の大きさとして、下の表に示された5個の測定値を得た。この数値を用いて電気素量を有効数字3桁まで求めよ。求める際に、どのような仮説もしくは推測にもとづいて結果を導いたのか分かるように説明も含めて電気素量を求める過程を解答欄に記述すること。

測定値 ($\times 10^{-19}\text{C}$)
5.14
8.54
10.23
13.74
20.55