平成 25 年度
物理学科 AO 選抜 課題探求試験問題

物理学(100 点)
平成 25 年 2 月 2 日(土) 9:00-11:30

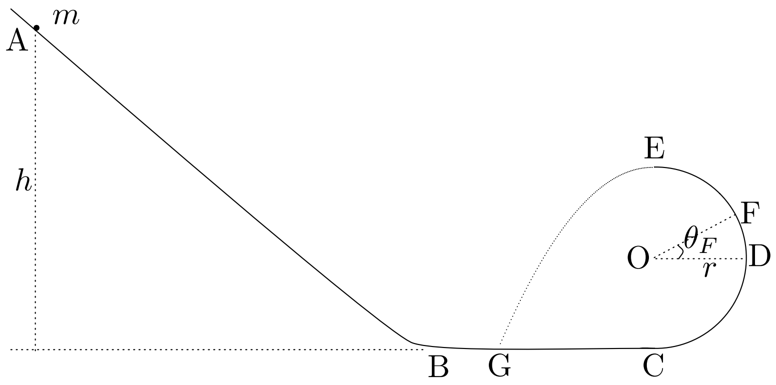
注意事項

1. 指示があるまでは、問題冊子並びに解答冊子を開かないこと。
2. 問題冊子 1 部、解答冊子 1 部が配布されていることを確認すること。
3. 「はじめ」の指示があったら、解答を始める前に、まず問題冊子に表紙 1 枚に続いて白紙 1 枚、その後に問題用紙が 7 枚、解答冊子に解答用紙が 7 枚あることを確認し、全ての解答用紙に受験番号と氏名を記入すること。
4. 解答は問題毎に所定の解答用紙に記入すること。解答に際しては最終的な答えだけでなく、その答えに至る道筋も丁寧に記入すること。解答用紙の裏を用いてもよい。
5. 「おわり」の指示があったら、直ちに鉛筆を置くこと。
6. 試験終了後、解答冊子は回収するが、問題冊子は持ち帰ってよい。

問題１（35 点）

1A

図のように、斜面と水平面、水平面と半円筒 (中心軸 O、半径 r、CE 間の距離 $2r$) が、それぞれ点 B と点 C で滑らかに接続されている。斜面上の高さ h の点 A から、質量 m で大きさの無視できる物体を静かに離した。斜面、水平面、半円筒の内面は滑らかで摩擦は無視できるものとし、重力加速度の大きさを g とする。以下の問いに答えよ。



(1) 物体が水平面上の点 B に来た時の速さ v_B を h, g を用いて表せ。

(2) 物体は水平面 BC を通り、さらに半円筒に入り、点 D(角 $\angle\mathrm{COD} = \pi/2$) を通り過ぎた。物体が DE 間のある点 F にある時に、物体の速さを v_F、物体が円筒面から受ける垂直抗力の大きさを N_F、角 $\angle\mathrm{DOF}$ を θ_F とし、この点での半径方向の力の釣り合いの方程式を書け。

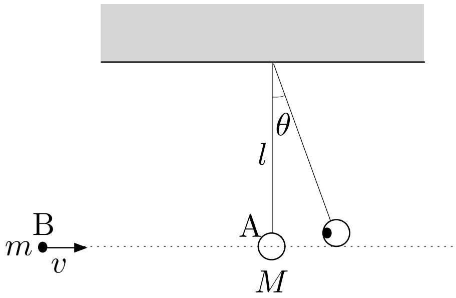
(3) 物体が半円筒を離れることなく点 F まで到達する条件を g, r, v_F, θ_F を用いて表せ。

(4) 物体が半円筒を離れることなく点 E まで到達するための高さ h が満たすべき条件を r を用いて表せ。

(5) 物体が点 E において (4) の条件を満たす最小の速さで離れ、水平面 BC 間のある点 G に落下したとする。この時、CG 間の長さを r を用いて表せ。

1B

図のように、天井から長さ l の糸で質量 M の物体 A がつり下げられている。この物体に速さ v で重量 m の別の物体 B を水平方向から衝突させたところ、一体となって移動を開始した。糸の質量と物体の大きさは無視できるものとし、重力加速度の大きさを g とする。以下の問いに答えよ。



(1) 衝突直後の 2 つの物体の速さ V を m, M, v で表せ。

(2) 2 つの物体が一体となったまま、鉛直面内を運動した。糸が鉛直下向き方向となす角を θ (反時計まわりを正とする) とし、その最大値を θ_0 とする。この時、衝突前の物体 B の速さ v を l, m, M, g, θ_0 を用いて表せ。

(3) 2 つの物体が一体となったまま移動し、糸の角度が θ となった点での、物体の運動方向に働く力の大きさを m, M, g, θ を用いて表せ。

(4) 水平方向の変位を右向きを正として x とする。θ が充分小さい時、一体となった物体の運動は水平方向の単振動と考えてよい。このとき、x 方向の加速度の大きさを a として、一体となった物体の水平方向の運動方程式を求めよ。ただし、θ が充分小さいので $\sin\theta = \theta$ としてよい。

(5) (4) の単振動の周期を求めよ。

問題２（３５点）
２Ａ

図 2-1 のように真空中に，1 辺の長さ a の正方形の極板 A と B からなる，極板間距離 d の平行板コンデンサーと，起電力 V の電源が導線で接続された回路がある。ここで，平行板コンデンサーは水平に設置されており，極板および導線の電気抵抗，電源の内部抵抗は無視できるものとする。また，平行板コンデンサーは，極板間にのみ一様な電場が生じるものとする。

このコンデンサーの両極板間にちょうど収まる，縦と横の長さが a，高さが d，比誘電率が ε_{r} の直方体の誘電体を，一定の外力を加えることにより，一定の速さ v で図のようにゆっくりと水平に挿入した。この誘電体は変形せず，水平方向に摩擦なくなめらかに動くものとする。

真空の誘電率を ε_0 として，以下の問いに答えよ。

(1) 誘電体を挿入する前の，コンデンサーの電気容量 C を答えよ。

以下の問いでは，答えに C を用いてもよい。

(2) 誘電体を挿入する前の，極板 A 上の電気量を求めよ。

(3) 誘電体を挿入している間について考える。短い経過時間 Δt の間に，誘電体が長さ $v\Delta t$ だけ挿入されたときの，コンデンサーの電気容量の変化を求めよ。

(4) 誘電体を挿入している間，回路に流れた電流を求めよ。符号は，電源から極板 A に電流が流れた場合を正とする。

(5) 誘電体を挿入する前と完全に挿入した後で，コンデンサーの静電エネルギーがどれだけ変化したか求めよ。符号は，静電エネルギーが増加した場合を正とする。

(6) 誘電体を挿入する前と完全に挿入した後で，極板 A 上の電気量がどれだけ変化したか求めよ。符号は，電気量が増加した場合を正とする。

(7) 誘電体を完全に挿入し終わるまでに，誘電体に加えた外力と電源がそれぞれ仕事をする。コンデンサーの静電エネルギーの変化とこれらの仕事との関係に着目し，誘電体に加えた外力を求めよ。符号は，誘電体を押す方向を正とする。

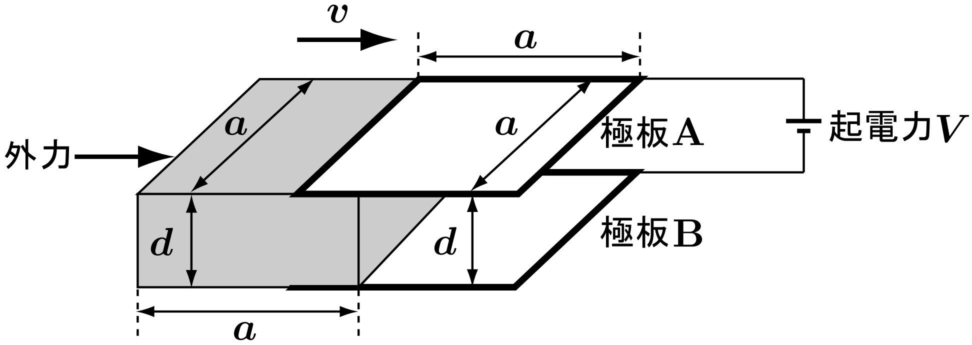


図 2-1

2 B

図 2-2 のように，真空中にある直交座標軸の z 軸上に無限に長い導線があり，z 軸の正の向きに電流 I が流れている。この直線電流がつくる磁場の強さ H は，電流 I に比例し，導線からの距離 r に反比例し，

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

となる。また，yz 座標面に 1 辺の長さが ℓ の正方形のコイル ABCD があり，外力を加えることにより，一定の速さ v で y 軸の正の方向に動いている。ただし，コイルの電気抵抗は R，辺 AB と辺 CD は z 軸と平行であり，コイルの自己誘導は無視できる。

真空の透磁率を μ_0，z 軸と辺 AB との距離を a として，以下の問いに答えよ。

(1) 電流 I が点 B 上に作る磁場の向きを答えよ。

(2) 短い経過時間 Δt の間の，コイルを垂直に貫く磁束の変化の大きさ $\Delta\Phi$ を求めることを考える。Δt が短いため，辺 AB は磁場の強さが $\dfrac{I}{2\pi a}$，辺 CD は磁場の強さが $\dfrac{I}{2\pi(a+\ell)}$ で与えられる一様な磁場の中を $v\Delta t$ 移動するとしてよい。このことを用いて $\Delta\Phi$ を求めよ。

(3) (2) の結果を用いて，コイルに生じる誘導起電力を求めよ。符号は，電流が A→B→C→D→A の向きに流れる場合を正とする。

(4) コイルを速さ v で動かすのに必要な外力の大きさ F と向きを求めよ。

(5) コイルを流れる電流の電力と，外力の仕事率 Fv が等しいことを示せ。

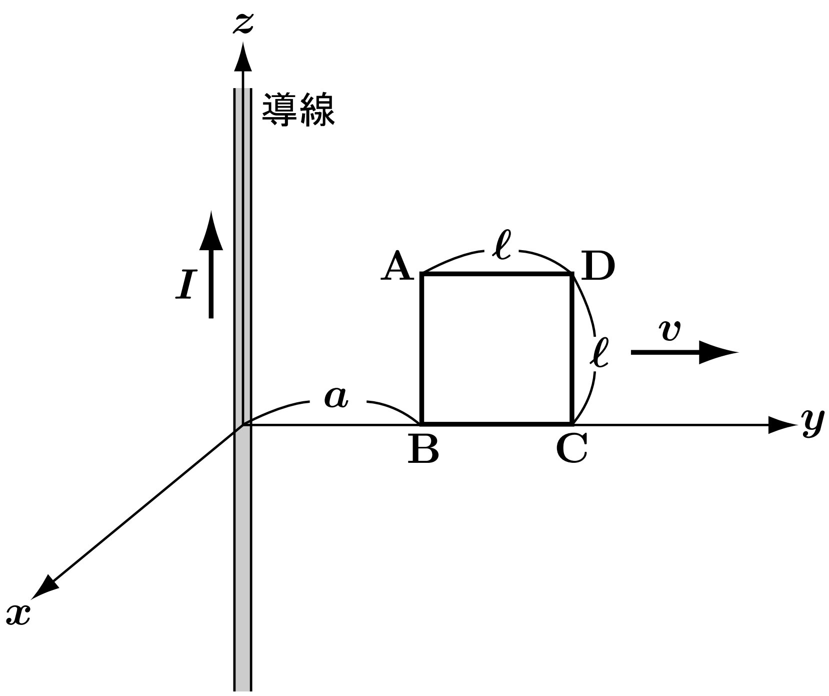


図 2-2

問題 3 (30 点)

3A

図 3-1(a)は媒質 1 を進んだ平面波の光が媒質 2 との境界面(点 A と B を含む面)で屈折し，媒質 2 を進むようすを示しており，反射波は省略してある。媒質 1，2 の絶対屈折率をそれぞれ n_1，n_2，媒質 1，2 中での光の速さをそれぞれ c_1，c_2 とする。また，境界面での入射角を θ_1，屈折角を θ_2 として，次の文章の空欄(ア)～(キ)を数式でうめよ。

平面波の波面が境界面に到達すると，素元波が発生し，媒質 2 へ広がる。媒質 1 中の波面 AP は点 A に近い方から次々に境界面に到達する。点 P の波面が点 B に到達したとき，媒質 2 中での屈折波の波面は QB となる。このとき，点 P の波面が点 B に到達するまでにかかった時間を t，点 P と B の距離を L_1，点 A と Q の距離を L_2 とする。L_1，L_2 を t を用いて表すと，

$L_1=$ (ア) ， $L_2=$ (イ)

となる。$\sin\theta_2/\sin\theta_1$ を c_1、c_2 を用いて表すと，

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}= \boxed{(ウ)}$$

となる。また，$\sin\theta_2/\sin\theta_1$ を絶対屈折率 n_1、n_2 を用いて表すと，次のようになる。

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}= \boxed{(エ)}$$

点 P の波面が点 B に到達したとき，媒質 2 中での屈折波の波面が QB となることを示そう。図 3-1(b)のように，波面 AP 上の任意の点 X が境界面上の点 C に到達するまでに要する時間を t_1、点 C が QB 上の点 Y に到達するまでに要する時間を t_2 とする。また，点 A と B の距離を R_B，点 A と C の距離を R_C とする。t_1，t_2 を t，R_B，R_C を用いて表すと，

$t_1=$ (オ) ， $t_2=$ (カ)

となり，

$t_1+t_2=$ (キ)

が得られる。以上のことから，屈折波の波面が QB になることが分かる。

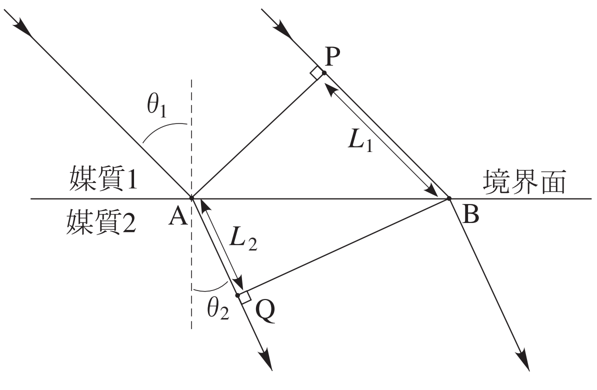


図3-1(a)

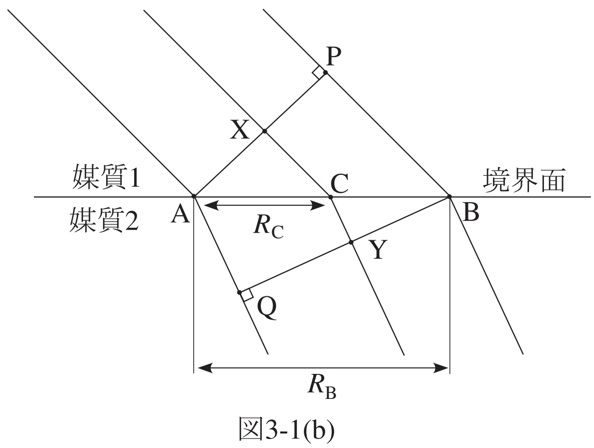


図3-1(b)

3B

図 3-2 は広くて深さが一様な水槽の水面を上方から見たようすを表している。水面上に距離 60 cm 離れて 2 つの波源 W_1，W_2 が置かれている。この 2 つの波源から同じ位相で同心円状に振動数が 10 Hz，波長が 10 cm の波が出ており，波の伝わる速さは一定とする。W_1 と W_2 の中点 M から 40 cm の距離に点 A をとる。また，W_1，W_2 からそれぞれ 55 cm，35cm 離れたところに点 B をとる。次の問に答えよ。

(1)波の速さ[cm/s]を求めよ。

(2)波源 W_1 から出た波が点 A に到達するのに要する時間[s]を求めよ。

(3)線分 W_1W_2 上に現れる定常波の節の数は何個か。

(4)波源 W_1，W_2 から出ている波は点 A で強め合う。その理由を答えよ。

(5)波源 W_1，W_2 において波の山が発生している瞬間に，点 B で観測される波は山か谷か。理由とともに答えよ。

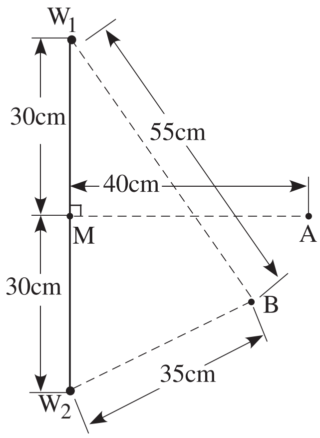


図 3-2

3C

図 3-3 のように, 1 mol の単原子理想気体の体積と圧力を外部との熱と仕事のやりとりを調節することにより, 1 サイクル変化(状態 A→状態 B→状態 C→状態 A)させた。状態 A では体積は V_0, 圧力は P_0, 状態 B では体積は V_0，圧力は $2P_0$，状態 C では体積は $2V_0$，圧力は P_0 である。状態 A→状態 B の過程では体積を一定に保ち圧力を変化，状態 B→状態 C の過程では圧力と体積の関係を直線的に変化，状態 C→状態 A の過程では圧力を一定に保ち体積を変化させた。気体定数を R として, 次の問に答えよ。

(1)状態 A における気体の温度 T_0 を求めよ。

(2)状態 B における温度 T_B，状態 C における気体の温度 T_C を，T_0 を用いて表せ。

(3)状態 A→状態 B，状態 B→状態 C，状態 C→状態 A のそれぞれの変化で，気体が外部から得た熱 Q_{AB}，Q_{BC}，Q_{CA} を，R，T_0 を用いて表せ。

(4) 1 サイクル(状態 A→状態 B→状態 C→状態 A)の変化をとおして気体が外部にした仕事 W を，R，T_0 を用いて表せ。ただし，気体が外部から仕事をされる場合を正とする。

(5)状態 B→状態 C の変化過程における気体の温度を T，体積を V とする。T と V の関係を表す式を，T，V，T_0，V_0 を用いて表せ。

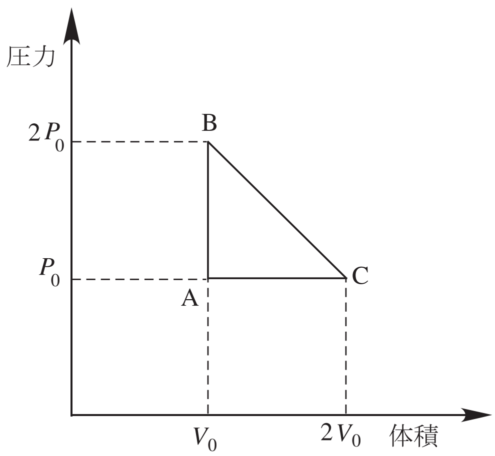


図 3-3