

2018 (H30) 年度 新潟大学 理系前期 入学試験 物理解説

1

理科 1 科目の受験者は90分， 2 科目の受験者は180分

[1]

< 解答 >

問 1

ボールには鉛直下向きに重力 mg が働くので，

$$\text{その } x \text{ 成分は } mg \sin 30^\circ = \frac{1}{2} mg \quad (\text{答}) , y \text{ 成分は } -mg \cos 30^\circ = -\frac{\sqrt{3}}{2} mg \quad (\text{答})$$

問 2

$$\text{加速度の } x \text{ 成分は } \frac{1}{2} g , y \text{ 成分は } -\frac{\sqrt{3}}{2} g \quad (\text{答})$$

問 3

初速の x 成分は 0 , y 成分は v_0 だから , 時刻 t におけるボールの位置

$$x = \frac{1}{4} gt^2 , y = v_0 t - \frac{\sqrt{3}}{4} gt^2 \quad (\text{答})$$

問 4

$$\text{斜面は } y=0 \text{ だから , } v_0 t - \frac{\sqrt{3}}{4} gt^2 = 0 \text{ として , } t = \frac{4v_0}{\sqrt{3}g}$$

$$\text{したがって , 最初にボールが斜面と衝突する時刻は } t = \frac{4v_0}{\sqrt{3}g} \quad (\text{答})$$

問 5

$$\text{衝突前の速度の } x \text{ 成分は } \frac{1}{2} gt , y \text{ 成分は } v_0 - \frac{\sqrt{3}}{2} gt \text{ だから , 衝突直前の時刻 } t = \frac{4v_0}{\sqrt{3}g} \text{ を使って ,}$$

$$\text{衝突直前の速度の } x \text{ 成分は } \frac{2v_0}{\sqrt{3}} , y \text{ 成分は } -v_0 \quad (\text{答})$$

ボールは斜面と弾性衝突をし , 斜面との間に摩擦はないので ,

$$\text{衝突直後の速度の } x \text{ 成分は直前と変化せず } \frac{2v_0}{\sqrt{3}}$$

$$y \text{ 成分は大きさが変わらず向きが反転するので } v_0 \quad (\text{答})$$

問 6

ボールは斜面との衝突のたびに , y の正方向に初速 v_0 , 加速度 $-\frac{\sqrt{3}}{2}g$ の運動を繰り返すから ,

$$N \text{ 回目に衝突する時刻は , 最初の衝突に要する時間の } N \text{ 倍だから } \frac{4v_0 N}{\sqrt{3}g} \quad (\text{答})$$

< 解説 >

斜面上で , 斜面垂直方向にボール投げをしたときに起きる現象に関する基本的な問題である。特段に複雑な現象設定ではないので , 教科書の「力と運動」の記載事項を理解していれば , 十分対応できよう。

問 1

重力は鉛直下方に働く。斜面は水平面に対して 30° 傾いている。

問2

重力の加速度の x 成分, y 成分を求める。

問3

x, y 方向について運動方程式を考える。それぞれの初速と加速度から, 時刻 t における (x, y) 位置を求める。

問4

斜面は $y=0$ の面であることを忘れないこと。

問5

速度の斜面垂直方向 (y 方向) 成分は弾性衝突により, 大きさは変わらず, 向きが反転する。斜面方向 (x 方向) 成分は, ボールと斜面との間に摩擦がないので, 衝突前後で変化することはない。

問6

ボールは衝突のたびに, 同じ運動を繰り返す。

[2]

< 解答 >

問1

$$\text{万有引力の法則により } F_a = \frac{GMm}{r_a^2} \quad (\text{答})$$

万有引力による位置エネルギーは無遠を0とし, 重力に抗してその位置から無限遠まで物体を運ぶために要する仕事だから $U_a = -G \frac{Mm}{r_a}$ (答)

問2

ケプラーの第2法則により $r_b v_b \doteq r_c v_c$, ここで $r_b < r_c$ だから $v_b > v_c$, $\therefore r_b v_b^2 > r_c v_c^2$ したがって正しいものはウ (答)

問3

$$\text{力学的エネルギー保存の法則により, } U_a + \frac{1}{2} m v_a^2 = U_b + \frac{1}{2} m v_b^2$$

$$v_a^2 - v_b^2 = \frac{2}{m} (U_b - U_a) = 2GM \left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b} \right) \quad (\text{答})$$

問4

$r_b < r_a < r_c$ かつケプラーの第2法則から, $r_a v_a \doteq r_b v_b \doteq r_c v_c$ だから, $v_c < v_a < v_b$ したがって小さい順に左から右へ並べると, v_c, v_a, v_b (答)

< 解説 >

問1

水星が太陽から無限遠にあるときの位置エネルギーを U_∞ , 水星を無限遠に運ぶまでの力学エネルギーを W とすれば, 力学的エネルギー保存の法則により $U_\infty = U_a + W$,

無限遠点を万有引力の位置エネルギーの基準点とすれば (すなわち $U_\infty = 0$),

$$U_a = -W = - \int_{r_a}^{\infty} \frac{GMm}{r^2} dr = -GMm \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_a}^{\infty} = -G \frac{Mm}{r_a}$$

問2

太陽の周囲を回る惑星の回転について、ケプラーの法則を想起する。
ケプラーの第2法則は教科書によって確認せよ。

問3

問題文の $v_a^2 - v_b^2$ から、力学的エネルギー保存の法則を想起したい。

問4

問2の問題文に P_b が近日点、 P_c が遠日点という説明があるので、問題文の「ただし、 r_a は…ものとする。」は蛇足である。

2

[1]

<解答>

問1

コンデンサーには電荷が溜まっていないので、抵抗2およびコンデンサーの両端の電圧（電位差）は0である。したがって、電源 - 抵抗1 - 抵抗2 からなる閉回路にキルヒホッフの法則を適用して、

$$I_1 R - V = 0, \therefore I_1 = \frac{V}{R} \quad (\text{答})$$

問2

コンデンサーが充電されたので、コンデンサーに流れる電流 $I_c = 0$ となり、抵抗1を流れる電流は一定となる。キルヒホッフの法則により $RI_1 + RI_2 = V$ 、また $I_1 = I_2$ だから、

$$\text{抵抗1を流れる電流は } I_1 = \frac{V}{2R} \quad (\text{答})$$

問3

コンデンサーの両端の電圧は $V_c = I_2 R = I_1 R = \frac{V}{2}$ だから、

$$\text{蓄えられた電気量は } Q = CV_c = \frac{CV}{2} \quad (\text{答})$$

$$\text{静電エネルギーは } \frac{QV_c}{2} = \frac{1}{2} \times \frac{CV}{2} \times \frac{V}{2} = \frac{CV^2}{8} \quad (\text{答})$$

問4

電気が溜まった容量 C のコンデンサーの両端にインダクタンス L のコイルを接続したとき、振動電流が流れ、その角振動数は $\omega = \frac{1}{\sqrt{CL}}$ 、周期は $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{CL}$ (答)

エネルギー保存の法則によりコンデンサーに蓄積されていた静電エネルギーは、回路の電気エネルギーに等しいから、 $\frac{CV^2}{8} = \frac{1}{2}CV_c^2 + \frac{1}{2}LI^2$

$$V_c = 0 \text{ のとき電流 } I \text{ は最大になるから、} \frac{CV^2}{8} = \frac{1}{2}LI_{max}^2 \text{ として、最大値は } I_{max} = \frac{V}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} \quad (\text{答})$$

問5

半周期の時間経過後、電流が0になったとき、コンデンサーの電荷が逆転して上極に $-Q$ 、下極

に Q となる。抵抗2の両端の電圧は、コンデンサーの両端の電圧に等しく、 $V_C = -\frac{V}{2}$ となる。

電源、抵抗1、抵抗2の閉回路についてキルヒホッフの法則により、 $I_1 R - \frac{V}{2} - V = 0$,

$$\therefore I_1 = \frac{3V}{2R} \quad (\text{答})$$

< 解説 >

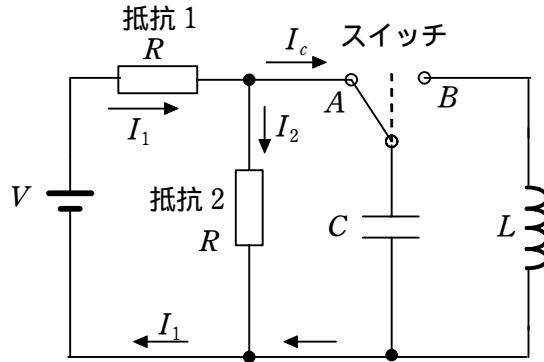


図1

問1

コンデンサーに電荷が溜まっていないということは、両端の電圧（電位差）が0ということである。スイッチをA側に閉じて、コンデンサーの両端を抵抗2の両端と接続した直後は、抵抗の両端を短絡したことに同じである。直後に抵抗1を流れた電流はコンデンサーに流れる。

問2

抵抗1を流れる電流はコンデンサーを充電するから、しばらく時間が経って、抵抗2の両端電圧によって決まる電荷がコンデンサーに溜まる。するとコンデンサーへは電流が流れなくなる。したがって、抵抗1、2に流れる電流は一定になる。

問3

コンデンサーに電流は流れなくなるから、抵抗1、2の直列接続回路の電流が流れる。抵抗2に流れる電流による抵抗の両端の電圧がコンデンサーの両端電圧となる。

問4

問題文に「周期は計算の過程を書かなくてもよい」とあることから、教科書記載のRLC直列回路の振動電流を思い出し（ $R=0$ とし、交流電源の代わりにコンデンサーの蓄積電気による電流を考える）、その角振動数と周期を記載する。

スイッチをBにしたとき回路は図2のようになる。初期にコンデンサーに電荷が溜まっていた場合に、振動電流が流れることを示してみよう。

電流はコンデンサーの電荷の時間当たりの減少だから、 $I = -\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -C \frac{\Delta V_C}{\Delta t}$

電流変化を妨げるようにコイルの両端に電圧が発生するから、 $V_L = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$

キルヒホッフの法則により、 $V_C + V_L = 0$ 、 $\therefore V_C = -V_L$ 、 $I = -C \frac{\Delta V_C}{\Delta t} = C \frac{\Delta V_L}{\Delta t} = C \frac{\Delta \left(-L \frac{\Delta I}{\Delta t} \right)}{\Delta t}$

したがって、 $I = -CL \frac{d^2 I}{dt^2}$ 、 $\therefore \frac{d^2 I}{dt^2} = \frac{-1}{CL} I$ 、ここで微小量 Δt の代わりに dt を用いて表現した。

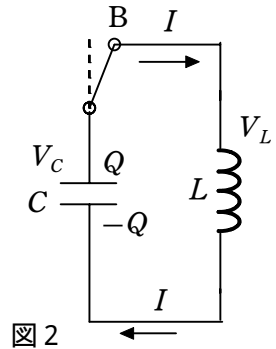
I を変位と考えると、 $\frac{d^2 I}{dt^2}$ を加速度と考えることができ、その大きさが変位に比例し、向きが逆だから、 I は単振動し、電荷 Q 、電圧 V_C も単振動すると考えることができる。

時刻 $t=0$ でコンデンサーに電荷 $Q_0 = CV_0 = \frac{CV}{2}$ が蓄えられていたとすれば、

$$Q = Q_0 \cos \omega t = \frac{CV}{2} \cos \omega t \text{ とおくことができ、}$$

$$I = -\frac{CV}{2} \omega \sin \omega t, \quad \frac{d^2 I}{dt^2} = \frac{CV}{2} \omega^3 \sin \omega t = \frac{V}{2L} \omega \sin \omega t,$$

$$\therefore \omega = \frac{1}{\sqrt{CL}}, \quad I = \frac{V}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \sin \omega t, \quad \text{電流の最大値は } \frac{V}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$



問 5

スイッチをA側へ閉じた直後、抵抗 2 の両端にコンデンサーの両端の電位 $V_C = -\frac{V}{2}$ が印加されることになる。したがって、電源 - 抵抗 1 - 抵抗 2 の閉回路にキルヒホッフの法則を適用すれば、抵抗 1 に流れる電流を求めることができる。

[2]

< 解答 >

問 1

紙面の表から裏 (答)

問 2

$$\text{磁束密度は } B = \mu_0 H \text{ だから、コイルを貫く磁束は } \pi a^2 B = \mu_0 \pi a^2 H = \frac{\mu_0 a^2 I}{2r} \quad (\text{答})$$

問 3

ファラディの電磁誘導の法則により、誘導起電力はコイルを貫く磁束の時間変化に等しい。

微小時間 Δt の間にコイルを貫く磁束は $\frac{\mu_0 a^2 I}{2r}$ から $\frac{\mu_0 a^2 I}{2(r+v\Delta t)}$ へ変化するから、

$$\text{磁束の時間変化は } \frac{\mu_0 a^2 I}{2\Delta t} \left(\frac{1}{r+v\Delta t} - \frac{1}{r} \right) = \frac{\mu_0 a^2 I}{2\Delta t} \left(\frac{1}{r} - \frac{v\Delta t}{r^2} - \frac{1}{r} \right) = -\frac{\mu_0 I a^2 v}{2r^2}$$

したがって、誘導起電力の大きさは $\frac{\mu_0 I a^2 v}{2r^2}$

問 4

$$\text{コイルの抵抗は } R \text{ だから、オームの法則により誘導電流は } \frac{\mu_0 I a^2 v}{2r^2 R} \quad (\text{答})$$

時計回り (答)

問 5

$$\text{電力は (電流)}^2 \times (\text{抵抗}) \text{ だから、} \left(\frac{\mu_0 I a^2 v}{2r^2 R} \right)^2 R = \frac{1}{R} \left(\frac{\mu_0 I a^2 v}{2r^2} \right)^2 \quad (\text{答})$$

問6

外力 F が単位時間にする仕事は Fv ，エネルギー保存の法則により $Fv = \frac{1}{R} \left(\frac{\mu_0 I a^2 v}{2r^2} \right)^2$

したがって， $F = \frac{v}{R} \left(\frac{\mu_0 I a^2}{2r^2} \right)^2$ (答)

< 解説 >

問1

導線Bの電流が作る磁場の向きは右ねじの法則により，紙面の表から裏へ向かう方向となる。

問2

磁束と磁場の関係を理解しておくこと。

問3

「誘導起電力の大きさは，コイルを貫く磁束の単位時間あたりの変化に比例する」とのファラデーの電磁誘導の法則を適用する。

問4

誘導電流はオームの法則によって決まる。

レンツの法則により，誘導起電力は磁束の増減を妨げる向きに発生する。

コイルは導線から遠ざかるので，コイルを貫く紙面の表から裏への磁束は減少する。したがって，誘導電流はその磁束を増加させるように流れる。紙面の表から裏へ磁束を発生させるには，電流は時計方向に流れる必要がある。

問5

仕事率とは単位時間にする仕事である。

起電力が送り出す単位時間当たりのエネルギーが電力で，

電力 = (電位差) × (単位時間あたりに送り出す電気量) = (電流 × 抵抗) × (電流)

問6

エネルギー保存の法則により，コイルが電力を発生するためには，外部から電力に相当する仕事をしなければならない。コイルは導線から遠ざかるのだから，コイルを貫く磁束は次第に減少する。

3

[1]

< 解答 >

問1

問題図1から，音源は x 軸正方向へ4 m/sの速さ，観測者Oは負方向へ2 m/sの速さで移動している。また，観測者Oは音源より負方向にいるので，音波は負方向へ伝わって観測される。

ドップラー効果により，観測者Oが観測する振動数は，

$$f' = \frac{-340 - (-2)}{-340 - 4} \times 86 = \frac{338}{344} \times 86 = 84.5 \text{ Hz} \quad (\text{答})$$

問2

反射した音波は，音源が反射板に関して線対称の位置にあるかのように伝わる。

したがって，音波は正方向へ伝わり，音源は負方向へ移動する。

ドップラー効果により，観測者が観測する振動数は

$$f'' = \frac{340 - (-2)}{340 - (-4)} \times 86 = \frac{342}{344} \times 86 = 85.5 \text{ Hz} \quad (\text{答})$$

問3

1s間に観測するうなりの回数は $f'' - f' = 1$ 回だから，5s間に観測するうなりの回数は5回 (答)

< 解説 >

問1

ドップラー効果による音波の観測振動数の変化に関する問題である。観測振動数の公式を覚えている必要がある。そして音波，音源，観測者の移動方向によって速さの正負を考慮する必要があるので，練習問題を解いて，公式を正しく適用できるようにしておきたい。

観測する振動数 f' はドップラー効果により $f' = \frac{V - V_o}{V - V_s} f$ ，ただし V, V_s, V_o はそれぞれ音速，音源の移動の速さ，観測者の移動の速さである。

音源の振動数は86.0 Hzと小数点以下1桁で与られているので，解答もそのようにする。

問2

図1のように反射板によって，音波は反射して観測者に伝わる。反射してくる音波は音源が反射板に関して線対称な位置にあるかのように伝わってくる。

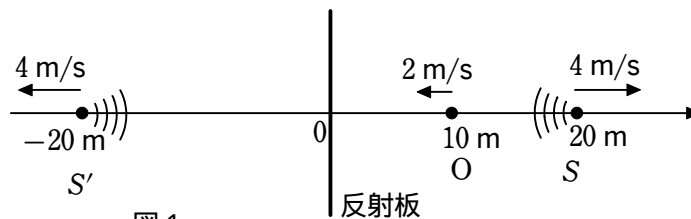


図1

問3

観測者は，音源から直接来る音波と反射して来る音波が重なった音波を観測する。問1，2の結果から，2つの音波の振動数はわずかに異なるから，うなりが生じる。うなりの発生数の公式は覚えていなければならないが，容易に導出できる。

[2]

< 解答 >

問1

温度と圧力は比例関係にあるから， $P = \frac{P_1}{T_1} T$ とおける。

したがって， $P_B = \frac{T_2}{T_1} P_1$ (答)

状態Bにおける状態方程式は $P_B V_B = RT_2$ ，したがって $V_B = \frac{RT_2}{P_B} = \frac{RT_1}{P_1}$ (答)

問2

熱力学第1法則から $Q_{AB} = W_{AB} + \Delta U$

しかるに，状態AからBへの変化は定積変化だから， $W_{AB} = 0$ (答)

$$Q_{AB} = \Delta U = a(T_2 - T_1) \quad (\text{答})$$

問3

$$\text{ボイル・シャルルの法則から, } V_C = \frac{T_1}{T_2} V_B$$

$$\text{気体が外に対してした仕事 } W_{BC} = P_B(V_C - V_B) = \frac{P_1}{T_1} T_2 \times \frac{T_1 - T_2}{T_2} \times \frac{RT_1}{P_1} = R(T_1 - T_2) \quad (\text{答})$$

$$\text{熱力学第1法則から, } Q_{BC} = W_{BC} + \Delta U = R(T_1 - T_2) + a(T_1 - T_2) = (a + R)(T_1 - T_2) \quad (\text{答})$$

問4

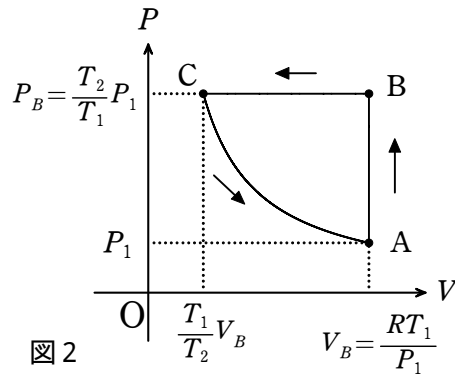


図2

< 解説 >

問1

問題図2と問題文の「温度と圧力は比例関係を満たしながら」という記述から、AからBへの変化は定積変化であることに気づく。

AからBへの変化では、温度と圧力は比例関係なので $\frac{P}{T} = \text{一定}$ 、したがってボイル・シャルルの法則により体積 V は一定となる。

問2

熱力学第1法則を活用する。

問3

圧力一定で $B \rightarrow C$ の変化だから、温度低下とともに縮小する。したがって、 W_{BC} は負となり、外から仕事をされる。温度低下により気体の内部エネルギーも減少するので、 Q_{BC} は負となり熱を外へ放出する。

問4

横軸に V 、縦軸に P をとって図を描く。問題文と問1から問3までの考察により、 $A \rightarrow B$ は定積変化、 $B \rightarrow C$ は定圧変化、 $C \rightarrow A$ は等温変化だから、グラフは描き易い。

< 総評 >

問題構成は運動と力、電磁気、波動、気体の分野であり、例年とほぼ同じである。例年通り問題設定が簡明で煩瑣なところがなく、基礎的な物理の理解を問うものである。センター試験物理とほぼ同レベルの問題だから、余裕をもって臨みたい。

それだけに物理の本質的な理解がないと、誤る恐れもある。特に電磁気分野の問題では。教科書を良く読んで、理解を確実なものとする。

なお、試験会場で、問題訂正があり、訂正紙が配布された。

問題訂正

問題冊子 10 ページ 上から 3 行目の以下の箇所を訂正します。

(誤) 反射板 R を固定して置いた。

(正) 反射板 R が固定して置かれていた場合を考える。

①

[1]は鉛直下向きの重力の下の運動が斜面に沿った座標系で観測するとどうなるかを考察する問題。重力の加速度を斜面平行方向(ここでは x 軸), 斜面垂直方向(y 軸)に分けて考えれば良い。 y 軸方向にボールを投げるので, y 軸方向の運動は初速ありの等加速度運動, x 軸方向の運動は初速0の等加速度運動である。

斜面との衝突後, y 軸方向の運動の向きは反転する。 x 軸方向は, 斜面とボールとの間に摩擦がないので, ボールはそのまま運動を続ける。難易度はB-。

[2]は, 万有引力に関する基本的な問題。惑星の運動に関するケプラーの法則, 万有引力による位置エネルギーについて, 理解し, 公式を覚えていれば正答できる。難易度はB-。

①はスムーズに解答して, 時間を節約したいところだ。

②

[1]は抵抗とコンデンサーからなる回路の動作について, 接続状態を考慮して, 考察する問題。複雑な回路や接続について考えるのではないので, 難解な問題ではない。ただし, 基本的な問題だけに, 物理的な考え方をきちんとしないと, 誤るかも知れないので要注意である。問4, 問5は, 勉強の成果が問われそう。難易度はBと①よりもやや難しいように思う。

[2]は導線とコイルによる電磁誘導に関する基礎的な問題。これはスムーズに解答したい。難易度C。

③

[1]はドップラー効果による観測振動数を考える問題。問題設定は単純だから, 難しいところはない。ドップラー効果についての理解, 測振動数の公式を記憶, その使い方の習熟が必要だ。波動に関する物理入試問題の頻出事象だから, 読者は概ね対応できたことと思う。難易度B。

[2]理想気体の状態変化に関する問題。定積変化, 定圧変化, 等温変化を経て元へ戻るもので, 複雑な過程ではないので, スムーズに解答したい。難易度B-。

190313