北里 2015 物理

配点

[1]　問 1.(1)4(2)4　問 2.(3)4(4)4
問 3(5)～(8)あわせて 4、(9)～(12)あわせて 4、(13)～(16)あわせて 4
問 4(17)～(20)あわせて 4、(21)4　問 5(22)～(25)あわせて 4　　計 40

[2]　問 1(26)4　問 2(27)4　問 3(28)4　問 4(29)～(30)あわせて 4　問 5(31)4
問 6(32)4　問 7(33)4、(34)4　計 32

[3]　問 1(35)～(38)あわせて 4　問 2(39)～(42)あわせて 4
問 3(43)～(46)あわせて 4、(47)～(50)あわせて 4、(51)～(53)あわせて 4
問 4(55)～(56)あわせて 4　問 5(57)～(60)あわせて 4　計 28

I

原則１．重心の公式　　　　→　問１に利用

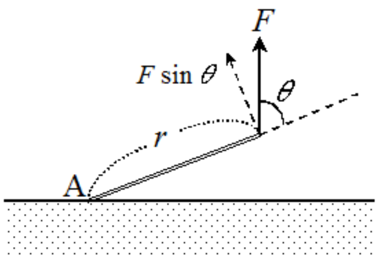
x 軸上の座標 x_1 と x_2 の位置に、質量 m_1 と m_2 の物体がそれぞれ存在しているとき、この２つの物体の重心の座標 x_{G} は、次式で表される。

$$x_{\mathrm{G}} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$

原則２．力のモーメント　　　　→　問１に利用

力のモーメントは、物体を回転させる力の能率を表す量である。例えば、下図に示すような点Ａのまわりの力のモーメント N [Nm] は、次式で表される。ただし、F [N] は力、r [m] は点Ａから力の作用点までの距離、θ [rad] は点Ａから力の作用点までの向きと力の向きのなす角である。

$$N = Fr\sin\theta$$



（図はWEB上で見つからなかったため自作）

原則３．単振動の運動方程式と周期など　　　　→　問２に利用

物体の質量を m 、変位を x 、加速度を a とおいたとき、運動方程式が

$$ma = -kx \quad （k \text{ は正の定数}）$$

で表されるなら、この物体は単振動をする。なお、単振動の周期 T は

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

となる。また、振幅を A_0 とおくと、変位 x は

$$x = A_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \quad （\varphi \text{ は初期位相}）\quad \cdots\cdots①$$

と表され、速さの最大値 V_0 と加速度の最大値 a_0 は

$$V_0 = A_0\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$a_0 = \frac{A_0 k}{m}$$

となる。

原則４．ソレノイドコイル内の磁場　　　　→　問３に利用

透磁率が $\mu\,[\mathrm{N/A^2}]$ で単位長さあたりの巻き数が $n\,[回/\mathrm{m}]$のソレノイドコイルに電流 $I\,[\mathrm{A}]$ を流したとき、ソレノイドコイルの内部に生じる磁場の強さ $H\,[\mathrm{A/m}]$ と磁束密度 $B\,[\mathrm{T}]$ は、次の２式で表される。

$$H = nI$$

$$B = \mu H = \mu nI$$

原則５．ファラデーの電磁誘導の法則　　　　→　問３に利用

N 回巻きのコイルに生じる誘導起電力（電圧）は、次式のように、このコイルを貫く磁束 Φ の時間変化の N 倍に相当する大きさを持ち、磁束の変化を妨げる向きに働く。次式で表される法則をファラデーの電磁誘導の法則と言い、磁束の変化を妨げる向きに誘導起電力が生じることをレンツの法則と言う。なお、このレンツの法則により、コイルを流れる電流が急激に変化することはない。

$$V = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \cdots\cdots①$$

また、コイルの自己インダクタンス $L\,[\mathrm{H}]$ とコイルを流れる電流 I の時間変化 $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ を用いれば、①式は

$$V = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

と表すことができる。

原則６．弦の振動　　　　→　問４に利用

弦を指ではじいたとき、両端が固定端型となる定常波ができる。この定常波の波長 λ_n は、弦の長さを l とおくと、次式で表される。

$$\lambda_n = \frac{2l}{n} \quad (n = 1, 2, 3, \cdots)$$

また、弦を伝わる波の速さ v は、弦の張力を T 、弦の単位長さあたりの質量（線密度）を ρ とおくと、次式で表される。

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

原則７．波の基本式　　　　→　問４に利用

波の速さ V 、振動数 f （周期 T ）、波長 λ の間には、次の関係式が成り立つ。

$$V = f\lambda \quad \left(V = \frac{\lambda}{T} \right)$$

原則８．熱容量と比熱　　　　→　問５に利用

質量 m [g] のある物質の温度を Δt [K] 上昇させるのに必要な熱量が Q [J] であり、熱容量が C [J/K] 、比熱が c [J/g･K] であるとき、次式が成り立つ。

$$Q = C\Delta t = mc\Delta t$$

上式からわかるように、比熱は物質の種類や状態のみで決まる定数である。

問１

【方針】

棒全体の長さを l とすると、図１より、短い棒の重心はＢから $\frac{1}{6}l$ の位置、長い棒の重心はＢから $\frac{2}{3}l$ の位置にくることに気づく。この点を最初の手掛かりとして、「原則１．重心の公式」や「原則２．力のモーメント」の知識を利用して順に解いてゆく。

【解答】

1：⑯　　2：⑯

【解説】

（1）

棒全体の重さを w 、長さを l として、重心の公式を用いると、次式のようになる。

$$\frac{\frac{1}{2}w\times\frac{1}{6}l+\frac{1}{2}w\times\frac{2}{3}l}{w}=\frac{5}{12}l \qquad \therefore \frac{5}{12}\text{ 倍}$$

（2）

張力の大きさを T 、棒と水平面のなす角度を θ として、端Ｂのまわりの力のモーメントについての式を立てると、次式のようになる。

$$w\times\frac{5}{12}l\cos\theta = T\times l\cos\theta \quad \rightarrow \quad T=\frac{5}{12}w \qquad \therefore \frac{5}{12}\text{ 倍}$$

問２

【方針】

「Ａの上に質量 M [kg] の小物体Ｂを静かに載せた」と言う文言と図２より、図２(a) の位置が単振動の端になることに気づく。この点を踏まえて、「原則３．単振動の運動方程式と周期など」の知識などを利用して順に解いてゆく。

【解答】

3：③　　4：⑥

【解説】

（3）

図２(a) の位置が単振動の端になる。また、図２(a) の位置より質量 M [kg] の小物体Ｂが載せられた分だけ下がった位置が単振動の中心になる。よって、単振動の振幅を A_0 とす

ると、力のつり合いより、

$$kA_0 = Mg$$

となる。したがって、この式より、

$$A_0 = \frac{Mg}{k}$$

となり、単振動の最下点は、$2A_0$ になるから、

$$2A_0 = \frac{2Mg}{k}$$

と求まる。

（4）

単振動の中心では、加速度が 0 となり、速度は最大となるから、単振動の公式より、その速さは、次式のようになる。

$$A_0\sqrt{\frac{k}{M+m}} = \frac{Mg}{k}\sqrt{\frac{k}{M+m}} = Mg\sqrt{\frac{1}{k(M+m)}}$$

問３

【方針】

「長さ 1.5×10^{-1} m の鉄心に，導線を一様に 2000 回巻いた」と言う文言より、単位長さあたりの巻き数は $\frac{2000}{1.5\times10^{-1}}$ [回/m] となることに気づく。この点を踏まえて、「原則４．ソレノイドコイル内の磁場」や「原則５．ファラデーの電磁誘導の法則」の知識を利用して順に解いてゆく。

【解答】

5 : ④　6 : ②　7 : ②　8 : ④　9 : ①　10 : ④　11 : ①　12 : ②

13 : ②　14 : ⑧　15 : ①　16 : ①

【解説】

（5～8）

鉄心の透磁率を μ 、電流を I 、断面積を S 、巻き数を N 、長さを l とすると、磁束 φ は

$$\varphi = \mu\frac{N}{l}IS \quad \cdots\cdots①$$

と表されるから、①式の右辺に各数値を代入して、

$$\varphi = 3.5 \times 10^{-3} \times \frac{2000}{1.5\times10^{-1}} \times 3.0 \times 10^{-2} \times 3.0 \times 10^{-4} = 4.2 \times 10^{-4}\ [\mathrm{Wb}]$$

と求まる。

（9～12）

電流の変化を ΔI 、時間の変化を Δt とすると、磁束の変化 $\Delta\varphi$ は、①式より、

$$\Delta\varphi = \mu_0\frac{N}{l}S\Delta I$$

となる。よって、自己誘導起電力の大きさ V は、ファラデーの電磁誘導の法則を用いて、

$$V = N\left|\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\right| = N\mu_0\frac{N}{l}S\left|\frac{\Delta I}{\Delta t}\right| = \mu_0\frac{N^2}{l}S\left|\frac{\Delta I}{\Delta t}\right| \quad \cdots\cdots②$$

と表されるから、②式の右辺に各数値を代入して、

$$V = 3.5 \times 10^{-3} \times \frac{2000^2}{1.5\times10^{-1}} \times 3.0 \times 10^{-4} \times \frac{5.0\times10^{-2}}{1.0\times10^{-2}} = 1.4 \times 10^{+2}\ [\mathrm{V}]$$

と求まる。

（13～16）

V を自己インダクタンス L を用いて表すと、

$$V = L\left|\frac{\Delta I}{\Delta t}\right| \quad \rightarrow \quad 1.4 \times 10^{+2} = L \times \frac{5.0\times10^{-2}}{1.0\times10^{-2}}$$

となるから、L は

$$L = 2.8 \times 10^{+1}\ [\mathrm{H}]$$

と求まる。

問４

【方針】

「A の位置から 7.5 cm だけ移動した B の位置で，ふたたび弦が共振した」と言う文言より、弦の振動における波長の半分が 7.5 cm になると気づく。この点を最初の手掛かりとして、「原則６．弦の振動」や「原則７．波の基本式」の知識を利用して順に解いてゆく。

【解答】

17 : ⑥　　18 : ⑥　　19 : ①　　20 : ①　　21 : ①

【解説】

（17～20）

弦の共振の場合、弦の長さが波長 λ の $\frac{1}{2}$ 変わると共振となるから、

$$\frac{\lambda}{2} = 7.5 \qquad \therefore\ \lambda = 15\ [\mathrm{cm}]$$

となる。よって、波の基本式より、音速 V [m/s] は

$$V = f\lambda = 4.4 \times 10^2 \times 15 \times 10^{-2} = 6.6 \times 10^{+1}\ [\mathrm{m/s}]$$

と求まる。

（21）

おもりの質量が大きくなると、弦の張力も大きくなる。よって、弦を伝わる波の速さとおもりの質量の平方根は比例するから、質量が大きくなると音速は速くなる。

問５

【方針】

「熱は水の間だけでやり取りされるものとし」と言う文言より、熱量が保存されることに気づく。この点を踏まえて、「原則８．熱容量と比熱」の知識を利用して解く。

【解答】

22 : ①　　23 : ⑤　　24 : ①　　25 : ②

【解説】

（22～25）

水の比熱を c [J/g・K] 、加えた水の量を m [g] とおくと、熱量が保存されることから、次式のようになる。

$$2.0 \times 10^2 \times c \times (40 - 25) = m \times c \times (60 - 40) \qquad \therefore m = 1.5 \times 10^{+2} \text{ [g]}$$

Ⅱ

原則９．運動の方程式と重力　　　　→　問３～問５に利用

一般に、質量 m の物体に力 F が加わるとき、次式のように、物体は加速度 a の等加速度運動をする。

$$ma = F$$

なお、質量 m の物体が速さ v （角振動数 ω ）、半径 r の円運動をするとき、その運動方程式は次式で表される。

$$m\frac{v^2}{r} = F \quad (\ mr\omega^2 = F \ )$$

なお、円運動の周期 T は

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi r}{v}$$

となる。

また、一般に質量 m の物体には鉛直下向きに大きさ mg（ g は重力加速度）の重力がはたらく。よって、例えば、鉛直下向きに重力以外の力 F が加わっている物体の運動方程式は、次式のようになる。

$$ma = mg + F$$

原則１０．重力による運動の公式　　　　→　問７に利用

物体の水平方向（ x 方向）、鉛直方向（ y 方向）の初速度が、それぞれ v_{0x} [m/s] 、v_{0y} [m/s] であるとき、時間 t [s] における水平方向、鉛直方向の各変位 x [m] 、y [m] は、以下の各式で表される。ただし、g は重力加速度（ $g = 9.8$ [m/s^2] ）である。

$$x = v_{0x}t$$

$$y = v_{0y}t + \frac{1}{2}(-g)t^2 \quad \cdots\cdots①$$

なお、①式に $v_{0y} = 0$ を代入すると、自由落下の公式（次式）となる。

$$y = \frac{1}{2}(-g)t^2 = -\frac{1}{2}gt^2$$

問１～問４

【方針】

図５より、B をつり下げているひもにかかる張力の $\cos\theta$ 倍が B にかかる重力とつり合うことに気づく。この点を最初の手掛かりとして、「原則９．運動の方程式と重力」の知識などを利用して順に解いてゆく。

【解答】

26：⑥　　27：④　　28：④　　29：①　　30：③

【解説】

（問１（26)）
B をつり下げているひもにかかる張力の大きさを T [N] とすると、B についての鉛直方向の力のつり合いの式が

$$T\cos\theta = mg$$

となるから、

$$T = \frac{mg}{\cos\theta}\ [\mathrm{N}]$$

と求まる。
（問２（27)）
張力 T の水平方向成分であるから、

$$T\sin\theta = \frac{mg}{\cos\theta}\sin\theta = mg\tan\theta\ [\mathrm{N}]$$

となる。
（問３（28)）
「B に生じている加速度」を a [m/s^2] とすると、慣性力が ma となって、これが張力 T の水平方向成分とつり合うから、

$$ma = mg\tan\theta \qquad \therefore a = g\tan\theta\ [\mathrm{m/s^2}]$$

となる。
（問４（29・30)）
A と B は一体となって運動しているから、A の加速度も B と同様に $a = g\tan\theta$ となる。よって、A に作用する水平方向の力 F と慣性力 Ma がつり合うから、

$$F = Ma = Mg\times\tan\theta\ [\mathrm{N}]$$

となる。

問５～問７

【方針】

図５より、おもりの加速度は容器 A の加速度と等しいことに気づく。この点を踏まえて、「原則９．運動の方程式と重力」や「原則１０．重力による運動の公式」の知識などを利用して順に解いてゆく。

【解答】

31：⑥　　32：⑭　　33：②　　34：⑧

【解説】

（問５（31)）
おもりの加速度も同様に $a = g\tan\theta$ となるから、A を水平方向に引く張力の大きさを T' とすると、おもりの運動方程式は

$$3Ma = 3Mg\tan\theta = 3Mg - T'$$

となる。これを解くと、T' は

$$T' = 3M(g-a) = 3Mg(1-\tan\theta)\ [\mathrm{N}]$$

と求まる。
（問６（32））
台からＡが受ける摩擦力の大きさを f とすると、Ａの水平方向の力のつり合いより、

$$Ma + mg\tan\theta + f = T'$$

となる。これを解くと、f は

$$f = T' - Ma - mg\tan\theta = 3Mg - (4M + m)g\tan\theta \ \text{[N]}$$

と求まる。
（問７（33・34））
動摩擦力は垂直抗力に比例するから、ひもを切る前と切った後の垂直抗力をそれぞれ N と N' とおくと、次の２式が成り立つ。

$$N = Mg + mg = (M + m)g$$

$$N' = Mg$$

したがって、ひもを切った後における動摩擦力の大きさを f' とすると、

$$f' = \frac{N'}{N}f = \frac{M}{M+m}f \ \text{[N]}$$

となる。
落下距離は $H - L\cos\theta$ となるから、落下時間を t とおくと、自由落下の公式より、

$$H - L\cos\theta = \frac{1}{2}gt^2$$

となる。$t > 0$ であるから、上式より、t は

$$t = \sqrt{\frac{2(H - L\cos\theta)}{g}} \ \text{[s]}$$

と求まる。

Ⅲ

原則１１．コンデンサーの電気容量　　　　→　問１・問４に利用

コンデンサーの電気容量 C [F] は、次式により求められる。

$$C = \varepsilon_{\mathrm{r}}\varepsilon_0 \frac{S}{d}$$

なお、ε_{r} は比誘電率、ε_0 [F/m] は真空の誘電率（$= 8.85 \times 10^{-12}$ [F/m] ）、S [m^2] は極板面積、d [m] は極板間隔である。

原則１２．キルヒホッフの第２法則　　　　→　問２に利用

電気回路の中の任意の一回りの閉じた経路において、電圧の向きを経路の周回の向きと同じにしたとき、その経路を構成する各素子の電位差 V_i の総和は、次式のように 0 となる。

$$\sum_{i=1}^{N} V_i = 0$$

原則１３．コンデンサーの電気量と静電エネルギー　　　　→　問３～問５に利用

電気容量 C [F] のコンデンサーにかかる電圧が V [V] であるとき、このコンデンサーには次の２式で表される電気量 Q [C] および静電エネルギー U [J] が蓄えられている。

$$Q = CV \quad \cdots\cdots ①$$

$$U = \frac{1}{2}CV^2 \quad \cdots\cdots ②$$

式①より、式②は以下のようにも表せる。

$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}QV = \frac{Q^2}{2C} \quad \cdots\cdots ③$$

問１・問２

【方針】

「はじめ，S は開いており，すべての極板には電荷はたくわえられていない」と言う文言と図 6 より、S を閉じた直後の BC 間の電圧は 0 V であることに気が付く。この点を踏まえて、「原則１１．コンデンサーの電気容量」や「原則１２．キルヒホッフの第 2 法則」の知識を利用して順に解いてゆく。

【解答】

35：②　　36：⑤　　37：①　　38：①　　39：④　　40：⑩　　41：②　　42：②

【解説】

（問１（35～38））

BC 間の電気容量 C_1 は、電気容量の公式より、

$$C_1 = \varepsilon_0 \frac{5.0\times10^{-2}}{2.0\times10^{-3}} = 2.5 \times 10^{+1} \times \varepsilon_0 \text{ [F]} \quad \cdots\cdots ①$$

となる。
（問２（39～42））
S を閉じた直後では、極板 B と C からなるコンデンサーは電気量が 0 であるから電圧も 0 となるため、導線とみなすことができる。よって、R_1 を流れる電流を I_1 [A] とおくと、キルヒホッフの第 2 法則より、

$$6.0 - 1.5 \times 10^2 \times I_1 = 0$$

が成り立つから、これを解いて、

$$I_1 = \frac{6.0}{1.5\times10^2} = 4.0 \times 10^{-2}\ [\mathrm{A}]$$

と求まる。

問３
【方針】
「S を閉じてからじゅうぶんに時間が経過した後」と言う文言と図 6 より、本問では BC 間の電圧は 6.0 V になっていることに気づく。この点を踏まえて、「原則１３．コンデンサーの電気量と静電エネルギー」の知識などを利用して順に解いてゆく。
【解答】
43：③　44：⑩　45：①　46：③　47：①　48：⑤　49：①　50：②
51：④　52：⑤　53：①　54：②
【解説】
（43～46）
S を閉じてから十分に時間が経っているから、電流は流れなくなり、BC 間の電圧は 6.0 V になる。よって、「BC 間の電場の強さ」E_1 [N/C] は、次式のようになる。

$$E_1 = \frac{6.0}{2.0\times10^{-3}} = 3.0 \times 10^{+3}\ [\mathrm{N/C}]$$

（47～50）
「BC 間にたくわえられている電荷の電気量」Q_1 [C] は、①式より、

$$Q_1 = 2.5 \times 10^{+1} \times \varepsilon_0 \times 6.0 = 1.5 \times 10^{+2} \times \varepsilon_0\ [\mathrm{C}]$$

となる。
（51～54）
「BC 間にたくわえられている静電エネルギー」U_1 [J] は、①式より、

$$U_1 = \frac{1}{2} \times 2.5 \times 10^{+1} \times \varepsilon_0 \times 6.0^2 = 4.5 \times 10^{+2} \times \varepsilon_0\ [\mathrm{J}]$$

となる。

問４・問５
【方針】
「比誘電率 4.0 の誘電体」を BC 間に挿入することにより、BC 間の電気容量は 4 倍になることに気づく。この点を踏まえて、「原則１１．コンデンサーの電気容量」や「原則１３．コン

デンサーの電気量と静電エネルギー」の知識を利用して順に解いてゆく。

【解答】

55：③　56：⑩　57：⑥　58：⑧　59：①　60：②

【解説】

（問４（55・56））

AB 間の電気容量 C_2 は、電気容量の公式と①式より、

$$C_2 = \varepsilon_0 \frac{5.0\times10^{-2}}{1.0\times10^{-3}} = 5.0\times10^{+1}\times\varepsilon_0\ [\mathrm{F}] = 2.0C_1\ [\mathrm{F}]$$

となる。よって、スイッチ S を開く前に AB 間に蓄積されていた電気量 Q_2 [C] は、AB 間の電圧が 6.0 V であるから、

$$Q_2 = 2.0C_1\times6.0 = 3.0\times10^{+2}\times\varepsilon_0\ [\mathrm{C}]$$

となる。したがって、金属板 B に蓄積されている電気量 Q_B [C] は、

$$Q_\mathrm{B} = Q_1 + Q_2 = 4.5\times10^{+2}\times\varepsilon_0\ [\mathrm{C}]\ \cdots\cdots②$$

となる。誘電体を挿入した後の BC 間の電気容量 $C_1{}'$ は、

$$C_1{}' = 4.0C_1\ [\mathrm{F}]$$

となる。また、スイッチ S を開いてから十分に時間が経ったとき、AB 間と BC 間はコンデンサーの並列回路とみなすことができ、いずれも同じ電圧 V [V] になる。よって、電気量保存則を用いると、

$$Q_\mathrm{B} = C_1'V + C_2V = 4.0C_1V + 2.0C_1V = 6.0C_1V$$

が成り立つ。この式と①式、②式より、V [V] は

$$V = \frac{Q_\mathrm{B}}{6.0C_1} = \frac{4.5\times10^{+2}\times\varepsilon_0}{6.0\times2.5\times10^{+1}\times\varepsilon_0} = 3.0\ [\mathrm{V}]\ \cdots\cdots③$$

と求まる。

（問５（57～60））

静電エネルギーは、

$$\frac{1}{2}C_1'V^2 + \frac{1}{2}C_2V^2 = \frac{1}{2}\times6.0C_1\times V^2$$

と表される。この式に、①式、③式を代入すると、

$$3.0\times2.5\times10^{+1}\times\varepsilon_0\times3.0^2 = 6.75\times10^{+2}\times\varepsilon_0 \fallingdotseq 6.8\times10^{+2}\times\varepsilon_0\ [\mathrm{J}]$$

と求まる。