東邦 2013 物理

略解

[1]　問 1.e　問 2.c

[2]　問 3.d　問 4.e

[3]　問 5.f　問 6.d

[4]　問 7.c　問 8.d　問 9.f

[5]　問 10.c　問 11.d　問 12.h

[6]　問 13.a　問 14.b　問 15.d

[7]　問 16.c　問 17.e　問 18.e

[8]　問 19.a

[9]　問 20.f　問 21.d

[10]　問 22.c　問 23.b　問 24.f　問 25.b

配点

[1]　問 1～問 2　各 4 点

[2]　問 3～問 4　各 4 点

[3]　問 5～問 6　各 4 点

[4]　問 7～問 9　各 4 点

[5]　問 10～問 12　各 4 点

[6]　問 13～問 15　各 4 点

[7]　問 16～問 18　各 4 点

[8]　問 19　4 点

[9]　問 20～問 21　各 4 点

[10]　問 22～問 25　各 4 点

計 100 点

① 力学

○原則

1 速度と加速度の関係　速度 v は、単位時間あたりの変位 x の変化量(m/s)であり、加速度 a は、単位時間当たりの速度の変化量(m/s²)である。初速度 v_0 と時間 t を使って、$x=v_0t+at^2/2$ や $2ax=v^2-v_0^2$ の関係が成り立つ。

2 運動方程式（運動の第 2 法則）　物体の速度が光速に比べて十分に小さいとき、力は質量と加速度の積に等しい。

3 力のモーメント　物体に回転を生じさせる力の量を、力のモーメント（回転力）(Nm)と言う。力を $\boldsymbol{F}$、力の作用点の位置を $\boldsymbol{r}$ とすると、力のモーメントは、$\boldsymbol{N}=\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{F}$ で表される。回転には、力の垂直成分だけが寄与する。

4 弾性力　フックの法則より、弾性力は kx と表される。k はばね定数(N)、x は自然長からの縮み(m)である。力のつりあいの式より、角振動数 $\omega=(k/x)^{1/2}$ (rad/s)が得られる。弾性力のポテンシャルは 1/2 kx^2 で表される。

5 力のつりあいと遠心力　２つの力が同一直線上にあって、且つ同じ大きさで反対方向を向いているとき、物体は等速度運動する（力がつりあう）。力のつりあいの式を求める場合、力の方向を分解する必要がある。その分解方向は自由である。回転座標系で作用する慣性力の一つが、遠心力である。遠心力は mv^2/r と表される。r は回転座標系の半径(m)である。

6 力学的エネルギー保存則　物体の速度を変化させる際に必要な仕事を運動エネルギー（1/2 mv^2）と言い、物体がある位置 h (m)にいる状態で物体に蓄えられるエネルギーを位置エネルギー（mgh）またはポテンシャルと言う。m (kg)は物体の質量、v (m/s)は速度、g (m/s²)は重力加速度である。

運動エネルギーと位置エネルギーの和のことを、力学的エネルギー(kg m²/s²)と言う。この力学的エネルギーは、保存力だけを考慮するとき、常に保持される。保存力は、重力や弾性力や静電気力のことを指す。一方で、摩擦力や空気抵抗といった非保存力が関わると、力学的エネルギーが減少し、物体が減速したり停止したりする。

・摩擦が関係ない場合（力学的エネルギー保存則）:
　力学的エネルギー＝運動エネルギー+位置エネルギー＝一定

・摩擦が関与する場合：
　力学的エネルギーの減少量＝摩擦力のした仕事

7 運動量保存則と反発係数　外力が加わらない時、2 物体の運動量（mv (kg m/s)）は衝突前後で変わらない。2 物体 A と B が完全弾性衝突する時、運動量と力学的エネルギーが保存され、衝突前の互いに近づく速さ（v_A-v_B）と、衝突後の遠ざかる速さ（V_A-V_B）の比（反発係数）が 1 となる。

8 摩擦力（非保存力）　静止している間の摩擦力が静止摩擦力であり、動き始めの静止摩擦力が最大静止摩擦力（＝μ（静止摩擦係数）×N（垂直抗力））である。滑り出した後は、動摩擦力と言う。

9 浮力　流体中にある物体に対して、重力と逆方向に作用する力を浮力と言う。浮力は、流体の密度ρ(kg/m³)と物体の体積 V[m⁻³]を用いて、ρVg(N)と表わされる。

○解答

問 1

【方針】

　特定の時間、エレベーターが等加速度で動く問題である。すでに判明している等加速度と時間を用いて、位置を求めればよい（原則 1)。

【解説】

　時刻t_1までに動いた距離は、$\frac{1}{2}a{t_1}^2$である。時刻t_1におけるエレベーターの速さはat_1より、時刻t_2-t_1間に動いた距離は、$at_1\times(t_2-t_1)$である。時刻t_2以後の加速度をa_2とすると、時刻t_2-t_1間に動いた距離は$\frac{1}{2}a_2(t_3-t_2)^2$と表わされる。ここで、時刻$t_3$において、エレベーターが停止したことから、

$$at_1+a_2(t_3-t_2)=0 \quad (1\text{-}1)$$

の関係が成り立つ。よって、時刻t_3における高さ h は、式(1-1)を用いて、

$$h=\frac{1}{2}a{t_1}^2+at_1(t_2-t_1)+\frac{1}{2}(-a\frac{t_1}{t_3-t_2})(t_3-t_2)^2$$

となり、$h=\frac{1}{2}a(-{t_1}^2+t_1t_2+t_1t_3)$。よって、解は e である。

問 2

【方針】

　エレベーターが停止している時、体重計には重力のみがはたらく。しかし、加速度が 0 でない乗り物に乗っている時、別途、力がはたらくため、運動方程式を用いる必要がある（原則 2)。

【解説】

　式(1-1)より、$a_2=-a\frac{t_1}{t_3-t_2}=-2.0\times\frac{2}{11-6}=-0.8\ (\mathrm{m/s^2})$である。人がエレベーターを押す力は、$50\times9.8+50\times(-0.8)=450\ (\mathrm{N})$と表わされる。体重計が示す値は、$450\div9.8\cong46\ (\mathrm{kg})$となり、解は c である。

問 3

【方針】

　柱には、ばね A の復元力N_A、ばね B の復元力N_Bと重力 Wがかかる。力に加えて、長さが関与する問題であるので、力のモーメントを用いればよい（原則 3)。

【解説】

　B を支点として、柱にはたらく力のモーメントより、$N_A\times L=W\times(L-d)$が成り立つ。よって、$N_A=\frac{L-d}{L}W$より解は d である。

問 4

【方針】

ばねの長さが関与する問題であるので、弾性力の式を用いればよい(原則 4)。力のつりあいも使える（原則 5)。

【解説】

ばね A と B が縮んだ長さをxとする。弾性力の式から、$N_A = k_A x$、$N_B = k_B x$が成立する。力のつりあいの式から、$W = N_A + N_B$を用いて、

$$\frac{k_B}{k_A} = \frac{N_B}{N_A} = \frac{W - N_A}{N_A} = \frac{W - \frac{L-d}{L}W}{\frac{L-d}{L}W} = \frac{d}{L-d}$$

となり、解は e である。

問 5

【方針】

力学的エネルギー保存則が使える（原則 6)。反発係数が関与する問題であるので、運動量を用いて解を導く（原則 7)。

【解説】

物体Aが物体Bに衝突する直前の速さをvとする。衝突直後の物体AとBの速さをv_A, v_Bとする。力学的エネルギー保存則から、

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \quad (5\text{-}1)$$

が成り立つ。また、運動量保存則から、

$$mv = mv_A + Mv_B \quad (5\text{-}2)$$

となる。反発係数が 1 より、原則 7 から$1 = -\frac{v_A - v_B}{v - 0}$となり、式（5-1)、(5-2)より、

$$v_B = \frac{2m}{M+m}v = \frac{2m}{M+m}\sqrt{2gh}$$

である。よって解は f である。

問 6

【方針】

摩擦力は非保存力であるので、摩擦力がした分だけ力学的エネルギーが低下する。摩擦が関与する前と停止後の力学的エネルギーを求めればよい（原則 8)。

【解説】

静止するまでにすべった距離をlとする。物体 B には重力 Mg と、垂直抗力$-Mg$、摩擦力μMgがかかる。力学的エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}MV^2 + (-\mu Mg) \times l = 0$$

の関係が成り立つ。よって、$l = \frac{V^2}{2\mu g}$となり、解は d となる。

問 7

【方針】

液体中の密度が関与する問題であるので、浮力を考えればよい（原則 9)。

【解説】

体積V_1とV_2の部分にはたらく浮力を、それぞれf_1、f_2とする。浮力は、

$$f_1 = \rho_1 V_1 g$$

$$f_2 = \rho_2 V_2 g$$

と表わされる。物体の質量は$\rho(V_1 + V_2)$であるので、力のつりあいの式から、$f_1 + f_2 = \rho(V_1 + V_2)g$が成り立つ。よって$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\rho_1 - \rho}{\rho - \rho_2}$となり、解は c である。

問 8

【方針】

静止摩擦力が関与するので、力のつりあいを考えればよい（原則 5)。回転する物体には遠心力がかかる。

【解説】

物体にはたらく力は、重力 mg と、垂直抗力－mg、遠心力$mr\omega^2$、摩擦力μmgである。垂直方向のつりあいより、$\mu mg = mr\omega^2$が成り立つ。よって、$\omega = \sqrt{\frac{\mu g}{r}}$より解は d である。

問 9

【方針】

力が関与しない相対速度の問題である。運動量を用いればよい（原則 7)。

【解説】

車と板の速さをそれぞれ v、Vとする。車が板の先端に到着するまでの時間を t とすると、$L = vt + Vt$となる。また、運動量保存の法則から、

$$mv = MV$$

が成り立つ。よって車の移動距離は、

$$vt = v\frac{L}{v + V} = \frac{M}{m + M}L$$

となり、解は f である。

② 気体

○原則

<u>10　比熱</u>　比熱 c (J/g/K)は、単位質量の物質の熱容量であり、$Q=mc\Delta T$の関係がある。比熱が大きい物質は、温まりにくく、冷めやすい。定積過程におけるモル比熱は $C_V=\frac{5}{2}RT$、定圧過程では $C_P=\frac{3}{2}RT$となる。

<u>11　理想気体の状態方程式</u>　ボイル・シャルルの法則およびアボガドロの法則から、理想気体は、$PV=nRT$の関係が成り立つ。ここで P (Pa)は気体の圧力、V (m^3)は気体が占める体積、n (mol)は気体の物質量、R (=8.31451 J/K/mol)は気体定数、T (K)は気体の熱力学温

度である。標準状態（0 度 1 気圧）で 1mol 中に含まれる分子数 N_A (=6.02×10^{23})をアボガドロ数と言う。

12　熱力学第 1 法則　熱力学におけるエネルギー保存則を熱力学第一法則といい、$\Delta U=\delta Q-\delta W$ の関係がある。ここで、ΔU は系の内部エネルギーの変化量、δQ は系に与えられた熱量、$-\delta W$ は系から取り出された仕事である。物体に一定の力 $\boldsymbol{F}$ を距離 $\boldsymbol{s}$ の間加えるとき、$\boldsymbol{F}\times\boldsymbol{s}$ を力が物体にした仕事と言い、$P\Delta V$ でも表すことができる。

○解答

問 10

【方針】

断熱下では熱量が保存されるので、比熱を用いて解く(原則 10)。

【解説】

水をお湯に入れて、十分に時間が経った後の水温を T(℃)とする。熱量保存より、

$$360\times4.2\times(65-T)=140\times3.3\times10^2+140\times4.2\times(T-0)$$

の関係が成り立つ。よって、$T\cong25$ (℃)となり、解は c となる。

問 11

【方針】

理想気体 A と B の定積モル比熱が等しいと仮定しないと解けない。断熱下であることを利用して、内部エネルギーの変化量から解く(原則 11)。

【解説】

十分時間が経過した後の気体の圧力をP'(Pa)とする。仕切り板を取り外しても、内部エネルギーは変化しないことから、

$$(2.0\times10^5)\times0.20+(4.0\times10^5)\times0.30=P'\times(0.20+0.30)$$

が成り立つ。よって$P'=3.2\times10^5$(Pa)となり、解は d である。

問 12

【方針】

定積変化、定圧変化、等温変化に関する問題である。熱力学におけるエネルギー保存則を用いればよい(原則 12)。$\mathrm{A}\rightarrow\mathrm{B}$間では定積変化であるため、気体のする仕事は 0 である。

【解説】

$\mathrm{A}\rightarrow\mathrm{B},\mathrm{B}\rightarrow\mathrm{C},\mathrm{C}\rightarrow\mathrm{A}$間の温度変化をそれぞれ$\Delta T_{AB},\Delta T_{BC},\Delta T_{CA}$とする。

$$Q_{AB}=nC_v\Delta T_{AB}\quad(12\text{-}1)$$

$$Q_{BC}=n(C_v+R)\Delta T_{BC}\quad(12\text{-}2)$$

$$Q_{CA}=0$$

が成り立つ。$\mathrm{C}\rightarrow\mathrm{A}$間は等温変化であるため、

$$\Delta T_{AB}+\Delta T_{BC}+0=0\quad(12\text{-}3)$$

となる。また、熱力学第一法則より、

$$\Delta U_{AB} = Q_{AB} = nC_v(-\Delta T_{BC}) = -\frac{C_v}{R+C_v}Q$$

となる。ここで、$Q_{BC} = $ Qおよび式(12-1)(12-2)(12-3)を用いた。よって、解は h となる。

③ 波動

○原則

<u>13 ドップラー効果</u>　波の発生源と観測差の相対速度により、波の周波数が変化して観測される。f_0を音源の振動数としたとき、観測者が感知する振動数は、$f = \frac{V-v_0}{V-v_s}f_0$と表わされる。ここで、$V$は音速、$v_0$は観測者の速度、$v_s$は音源の速度である。

<u>14 正弦波</u>　単振動の変位は正弦波で表される。位置 x、時間 t における変位は、$\mathrm{y} = \mathrm{Asin}(2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right)+\frac{\pi}{2})$となる。$T$ は波の周期で、λは波長である。正弦波において、変位が正から負になる節で、波は最も密になり、負から正になる節で最も疎になる。山と谷において、波の速度は 0 であり、節で速度が最大になる。また、山において、負の方向に加速度が最大となり、谷において、正の方向に加速度が最大となる。

○解答

問 13

【方針】

波の発生源が移動する問題であるので、ドップラー効果を用いる（原則 13）。

【解説】

点 O で観測される振動数をf_Aとする。点 A における AO 方向への音源の速度成分は$v\cos\theta_1$である。ドップラー効果の式より、$f_A = \frac{V-0}{V-vcos\theta_1}f$と表わされるので、解は a である。

問 14

【方針】

問 13 と同様。

【解説】

点 O で観測される、点 B から出た音の振動数をf_Bとする。今回、角 OBC は 0°なので、ドップラー効果の式より、$f_B = \frac{V-0}{V-(-v)}f$が成り立つ。$\theta_1 = 0°$を用いて$f_A = 2f_B$より、

$$\frac{V}{V-v}f = 2\times\frac{V}{V+v}f$$

よって$V = \frac{v}{3}$となり、解は b である。

問 15

【方針】

出た音が点 O に達するまでの時間が場所によって異なるため、点 O で聞こえる時間は、音を出した時間と異なる。したがって、音が点 O に到達した時間で考えればよい。

【解説】

点 A で出した音が点 O に達する時間は$\frac{\frac{L}{sin\theta_1}}{V}$である。その後、AB 間で音を出し続けるので、その時間は$\frac{L}{v}$と表わされる。最後、点 B で出した音が点 O に到達する時間は$\frac{\frac{L}{sin\theta_2}}{V}$である。よって、点 O で音が聞こえる時間は

$$-\frac{L}{Vsin\theta_1}+\frac{L}{v}+\frac{L}{vsin\theta_2}=\frac{L}{v}+\frac{L}{V}\frac{sin\theta_1-sin\theta_2}{sin\theta_1 sin\theta_2}$$

となり、解は d である。

問 16

【方針】

数式の操作が得意であれば、変位の式から導出し、苦手であれば一旦図示すればよい。

【解説】

$T=\frac{t}{2}$の時、変位$\mathrm{y}=\mathrm{Asin}(2\pi\left(\frac{1}{2}-\frac{x}{\lambda}\right)+\frac{\pi}{2})$と表わされる。

$$2\pi\left(\frac{1}{2}-\frac{x}{\lambda}\right)+\frac{\pi}{2}=2\mathrm{n}\pi+\frac{\pi}{2}$$

の時、変位が最大（山）となる。よって、$x=\frac{\lambda}{2},\frac{3}{2}\lambda,\frac{5}{2}\lambda$ ....の時、山となる。解は c である。

問 17

【方針】

縦波の密度変化が、各位置によって異なる波の速度により発生することを考慮すればよい（原則 14)。

【解説】

密度が最大となるのは、変位が正から負に変わるときである。よって、$x=\frac{3}{4}\lambda,\frac{7}{4}\lambda$ ....の時、密度が最大となる。解は e である。

問 18

【方針】

波の速度の変化量が最大の時、加速度が最大になることを考慮すればよい（原則 14)。

【解説】

正の加速度が最大となるのは、変位が負の方向に最大となるときである。よって x=0,λ,2λ....の時、正の加速度が最大となる。解は e である。

④ 光学

○原則

15 屈折の法則(スネルの法則)　媒質 A と B における絶対屈折率が、それぞれ n_A、n_Bで、媒質 A から媒質 B への入射角と屈折角が、それぞれθ_A、θ_Bのとき、$\frac{n_A}{n_B}=\frac{sin\theta_B}{sin\theta_A}$の関係が成り立つ。

○解答

問 19

【方針】

光は、屈折率の異なる媒質中を移動するとき、屈折する。屈折角は、屈折の法則より求められる（原則 15)。θ が臨界角を超えると点光源から出た光は全反射し、空気からは見えなくなる。

【解説】

水から空気への入射角を θ とする。屈折の法則より、$\frac{1}{n}=\frac{\sin\theta}{\sin 90°}$となる。三平方の定理より、$\sin\theta=\frac{r}{\sqrt{H^2+r^2}}$の関係が成り立つので、$r=\frac{H}{\sqrt{n^2-1}}$となり、解は a である。

⑤ 電磁気

○原則

16　ローレンツ力　荷電粒子が磁場の中で運動するときに受ける力をローレンツ力といい、QvB で表される。B は磁束密度(T)である。電流 I を用いると IBl で表される。l は導線の長さである。

17　自己誘導起電力　インダクタ（コイル）に交流電流を流すと、電源電圧と逆方向に自己誘導起電力が発生し、電流の急激な変化が和らぐ。自己誘導起電力は、自己インダクタンス L(H)を用いて、$V=\left|-L\frac{\Delta I}{\Delta t}\right|$と表わされる。このとき、コイルに蓄えられるエネルギーは$V=\frac{1}{2}LI^2$となる。

18　オームの法則　電位は $V=RI$ と表される。R(Ω)は抵抗である。

19　共振周波数　交流電源の周波数が共振周波数であるとき、電源電圧が全て抵抗にかかり、電流が最大になる。コイルの自己インダクタンス L とコンデンサの電気容量 C を用いて、共振周波数は、$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$と表わされる。

○解答

問 20

【方針】

荷電粒子に磁場を加えると、ローレンツ力が発生し、荷電粒子はらせん運動をする(原則

16)。らせん運動を xy 平面に投影した円運動の周期は、円運動の速さから求めればよい。

【解説】

荷電粒子は x 軸の正方向に大きさ gvB のローレンツ力を受け、速さ v の等速円運動をする。よって、円運動の半径を r とすると、運動方程式より、

$$m\frac{v^2}{r}=gvB$$

が成り立つ。等速円運動の中心座標は、$(r,0)=(\frac{mv}{gB},0)$となる。また円運動の周期 T は

$$T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{2\pi m}{gB}$$

となり、解は f である。

問 21

【方針】

電場により、z 軸方向に等加速度運動を行うことを考慮する（原則 1)。

【解説】

荷電粒子が z 軸の正方向に電場 E から受ける電気力は qE である。電荷粒子に生じる z 軸の正方向の加速度 a とする。運動方程式、$ma=qE$の関係式が成り立つ。荷電粒子が N 回転する間に z 軸方向に L 移動するので、

$$\frac{1}{2}a(\mathrm{N}T)^2=L\leftrightarrow\frac{1}{2}\left(\frac{qE}{m}\right)\left(\mathrm{N}\cdot\frac{2\pi m}{qB}\right)^2=L$$

となる。よって、$B=\pi\mathrm{N}\sqrt{\frac{2mE}{qL}}$が得られる。磁束密度 B の最小値は$\pi\sqrt{\frac{2mE}{qL}}$となり、解は d となる。

問 22

【方針】

スイッチを閉じると、回路に電流が流れ、コンデンサに蓄えられた電荷は流れていく。回路の電流が一定になるまで時間が経つと、コンデンサには電流が流れなくなる。一方で、コイルに電流変化があると、誘導起電力が発生するが、一定電流になるとなくなる(原則 17)。一定電流下という極限状態で問題を解けばよい。

【解説】

十分時間が経つと電流が一定になるので、自己誘導起電力は 0 である。コンデンサの電荷は 0 であり、電流は流れない。コイルに抵抗がないことから、流れる電流は、オームの法則より、$\frac{20}{10}=2[\mathrm{A}]$となり、解は c である。

問 23

【方針】

問 22 と同様。

【解説】

コイルに蓄えられる磁場のエネルギーは、

$$\frac{1}{2} \times 0.40 \times 2^2 = 0.80\ (\mathrm{J})$$

となり、解は b である。

問 24

【方針】

スイッチを切った閉回路において、コンデンサとコイルが並列接続された LC 回路では、回路が共振する。コンデンサから電荷が徐々に放出され、流れた電荷によりコイルに起電力が発生する。その後、コンデンサには逆方向に電荷が蓄積していき、とうとうコイルに蓄えられる磁場のエネルギーは 0 になる。上記を繰り返すことで、回路は共振する。

【解説】

コイルに蓄えられた磁場のエネルギーが 0 になるとき、コンデンサに蓄えられる静電エネルギーが最大となる。つまり、最大電圧 Vがかかる。エネルギー保存則より、

$$0.80 = \frac{1}{2} \times (10 \times 10^{-6}) \times V^2$$

より、$V = 4 \times 10^2(\mathrm{V})$が得られる。よって解は f である。

問 25

【方針】

問 24 と同様の考えで、電気振動の周期を求めればよい(原則 19)。

【解説】

電気振動の周期 T(s)は、

$$T = 2\pi\sqrt{0.40 \times (10 \times 10^{-6})}$$

となる。スイッチを ON してから、$\frac{1}{4}T(s)$後にコイルを流れる電流が 0 となる。つまりコンデンサに最大電圧がかかる。よって、$\frac{1}{4}T \cong 3.1 \times 10^{-3}(\mathrm{s})$後である。解は b である。