

東邦 2014 物理

略解

- 1 問 1.a 問 2.b
- 2 問 3.f 問 4.d
- 3 問 5.a 問 6.c
- 4 問 7.c
- 5 問 8.b 問 9.e
- 6 問 10.e 問 11.b
- 7 問 12.f 問 13.d
- 8 問 14.a 問 15.h 問 16.e
- 9 問 17.e 問 18.c 問 19.f 問 20.e
- 10 問 21.c
- 11 問 22.e 問 23.c
- 12 問 24.a 問 25.b

配点 各 4 点 (4×25)

① 力学

○原則

1 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（ $=\mu$ （静止摩擦係数） $\times N$ （垂直抗力））である。滑り出した後は、動摩擦力と言う。

2 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 $\frac{1}{2}mv^2$ と言ひ、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)は物体の速度、 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

3 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。

4 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。

5 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（ $v_A \cdot v_B$ ）と、衝突後の遠ざかる速さ（ $V_A \cdot V_B$ ）の比（反発係数）が 1 となる。

6 力のつりあいと遠心力 2つの力が同一直線上にあつて、且つ同じ大きき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 (m)は回転座標系の半径である。

7 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 (m³)を用いて、 ρVg (N)と表わされる。

○解答

問 1

【方針】

摩擦力が関与するので、原則 1 を用いる。速さが分かっているので、力学的エネルギー保

存則を用いる（原則 2）。

【解説】

AB 間の距離を x とする。小物体には重力 mg 、垂直抗力 $mg \cos \theta$ と動摩擦力 $\mu' mg \cos \theta$ がはたらく。力学的エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + 0 = 0 + mg(x \sin \theta) + \mu' mg \cos \theta \times x$$

が成り立つ。 $x = \frac{v_0^2}{2g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)}$ より、解は a となる。

問 2

【方針】

加速度は運動方程式を用いれば求まる（原則 3）。時間、速度、加速度の関係は、原則 4 の通りである。

【解説】

小物体の加速度を a とする。運動方程式は、 $ma = mg \sin \theta - \mu' mg \cos \theta$ となる。滑り落ちるのに要した時間 t は、 $x = \frac{1}{2}at^2$ の関係から、 $t = \sqrt{\frac{2x}{a}}$ が得られる。よって、 $t = \frac{v_0}{g\sqrt{\sin^2 \theta - \mu'^2 \cos^2 \theta}}$ 解は b となる。

問 3

【方針】

前問同様、原則 4 を用いて解く。

【解説】

$0 \leq x \leq x_1$ における加速度を a_1 、 x_1 に到着するときの時間を t_1 とする。 $t_1 = \frac{v_1}{a}$ と $x_1 = \frac{1}{2}a_1 t_1^2$ の関係から、 $t_1 = \frac{2x_1}{v_1}$ が得られる。解は f である。

問 4

【方針】

力学的エネルギー保存則（原則 2）が成り立つ。

【解説】

自動車の重さを m 、加速度を a_2 とする。 $\frac{1}{2}mv_1^2 + ma_2 \cdot (x_1 - x_2) = \frac{1}{2}mv_2^2$ が成り立つ。よって $a_2 = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2(x_2 - x_1)}$ より、解は d となる。

問 5

【方針】

最高点における速度の垂直成分は 0 であり、位置エネルギーが最大となることを利用して、力学的エネルギー保存則から求める。

【解説】

第一回目の最高点における高さを h とする。初速度の垂直成分は $v_0 \sin \theta$ である。力学的エネルギー保存則から、 $\frac{1}{2}m(v_0 \sin \theta)^2 + 0 = 0 + mgh$ が成り立つ。よって、 $h = \frac{v_0^2}{2g} \sin^2 \theta$ となり、解は a である。

問 6

【方針】

最高点における垂直成分の速度は 0 であり、加速度は重力だけであるので、原則 5 を用いて初速度さえ求めれば、最高点の到達時間が求まる。

【解説】

小球の加速度は g である。衝突直後の速度の垂直成分は $ev_0 \sin \theta$ と表わされる。第一回目と第二回目の最高点に到着する時間 t_1, t_2 は、 $ev_0 \sin \theta - gt_1 = 0$ と $ev_0 \sin \theta - gt_2 = 0$ から求まる。よって、求める時間は、 $t = 2t_1 + 2t_2 = \frac{2v_0}{g}(1+e)\sin \theta$ より、解は c である。

問 7

【方針】

運動方程式と、おもり 1 にははたらく遠心力（原則 6）から速さを求めればよい。

【解説】

おもり 2 の速さを v とする。おもり 1 にははたらく力は、重力 $m_1 g$ 、垂直抗力 $m_1 g$ 、張力 T 、遠心力 $m_1 \frac{v^2}{R}$ である。おもり 2 にははたらく力は、重力 $m_2 g$ 、張力 T である。運動方程式 $m_1 \frac{v^2}{R} = m_2 g$ により、おもり 1 の運動エネルギーは、 $\frac{1}{2}m_1 v^2 = \frac{1}{2}m_2 g R$ となり、解は c である。

問 8

【方針】

缶の沈んでいる分の浮力（原則 7）と缶の重さがつりあう（原則 6）。

【解説】

缶の沈んでいる体積は $\pi R^2 d_1$ であるので、力のつりあいは、 $\rho \times (\pi R^2 d_1) \times g = Mg$ となる。よって、 $d_1 = \frac{M}{\pi R^2 \rho}$ より、解は b である。

問 9

【方針】

前問と同様。

【解説】

缶の浮力 $\rho \times (\pi R^2 (h - d_2)) \times g$ が重力 Mg とつりあうので、 $d_2 = h - \frac{M}{\pi R^2 \rho}$ となる。解は c である。

② 波動

○原則

8 振動数とうなり 振動数が f_1, f_2 の 2 つの波が干渉することで、合成波の振動数が周期的に変わる現象のことを、うなりと言う。うなりの振動数 f は、 $f = |f_1 - f_2|$ と表わされる。速さ v (m/s) と振動数 f (1/s)、波長 λ (m) の関係は、 $v = f\lambda$ である。

○解答

問 10

【方針】

車 A が動く前後で波長は変わらないことを考慮して、原則 8 を用いる。車 A が観測者方向に動いた時、うねりが聞こえなくなったことから、 $f_A < f_B$ と言える。車 A が速さ v の時は、再度うねりが聞こえだしているので、 $f'_A > f_B$ である。

【解説】

静止しているときの車 A、B の振動数を f_A, f_B とする。振動数の関係から、

$$\frac{v}{f_A} = \frac{v-v}{f'_A} \quad (10-1)$$

が成り立つ。車 A が静止している時に観測される、うねりの回数は、

$$f_B - f_A = n_1 \quad (10-2)$$

車 A が速さ v の時に観測される、うねりの回数は、

$$f'_A - f_B = n_2 \quad (10-3)$$

が成り立つ。式 (10-1)、(10-2)、(10-3) より、 $f_A = \frac{v-v}{v}(n_1 + n_2)$ が得られる。解は e である。

問 11

【方針】

式 (10-1)、(10-2) と同様に、原則 8 を用いる。

【解説】

うねりが消えた時の速さを v_0 とすると、 $f_B - \frac{v}{v-v_0}f_A = 0$ が成り立つ。式 (10-2)、(10-3)

を代入して、 f_A, f_B を消せば、 $v_0 = \frac{n_1 v}{(n_1 + n_2)v - n_2 v}$ が得られる。解は b である。

③ 光学

○原則

9 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 12

【方針】

屈折率の異なる媒質中では、光の進む速さが異なる。原則 9 を用いて、光路長を求める。

【解説】

絶対屈折率 n_1 の液体に対するガラスの屈折角を θ_2 とすると、 $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta}{\sin\theta_2}$ が成り立つ。ガラス

内の光の光路長 l は、 $l = \frac{d}{\cos\theta_2} = \frac{d}{\sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\sin\theta\right)^2}}$ である。ガラス内の光の速さは $\frac{d}{n_2}$ より、ガラス

内を進む時間 t は、 $t = \frac{l}{\frac{d}{n_2}} = \frac{n_2^2 d}{c\sqrt{n_2^2 - n_1^2 \sin^2\theta}}$ と得られるので、解は f となる。

問 13

【方針】

臨界角が得られる条件を、原則 9 を用いて求めればよい。

【解説】

ガラスから屈折率 n_3 の液体に光が入るときの角度が臨界角となるので、 $\frac{n_3}{n_2} = \frac{\sin\theta_2}{\sin 90^\circ}$ である。

よって、 $\sin\theta = \frac{n_2}{n_1} \sin\theta_2 = \frac{n_3}{n_1}$ より、解は d となる。

④ 気体

○原則

10 圧力 物体の表面を押す力を圧力といい、単位面積あたりにはたらく力(N/m²)で表す。

11 理想気体の状態方程式 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 [m³]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 (=6.02×10²³)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 \mathbf{F} を距離 \mathbf{s} の間加えるとき、 $\mathbf{F} \times \mathbf{s}$ 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。

13 比熱 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。

○解答

問 14

【方針】

1 個の気体分子が壁に与える力を F 、立方体の一片の長さを L とする時、壁 S が N 個の分子から受ける圧力は、原則 10 より、 $P = \frac{FN}{L^2}$ と表わされる。力積を用いて F を求める。壁 S に向かう分子の速度を v_x とすると、一つの分子が壁 S に衝突したときに与える力積の大きさは、衝突前後の運動量の変化に等しく、原則 5 より、 $2mv_x$ である。分子が単位時間に壁 S に衝突する回数は $\frac{v_x}{2L}$ である。

【解説】

単位時間に壁 S が受ける力積は、 $F = 2mv_x \times \frac{v_x}{2L}$ である。 $\overline{v^2} = 3\overline{v_x^2}$ の関係より、壁が分子から受ける圧力は、 $P = \frac{N}{L^2} \cdot \frac{m\overline{v^2}}{3L} = \frac{Nm\overline{v^2}}{3V}$ となる。解は a となる。

問 15

【方針】

気体の状態方程式（原則 11）と問 14 の解を使って解く。

【解説】

気体の温度を T とする。気体の状態方程式から、 $PV = \frac{N}{N_0}RT$ が得られる。 $T = \frac{N_0m\overline{v^2}}{3R}$ となり、解は h である。

問 16

【方針】

理想気体の温度 1K 上げるのに必要な熱量 Q は、原則 12 より、内部エネルギーの変化に等しいことを用いる。

【解説】

気体分子 1 個の平均運動エネルギーは、問 15 の解を用いて、 $\frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3R}{2N_0}T$ である。理想気体の持つ内部エネルギー U は、 $U = N \times \frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2} \frac{N}{N_0}RT$ である。理想気体の温度 1K 上げるのに必要な熱量 Q は、 $Q = \frac{3}{2} \frac{N}{N_0}R(T+1) - \frac{3}{2} \frac{N}{N_0}RT = \frac{3NR}{2N_0}$ となり、解は e である。

問 17

【方針】

A→B 間は定積変化である。ボイル・シャルルの法則（原則 11）を用いる。

【解説】

状態 B の温度を T_B とすると、ボイル・シャルルの法則より、 $\frac{3p}{T} = \frac{4p}{T_B}$ が得られる。よって、

$T_B = \frac{4}{3}T$ となり、解は e である。

問 18

【方針】

気体のする仕事は $\Delta W = p\Delta V$ で表され、圧力-体積グラフの面積に等しい (原則 12)。B → C 間で気体が膨張しており、外部に仕事をしていることから求めればよい。

【解説】

気体のする仕事は、

$$\Delta W = -\frac{(2p + 4p) \times (2V - V)}{2} = -3pV$$

となる。気体の状態方程式より、 $3pV = RT$ なので、 $\Delta W = -RT$ と表わされ、解は c となる。

問 19

【方針】

単原子分子の理想気体の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$ である (原則 13)。

【解説】

気体が吸収した熱量は、 $Q_{AB} = \frac{3}{2}R(T_B - T) = \frac{1}{2}RT$ となる。状態 C の温度を T_c とすると、ボイル・シャルルの法則より、

$$\frac{3p \times V}{T} = \frac{2p \times 2V}{T_c}$$

が得られる。 $T_c = \frac{4}{3}T$ となり、 T_B に等しいことがわかる。よって、内部エネルギー変化は、 $\Delta U_{BC} = 0$ である。問 18 から、 $Q_{BC} = \Delta U_{BC} - W_{BC} = RT$ である。A → B → C 間で気体が吸収した熱量は $Q = Q_{AB} + Q_{BC} = \frac{3}{2}RT$ であり、解は f である。

問 20

【方針】

A → B → C → D → A 間で、気体が外部にした仕事 W は、圧力-体積のグラフで囲まれた面積に等しい。

【解説】

気体が外部にした仕事 W は、 $W = (4p - 3p) \times (2V - V) = pV = \frac{1}{3}RT$ となる。よって解は e である。

⑤ 電磁気

○原則

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

15 電気力線 電気力の様子を表現する仮想的な線を電気力線と言い、強い電気力のある場所では電気力線の密度が高くなる。電気力線の本数は、電荷 $Q(C)$ を中心とした球面から出る本数で定義され、 $4\pi kQ$ 本と表される。

16 電位 1c の電荷の位置エネルギーを電位 $V(V)$ と言い、一様な電場 $E(V/m)$ では、 $V=Ed$

で表される。ここで、 d は電荷が運ぶ2点間（電極間）の距離である。

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 $L(\text{H})$ 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。

○解答

問 21

【方針】

同じ電流で抵抗 R を増やすことにより、最大電位の測定値が上がることを考慮して解く。

【解説】

電圧計のみの時、内部抵抗 $r (=5 \times 10^3 \Omega)$ に流れる電流を I_0 とする。オームの法則より、 $rI_0=100$ (V)の関係が成立する。抵抗を増やした時、 $(r + R)I_0 = 400$ となる。よって、 $R = 15 \times 10^3$ となり、解は c である。

問 22

【方針】

電気力線の本数は $4\pi kQ$ 本（原則 15）である。

【解説】

解は e である。

問 23

【方針】

極板間の電場の強さは、電場に垂直な平面を通る電気力線の密度に等しい（原則 15）。また、電位と電場の関係（原則 16）を用いる。

【解説】

極板間の電場の強さを E とすると、 $E = \frac{4\pi kQ}{s}$ となる。電位差を V とすると、 $V = Ed = 4\pi k \frac{d}{s} Q$ となり、解は c である。

問 24

【方針】

公式通り、自己誘導起電力を求める（原則 17）。

【解説】

自己誘導起電力は、 $500 = \left| -L \times \frac{0-2}{0.04} \right|$ が成り立ち、 $L=10$ が求まる。解は a である。

問 25

【方針】

公式通り、自己インダクタンスのエネルギーを求める（原則 17）。

【解説】

$U = \frac{1}{2}LI^2 = 20$ 。よって、解は b である。