① 力学

〇原則

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（＝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。

2 力学的エネルギ保存則

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（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を位置エネルギ（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/s^2]は重力加速度である。

運動エネルギと位置エネルギの和のことを、力学的エネルギ[kg m^2/s^2]と言う。この力学的エネルギは、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（力学的エネルギ保存則）:
　力学的エネルギ＝運動エネルギ+位置エネルギ＝一定

・摩擦が関与する場合：
　力学的エネルギの減少量＝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/s^2]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。

6 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。

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/m^3]と物体の体積 V[m^{-3}]を用いて、ρVg[N]と表わされる。

〇解答の方針

問 1

AB 間の距離を x とする。原則 1 より、小物体には重力mg、垂直抗力$mgcos\,\theta$と動摩擦力$\mu' mgcos\theta$がはたらく。原則 2 を元に、力学的エネルギ保存則をたてる。

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

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

小物体の加速度を a とする。原則 3 より、運動方程式は、

$$ma = mgsin\theta - \mu' mgcos\theta$$

となる。滑り落ちるのに要した時間 t は、原則 4 から、$\mathrm{x} = \frac{1}{2}at^2$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

$0 \leq \mathrm{x} \leq x_1$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。原則 4 より、$t_1 = \frac{v_1}{a}$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

自動車の重さを m、加速度をa_2とする。原則 2 より、$\frac{1}{2}\mathrm{m}{v_1}^2 + ma_2 \cdot (x_1 - x_2) = \frac{1}{2}mv\,{}_2{}^2$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

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。原則 2 より、力学的エネルギ保存則から、

$$\frac{1}{2}\mathrm{m}(v_0 sin\theta)^2 + 0 = 0 + mgh$$

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

小球の加速度は g である。衝突直後の速度の垂直成分は、原則 5 より$\mathrm{e}v_0 sin\theta$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、$\mathrm{e}v_0 sin\theta - \mathrm{g}t_1 = 0$と$\mathrm{e}v_0 sin\theta - \mathrm{g}t_2 = 0$から求まる。よって、求める時間は、$t = 2t_1 + 2t_2 = \frac{2v_0}{g}(1+\mathrm{e})\sin\theta$より、解は c である。

問 7

おもり 2 の速さを v とする。おもり 1 にはたらく力は、原則 6 より、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 にはたらく力は、重力$m_2 g$、張力 T である。原則 3 より、運動方程式

$$m_1\frac{v^2}{R} = m_2 g$$

が成り立つ。よって、おもり 1 の運動エネルギは、$\frac{1}{2}\mathrm{m}{v_1}^2 = \frac{1}{2}m_2 gR$となり、解は c である。

問 8

缶の沈んでいる体積は$\pi R^2 d_1$であるので、原則 6 と 7 より、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

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、原則 6 と 7 より、

$$d_2 = h - \frac{M}{\pi R^2 \rho}$$

となる。解は c である。

② 波動

〇原則

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。

〇解答の方針

問 10

静止しているときの車 A、B の振動数を f_A, f_B とする。車 A が動く前後で波長は変わらないので、原則 8 から、

$$\frac{v}{f_A}=\frac{V-v}{f_A{}'} \quad (10\text{-}1)$$

が成り立つ。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、

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

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、$f_A'>f_B$ より、

$$f_A{}'-f_B=n_2 \quad (10\text{-}3)$$

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

うねりが消えた時の速さを v_0 とする。式（10-1)、(10-2) と同様に、原則 8 から、

$$f_B-\frac{V}{V-v_0}f_A=0$$

が成り立つ。式 (10-2)、(10-3) を代入して、f_A, f_B を消せば、$v_0=\frac{n_1vV}{(n_1+n_2)V-n_2v}$ が得られる。

解は b である。

③ 光学

〇原則

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。

〇解答の方針

問 12

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、原則 9 より、

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{sin\theta}{sin\theta_2}$$

が成り立つ。ガラス内の光の光路長 lは、

$$l = \frac{d}{cos\theta_2} = \frac{d}{\sqrt{1 - (\frac{n_1}{n_2}sin\theta)^2}}$$

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、

$$\mathrm{t} = \frac{l}{\frac{d}{n_2}} = \frac{{n_2}^2 d}{c\sqrt{{n_2}^2 - {n_1}^2 sin^2\theta}}$$

よって解は f となる。

問 13

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、

$$\frac{n_3}{n_2} = \frac{sin\theta_2}{sin90°}$$

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

〇原則

10　圧力

物体の表面を押す力を圧力といい、単位面積当たりにはたらく力(N/m^2)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 [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。

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。

〇解答の方針

問 14

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。壁 S が N 個の分子から受ける圧力は、原則 10 より、$P=\frac{F\mathrm{N}}{L^2}$ 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。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。よって、単位時間に壁 S が受ける力積は、

$$F=2mv_x\times\frac{v_x}{2L}$$

$$\overline{v^2}=3\overline{v_x{}^2}$$

より、$P=\frac{\mathrm{N}}{L^2}\cdot\frac{m\overline{v^2}}{3L}=\frac{\mathrm{N}m\overline{v^2}}{3V}$ となる。解は a となる。

問 15

気体の温度を T とする。原則 11 より、

$$PV=\frac{\mathrm{N}}{N_0}RT$$

が得られる。問 14 用いて P を消すと、$T=\frac{N_0 m\overline{v^2}}{3R}$ となり、解は h である。

問 16

気体分子 1 個の平均運動エネルギは、問 15 の解より、

$$\frac{1}{2}m\overline{v^2}=\frac{3R}{2N_0}T$$

理想気体の持つ内部エネルギ U は、

$$U=\mathrm{N}\times\frac{1}{2}m\overline{v^2}=\frac{3}{2}\frac{\mathrm{N}}{N_0}RT$$

原則 12 より、理想気体の温度 1K 上げるのに必要な熱量 Q は、内部エネルギの変化に等しい。

$$Q=\frac{3}{2}\frac{\mathrm{N}}{N_0}R(T+1)-\frac{3}{2}\frac{\mathrm{N}}{N_0}RT=\frac{3}{2}\frac{\mathrm{N}R}{N_0}$$

となり、解は e である。

問 17

A→B 間は定積変化である。状態 B の温度を T_B とすると、原則 11 より

$$\frac{3p}{T}=\frac{4p}{T_B}$$

よって、$T_B=\frac{4}{3}T$ となり、解は e である。

問 18

原則 12 より、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。B→C 間で気体が膨張しており、外部に仕事をしている。よって、

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

となる。原則 11 より、$3pV=RT$ なので、$\Delta W=-RT$ と表わされ、解は c となる。

問 19

単原子分子の理想気体の定積モル比熱は、原則 13 より $\frac{3}{2}R$ である。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、原則 11(ボイル・シャルルの法則)より、

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

となり、$T_c=\frac{4}{3}T$ が得られ、T_B に等しいことがわかる。よって、内部エネルギ変化 $\Delta U_{BC}=0$

より、問 18 と原則 12 から、

$$Q_{BC} = \Delta U_{BC} - W_{BC} = RT$$

となる。A→B→C 間で気体が吸収した熱量は、

$$\mathrm{Q} = Q_{AB} + Q_{BC} = \frac{3}{2}RT$$

よって解は f である。

問 20

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

$$W = (4p - 3p) \times (2V - V) = pV = \frac{1}{3}RT$$

となる。よって解は e である。

⑤　**電磁気**

〇原則

14　オームの法則

電位は V=RI と表される。R [Ω]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 [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は$V=\frac{1}{2}LI^2$となる。

〇解答の方針

問 21

電圧計のみの時、内部抵抗 r(=$5\times10^3\Omega$)に流れる電流をI_0とすると、原則 14 より、rI_0=100 (V)の関係が成立する。同じ電流で抵抗 R を増やすことにより、最大電位の測定値を上げるので、

$$(\mathrm{r}+R)I_0=400$$

となる。よって$R=15\times10^3$となり、解は c である。

問 22

原則 15 より、電気力線の本数は$4\pi kQ$本なので、解は e である。

問 23

極板間の電場の強さをE、電位差をVとする。原則 15 より、Eは電場に垂直な平面を通る電気力線の密度であるため、$E=\frac{4\pi kQ}{s}$となる。原則 16 より、$V=Ed=4\pi k\frac{d}{s}Q$となり解は c である。

問 24

自己誘導起電力は、原則 17 より、

$$500 = \left| -L \times \frac{0-2}{0.04} \right|$$

が成り立ち、L=10 が求まる。解は a である。

問 25

原則 17 より、$U = \frac{1}{2}LI^2$=20。よって、解は b である。