



# 2021 年度 杏林大学

【 講 評 】

どれも典型的で易しい問題であった。去年と同様、高得点争いになることが予想される。

ⅠⅡは小問集合。どの問題も基本的であるため、必ず得点しておきたい。数値計算では計算ミスに注意。

Ⅲ前半は斜方投射、後半は衝突の基礎的な問題。重心系の議論で素早く解答したい。

Ⅳはオーソドックスな自由電子モデルの問題。誘導もあり易しい。

【 解 答 ・ 解 説 】

I

解答

ア 2	イ 5	ウ 3	エ 8	オ 1	カ 3
キ 1	ク 3	ケ 3	コ 1	サ 8	シ 3
ス 2	セ 4	ソ 0	タ 2	チ 0	ツ 2
テ 1	ト 2	ナ 0	ニ 4	ヌ 0	ネ 3

解説

(1) 以下、ばねの自然長からの伸びを  $x$ [m] とする。

(a)  $19.6 \times x = 50 \times 10^{-3} \times 9.8$  より  $x = 0.025 \text{ m} = 2.5 \text{ cm}$

(b) 見かけの重力加速度は  $15.0 \text{ m/s}^2$  である。よって、 $x = \frac{5 \times 15.0}{19.6} \approx 3.8 \text{ cm}$

(c) 見かけの重力加速度は  $5.0 \text{ m/s}^2$  である。よって、 $x = \frac{5 \times 5.0}{19.6} \approx 1.3 \text{ cm}$

(2)  $M$  を分子量、 $R$  を気体定数、 $T$  を絶対温度とすると、 $\sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3RT}{M \times 10^{-3}}}$  である。ヘリウムの分子量は酸素の分子量の  $\frac{1}{8}$  であるから、2乗平均速度は  $2\sqrt{2}$  倍となる。よって、 $4.6 \times 10^2 \times 2\sqrt{2} \approx 1.3 \times 10^3 \text{ m/s}$  となる。さらに、温度が  $273^\circ\text{C}$  のとき  $T$  は2倍だから、2乗平均速度は  $\sqrt{2}$  倍となり、 $4.6 \times 10^2 \times 2\sqrt{2} \times \sqrt{2} \approx 1.8 \times 10^3 \text{ m/s}$  となる。

(3) レンズの公式を用いると  $\frac{1}{2} + \frac{1}{b} = \frac{1}{4}$  より  $b = -4$  となるので、後方  $4.0 \text{ cm}$  に倍率  $2.0$  の正立虚像ができる。

また、 $\frac{1}{5} + \frac{1}{b} = \frac{1}{4}$  より  $b = 20$  だから、前方  $20 \text{ cm}$  に倍率  $4.0$  の倒立実像ができる。

II

解答

ア	4	イ	0	ウ	6	エ	3	オ	9	カ	5
キ	3	ク	9	ケ	2	コ	4				

解説

(1) 導線 C に並行でないコイルの辺を流れる電流に働く力は上下の電流の流れる向きが逆であるため、打ち消し合う。そのため、導線に並行なコイルの辺に働く力のみを考える。導線に並行なコイルの辺のうち、導線に近い方の位置の磁場の大きさは

$$B_L = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5.0}{2\pi \times 2.0 \times 10^{-2}} = 5.0 \times 10^{-5} \text{ T}$$

である。導線から遠い方の辺の導線との距離は近い方の距離の 3 倍だから、この位置での磁場の大きさは

$$B_R = \frac{1}{3} B_L = \frac{5.0}{3.0} \times 10^{-5} \text{ T}$$

となる。したがって、コイルが全体として受ける力はコイルから見て導線 C へ向かう向きを正として、

$$\left(5 - \frac{5}{3}\right) \times 10^{-5} \times 3.0 \times 4.0 \times 10^{-2} = 4.0 \times 10^{-6} \text{ N}$$

である。したがって、力の大きさは  $4.0 \times 10^{-6} \text{ N}$  で、向きは電流  $I$  に近づく方向である。

(2) (a) 核分裂反応では反応の前後で質量数の和と原子番号の和はそれぞれ変化しない。したがって、

$$235 + 1 = A + 139 + 2 \Leftrightarrow A = 95。また、92 + 0 = Z + 53 + 0 \Leftrightarrow Z = 39。$$

(b)  $\frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3$  だから、半減期の 3 倍である。ゆえに、 $8 \times 3 = 24$  日。

III

解答

ア	2	イ	2	ウ	6	エ	3	オ	5	カ	8
キ	5	ク	3	ケ	2	コ	3	サ	4	シ	9
ス	4	セ	3	ソ	2	タ	9	チ	9		

解説

(a) 時刻  $t$  における物体 B の速度の鉛直成分は 0 だから、 $V \sin \theta - gt = 0 \Leftrightarrow t = \frac{V \sin \theta}{g}$  である。

このとき、 $V \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 = h$  より  $h = \frac{V^2 \sin^2 \theta}{2g}$  である。ここで、 $t = \frac{d}{V \cos \theta}$  でもあるから、

$$d = tV \cos \theta = \frac{V^2 \sin \theta \cos \theta}{g} \text{ である。よって } \frac{h}{d} = \frac{V^2 \sin^2 \theta}{2g} \cdot \frac{g}{V^2 \sin \theta \cos \theta} = \frac{\tan \theta}{2} \text{ である。}$$

(b) 図において O から Q へと向かう向きを正とする。重心速度は  $\frac{r}{1+r}u_0$  で、衝突後の相対速度は  $eu_0$  であるから、

$$v = \frac{r}{1+r}u_0 + \frac{r}{1+r}eu_0 = \frac{(1+e)r}{1+r}u_0, \quad u = \frac{r}{1+r}u_0 - \frac{1}{1+r}eu_0 = \frac{r-e}{1+r}u_0$$

物体 B が左向きにはね返るのは  $u < 0 \Leftrightarrow r - e > 0$  のとき、すなわち、 $e > \frac{2}{3}$  のとき。

(c) 高さ  $h$  まではね上がる時、はじめに床に衝突してから次に衝突までにかかる時間は  $2\sqrt{\frac{2h}{g}}$  である。衝突のたびに力学的エネルギーは  $e^2$  倍になるので、最高点は  $e^2$  倍になる。鉛直方向の速さは衝突ごとに  $e$  倍になる。したがって、一度床に衝突してから再度床に衝突するまでにかかる時間は  $e = \frac{2}{3}$  倍となる。ゆえに、点 Q から点 R に移動するまでにかかる時間は

$$\left(1 + \frac{4}{3} + \frac{8}{9}\right) \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{29}{9} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

だから、2 点 Q, R 間の距離は  $\frac{29}{9}v\sqrt{\frac{2h}{g}}$  である。

## IV

## 解答

ア 6	イ 8	ウ 2	エ 6	オ 9	カ 3
キ 7	ク 8	ケ 6	コ 4	サ 9	シ 2
ス 9					

## 解説

(a) 導体は一様で電圧は一定だから、 $E = \frac{V}{L}$  であり、自由電子に働く力の大きさは  $F_E = eE = \frac{eV}{L}$  である。自由電子の質量は時間変化せず、自由電子に働く力は一定だから自由電子は等加速度運動をする。加速度は  $\frac{eV}{mL}$  だから、 $\frac{1}{2} \cdot \frac{eV}{mL} \cdot T_a^2 = L$  となる。よって、 $T_a = L\sqrt{\frac{2m}{eV}}$  である。

(b) 抵抗力と電場から受ける力が釣りあうとき、 $k\bar{v} = F_E \Leftrightarrow \bar{v} = \frac{eV}{kL}$  のとき。このとき、自由電子は等速度運動をするから、 $\frac{eV}{mL} \cdot T_b = \frac{eV}{kL} \Leftrightarrow T_b = \frac{m}{k}$  である。

(c) 体積は  $S\bar{v}\Delta t$  であり、個数は  $nS\bar{v}\Delta t$  である。 $I = \frac{enS\bar{v}\Delta t}{\Delta t}$  だから、 $I = enS\bar{v}$  となる。ここで、 $\bar{v} = \frac{eV}{kL}$  より  $I = enS \cdot \frac{eV}{kL}$  であり、

$$R = \frac{V}{I} = \frac{kL}{e^2nS}$$

となる。ここで、右辺は定数であるから、 $R$  は定数である。電流と電圧のこの関係をオームの法則という。また、 $R = \rho \frac{L}{S}$  より、

$$\rho = R \frac{S}{L} = \frac{k}{e^2n} = \frac{m}{e^2n} \cdot \frac{k}{m} = \frac{m}{e^2nT_b}$$

である。

お問い合わせは ☎0120-302-872

<https://keishu-kai.jp/>