令和４年度 次世代の科学技術を担う人材育成事業

福岡県
高校生科学技術コンテスト
ファーストステージ

物理

解答解説

受験番号	
氏　　名	
所属校名	

福岡県教育委員会

第１問

【出題のねらい】

力学，電磁気，波動，熱，原子の各分野の基礎となる法則・概念の理解や，その応用力をみると同時に，問題を通してそれらの理解度を高める。

【解答】

問１　㋐

問２　㋓

問３　㋒

問４　$\boxed{1}$　㋐

　　　$\boxed{2}$　㋐

問５　㋔

【解説】

問１　$\sqrt{\dfrac{g\lambda}{2\pi}}$ の次元式は，

$$〔\{m \cdot s^{-2} \cdot m\}^{1/2}〕=〔m/s〕$$

となり，速度の次元式と一致する。㋐　……**(答)**

問２　x 軸正の向きに速さ v で進む振幅 A の正弦波は，θ を初期位相として，

$$y = A\sin\left\{2\pi\left(t - \frac{x}{v}\right) + \theta\right\}$$

と表される。この形になるように変形すると，

$$y = 0.2\sin 2\pi\left(t - \cfrac{x}{\cfrac{2\pi}{0.4}}\right)$$

$$= 0.2\sin\left\{2\pi\left(t - \frac{x}{5\pi}\right) + 0\right\}$$

これより，速さは 5π となる。㋓　……**(答)**

問３　Cの温度は，AとBのみで熱平衡に達した温度と一致していたと考えればよいので，

$$C_0\{t - (-8)\} = 2C_0(70 - t) \qquad \therefore \quad t = 44\ ℃$$

㋒　……**(答)**

問４　$\boxed{1}$　磁石間にはたらく磁力は，ほぼすぐ隣の磁石との間のものと考えてよいので，一番下の磁石と中央の磁石の間の磁気力が，浮遊している二つの磁石の重さを支えていて，中央の磁石と一番上の磁石の間の磁力が，一番上の磁石の重さを支えている。磁力は，磁石間の距離がのびれば小さくなるので，磁石の浮遊の様子は㋐となる。

㋐　……**(答)**

$\boxed{2}$　一番下の磁石にはたらく垂直抗力が，水平台の上にある全ての磁石の重さを支えているので，この垂直抗力は磁石１個の重さの３倍の大きさをもつ。

㋐　……**(答)**

問５　α 崩壊の回数は，質量数の減少と直接関係している。

$$A = 232 - 5 \times 4 = 212$$

次に，原子番号は，α 崩壊と β 崩壊の両方の回数に関係していて，

$$Z = 90 - 5 \times 2 + 4 \times 1 = 84$$

これらに該当するのは，${}^{212}_{84}\mathrm{Po}$ である。

㋔　……**(答)**

第２問

【出題のねらい】

〔A〕クーロンのまとめた経験則である摩擦力の性質をどのくらい理解しているかを確認する。摩擦角の導入も兼ね，特に摩擦係数が質量や接触面積によらないことの事実の理解を問うた。２種類の異なる静止摩擦係数の物体を合体させた「合成静止摩擦係数」なるものが考えられることについて考察してもらった。

〔B〕日常生活の中での摩擦力の役割の大切さに気づかせ，電流の熱作用と摩擦熱の類似性についても考察してもらった。

【解答】

〔A〕

問１　(イ)

問２　(ア)

問３　(ア)

〔B〕

問４　(イ)，(オ)

問５　(カ)

問６　(エ)

問７　(ア)，(ウ)

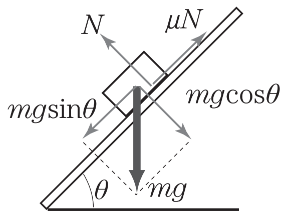
問８　$e\dfrac{V}{l}$

問９　7×10^{-2} mm/s (0.07 mm/s も可)

【解説】

〔A〕

問１



斜面上の物体にはたらく力のつり合いは，

$$\begin{cases} mg\sin\theta = \mu N \\ mg\cos\theta = N \end{cases}$$

辺々を割って，$\tan\theta = \mu$　(イ)　……(答)

問２　摩擦角は，接触面の性質（材質や面の状態など）のみで決まり，物体の重さや，接触面の大きさによらない。

P と P_a は，接触面積は同じで，重さのみが異なる。　→ $\theta_0 = \theta_a$

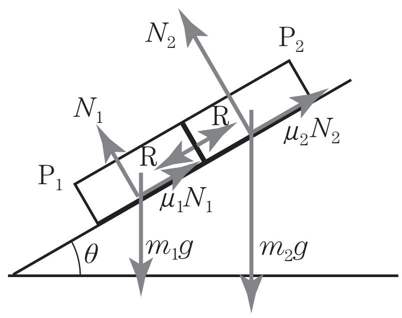
P_a と P_b は，重さが同じで，接触面積のみが異なる。　→ $\theta_a = \theta_b$

P_c と P は，接触面積と重さが２倍異なる。

→ $\theta_c = \theta_0$

∴　$\theta_a = \theta_b = \theta_c = \theta_0$　(ア)　……(答)

問３



P_1 と P_2 の合成積み木の摩擦角を θ とする。すべり出す直前のそれぞれの積み木にはたらく摩擦力が最大摩擦力に達している。P_1 と P_2 の接着面を通しての垂直抗力を R とすると，力のつり合いは，

$$\mathrm{P}_1：\begin{cases} m_1 g \sin\theta + R = \mu_1 N_1 \\ N_1 = m_1 g \cos\theta \end{cases}$$

$$\mathrm{P}_2：\begin{cases} m_2 g \sin\theta = R + \mu_2 N_2 \\ N_2 = m_2 g \cos\theta \end{cases}$$

合体後の静止摩擦係数は，R と N_1，N_2 を消去して，

$$\tan\theta = \frac{\mu_1 m_1 + \mu_2 m_2}{m_1 + m_2}$$

(ア)　……(答)

〔B〕

問4

(ア)　タイヤと路面との摩擦がないと車輪が空回りする。

(イ)　磁力と摩擦は結びつかない。

(ウ)　紙という素材と触れた鉛筆の芯が摩耗し，文字として残る。

(エ)　静止摩擦力が静止を継続させる。

(オ)　万有引力による運動であり，摩擦とは直接の関係はない。

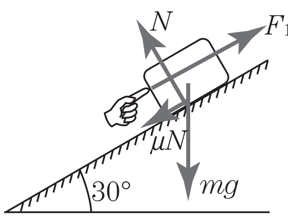
(カ)　バイオリンでは，馬の尻尾でできた弓によって弦がこすられるときの音を増幅している。

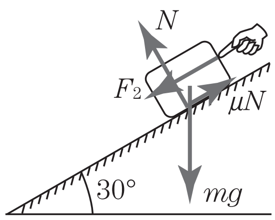
(キ)　まさに摩擦力利用の典型例である。

(ク)　結んだ帯は，摩擦力がはたらくことではどけない。

以上から，(イ)，(オ)　……(答)

問5





斜面と物体の間の静止摩擦係数は，

$$\mu = \tan 45^\circ = 1.0$$

斜面からの垂直抗力を N とすると，力のつり合いは，

$$図1：\begin{cases} F_1 = mg\sin 30^\circ + 1.0 \times N \\ N = mg\cos 30^\circ \end{cases}$$

$$図2：\begin{cases} F_2 + mg\sin 30^\circ = 1.0 \times N \\ N = mg\cos 30^\circ \end{cases}$$

$$\therefore \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{mg\left(\dfrac{1}{2} + 1.0 \times \dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)}{mg\left(-\dfrac{1}{2} + 1.0 \times \dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)}$$

$$= \frac{\sqrt{3}+1}{\sqrt{3}-1}$$

$$= 2 + \sqrt{3}$$

$$\fallingdotseq 3.7$$

(カ)　……(答)

問６　求めるものは，重力の仕事率であり，

$$mgv_0 \sin 30° = \frac{1}{2}\, mgv_0$$

(エ)　……（答）

問７　運動エネルギーは変化しないが，高さが減少することにより，重力の位置エネルギーは減少する。したがって，力学的エネルギーも減少する。

(ア)，(ウ)　……（答）

問８　電子は動きを妨げる抵抗力を受けるが，電子が電場から受ける力とつり合うので，等速度で運動を継続できる。その大きさは，

$$f = eE = e\,\frac{V}{l} \quad \text{……（答）}$$

問９　「自由電子と電流」のまとめの公式より，

$$I = nevS$$

$$\therefore \quad v = \frac{I}{neS}$$

$$= \frac{1}{8.5\times10^{28}\times1.6\times10^{-19}\times(10^{-3})^2}$$

$$\fallingdotseq 7\times10^{-5}\,[\mathrm{m/s}]$$

$$= 7\times10^{-2}\,[\mathrm{mm/s}] = 0.07\,[\mathrm{mm/s}]$$

……（答）

第３問

【出題のねらい】

〔A〕磁場面内の回路導線にはたらくアンペール力は，回路形状に依存しないという興味ある事実に気付いてもらい，それを利用して問題の考察を深めてもらう。〔B〕磁場面内の回路導線にはたらくアンペール力のモーメントは，回路が囲む面積に比例するという興味ある事実に気付いてもらい，それを利用して発展問題に挑戦してもらう。

【解答】

〔A〕

問１　IBl

問２　IBl

問３　$\boxed{1}$　(ア)

$\boxed{2}$　(ア)

$\boxed{3}$　(ア)

$\boxed{4}$　IBl

〔B〕

問４　$\dfrac{IBlh}{mg}$

問５　$\dfrac{2}{3}\dfrac{IBlh}{mg}$

問６　$\boxed{1}$　(オ)

$\boxed{2}$　$\dfrac{\sqrt{3}}{4}\dfrac{IBl^2}{mg}$

$\boxed{3}$　$\dfrac{\pi}{8}\dfrac{IBl^2}{mg}$

問７　$\dfrac{h}{36}(36l+\pi h)\dfrac{IB}{mg}$

【解説】

〔A〕

問１　コイルには，x 軸に平行な部分のみに，磁場から y 軸負の向きに力がはたらく。コイルにはたらく力の鉛直方向のつり合いより，

$N_1=IBl$　……(答)

問２　**問１**と同様に，コイルには x 軸に平行な部分のみに，磁場から y 軸負の向きに力がはたらく。コイルにはたらく力の鉛直方向のつり合いより，

$$N_2=\frac{1}{3}IBl\times 3=IBl \quad \text{……(答)}$$

問３　近似経路上の電流 I に磁場から力がはたらくのは，$\boxed{x}$ 軸に平行な線分の部分で，その力の総和は，ジョイント a，b を直線導線で結んだときに流れる電流にはたらく力$\boxed{\text{と等しい}}$。

コイル３の端点はコイル４の端点と同じだから，コイル３を流れる電流にはたらく力は，コイル４を流れる電流にはたらく力$\boxed{\text{と等しく}}$，その大きさは，

$N_3 = N_4 = \boxed{IBl}$となる。

……(答)　$\boxed{1}$～$\boxed{4}$

〔B〕

問４　コイルには x 軸に平行な部分のみに磁場から y 軸負の向きに力がはたらく。コイルにはたらく力の軸 ab の周りのモーメントのつり合いより，

$$IBl\times h=mg\times L_1 \qquad \therefore\ L_1=\frac{IBlh}{mg}$$

……(答)

問５　**問４**と同様に，コイルにはたらく力の軸 ab の周りのモーメントのつり合いより，

$$IB\frac{l}{3}\times h+IB\frac{l}{3}\times\frac{h}{3}+IB\frac{l}{3}\times\frac{2h}{3}=mg\times L_2$$

$$\therefore\ L_2=\frac{2}{3}\frac{IBlh}{mg} \quad \text{……(答)}$$

問６　$\boxed{1}$ $L_1=lh\times\dfrac{IB}{mg}$，$L_2=\dfrac{2}{3}lh\times\dfrac{IB}{mg}$

となっていることより，つり合いの距離 L は線分 ab とコイルによって囲まれる部分の面積

に比例すると推測できる。 ……(答)

$\boxed{2}$

$$L_3 = \frac{1}{2}\,l\,\frac{\sqrt{3}l}{2} \times \frac{IB}{mg}$$

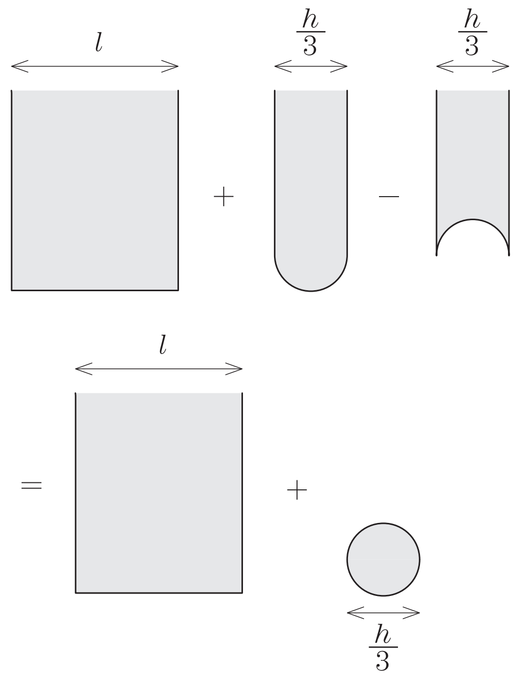
$$= \frac{\sqrt{3}}{4}\,\frac{IBl^2}{mg} \quad \text{……(答)}$$

$\boxed{3}$

$$L_4 = \frac{1}{2}\,\pi\left(\frac{l}{2}\right)^2 \times \frac{IB}{mg}$$

$$= \frac{\pi}{8}\,\frac{IBl^2}{mg} \quad \text{……(答)}$$

問７　コイル１の答えに，円形ループ部分からのモーメントが加わったものとなる。



よって，

$$L_5 = lh \times \frac{IB}{mg} + \pi\left(\frac{h}{6}\right)^2 \frac{IB}{mg}$$

$$= \frac{h}{36}\,(36l + \pi h)\,\frac{IB}{mg} \quad \text{……(答)}$$

第４問

【出題のねらい】

〔A〕では，球形容器内の気体分子が壁に与える力が，意外にも等速円運動の知識と関係していることに気付いてもらい，そのことを利用して，単原子分子理想気体の内部エネルギーの計算が可能となることを理解する。〔B〕では，球形容器が断熱膨張したとき，気体分子の運動エネルギー，および分子運動の平均速度への影響を近似計算を通して調べる。微小変化に対する一次近似式をあらかじめ与えて計算してもらう。

【解答】

問１　$\dfrac{3}{2}\dfrac{R}{N_A}T$

問２　(ウ)

問３　$\boxed{1}$　(エ)

　　　$\boxed{2}$　(カ)

問４　$\boxed{1}$　(ア)

　　　$\boxed{2}$　(ア)

問５　$\dfrac{m\bar{v}^2N_A}{4\pi r^3}$

〔B〕

問６　(キ)

問７　(カ)

【解説】

問１　運動エネルギーの平均値をKとすると，

$$KN_A = \frac{3}{2}RT$$

$$\therefore\quad K = \frac{3}{2}\frac{R}{N_A}T \quad\cdots\cdots(答)$$

問２　$\boxed{1}$　幾何学的な関係より，

$$P_1P_2 = 2r\cos\theta$$

$$\therefore\quad \Delta t = \frac{P_1P_2}{v} = \boxed{\frac{2r}{v}}\cos\theta$$

$\boxed{2}$　力積＝運動量の変化の関係より，

$$i = 2mv\cos\theta = 2mv\cos\theta$$

したがって，(ウ)　……(答)

問３　$\boxed{1}$　この分子の１秒間の壁との衝突回数νは，

$$\nu = \frac{1}{\Delta t} \propto \frac{1}{\cos\theta}$$

毎秒の力積の和は，

$$i\nu \propto \cos\theta \times \frac{1}{\cos\theta} \propto (\cos\theta)^0$$

となり，$\cos\theta$に無関係になることがわかる。

(エ)　……(答)

$\boxed{2}$　$\theta = 60°$のときの１秒間の壁との衝突回数をν'，一回の衝突での力積をi'とする。

$$\frac{\nu'}{\nu} \propto \frac{\cos 0°}{\cos 60°} = 2,\quad \frac{i'}{i} \propto \frac{\cos 60°}{\cos 0°} = \frac{1}{2}$$

衝突頻度は２倍になるが，各撃力のグラフとt軸との間の面積は半分になることより，グラフは(カ)となる。　……(答)

問４　$\boxed{1}$　力積の定義より，単位時間当たりの力積は「力」の次元をもつ。(ア)　……(答)

$\boxed{2}$　$\theta \longrightarrow 90°$の極限では，気体分子は壁に触れながら等速円運動をするので，壁との間の作用・反作用力は，円運動の向心力と等しく，$m\dfrac{v^2}{r}$となるが，壁との衝突による壁を押す力の平均値は，θによらないことが示されているので，この値は任意の入射角の衝突で成立する。(ア)　……(答)

問５　気体の圧力は，全分子が壁に与える力を表面積で割れば得られるので，

$$P = \frac{m\dfrac{\bar{v}^2}{r}N_A}{4\pi r^2} = \frac{m\bar{v}^2N_A}{4\pi r^3} \quad\cdots\cdots(答)$$

〔B〕

問６　断熱変化においての熱力学第一法則より，

$$\Delta U + P\Delta V = Q = 0$$

$$\frac{3}{2}R\Delta T + P\Delta V = 0$$

両辺を PV で割って,

$$\frac{3}{2}\frac{R\Delta T}{PV} + \frac{\Delta V}{V} = 0$$

$$\Longleftrightarrow \quad \boxed{\frac{3}{2}}\frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta V}{V} = 0 \quad \cdots\cdots ①$$

(キ) ……(答)

問7 $K \propto T$ より,

$$TK^{-1} = 定数$$

$$\Longleftrightarrow \quad \frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta K}{K} \quad \cdots\cdots ②$$

$V \propto r^3$ より,

$$Vr^{-3} = 定数$$

$$\Longleftrightarrow \quad \frac{\Delta V}{V} - 3\frac{\Delta r}{r} = 0 \quad \cdots\cdots ③$$

②,③を①に代入して,

$$\frac{3}{2}\frac{\Delta K}{K} + 3\frac{\Delta r}{r} = 0$$

$$\Longleftrightarrow \quad \frac{\Delta K}{K} + 2\frac{\Delta r}{r} = 0$$

$$\Longleftrightarrow \quad Kr^2 = 一定$$

これより,

$$\frac{1}{2}mv^2 \cdot r^2 = 一定 \quad \Longleftrightarrow \quad vr = 一定$$

より,速さは $\boxed{\frac{1}{2}}$ 倍となる。(カ) ……(答)

【別解】 $T^{\frac{3}{2}}V =$ 一定において,$K \propto T$,
$V \propto r^3$ であるから,

$$K^{\frac{3}{2}}r^3 = 一定$$

$K \propto v^2$ より,

$$v^3r^3 = 一定 \quad \Longleftrightarrow \quad vr = 一定$$

より,速さは $\boxed{\frac{1}{2}}$ 倍となる。