物　理

【解答・採点基準】

(100点満点)

問題番号		設問	解答番号	正解	配点	自己採点
第1問		問1	1	5	4	
		問2	2	2	5※1	
		問3	3	6	4	
		問4	4	2	5※2	
		問5	5	3	4	
			6	4	4	
第1問　自己採点小計					(26)	
第2問	A	問1	7	6	5	
			8	3	4	
		問2	9	2	4	
			10	3	4	
	B	問3	11	5	5	
		問4	12	2	4	
第2問　自己採点小計					(26)	
第3問	A	問1	13	4	5	
		問2	14	2	4	
		問3	15	5	4	
	B	問4	16	2	5	
		問5	17	1	4	
			18	2	4	
第3問　自己採点小計					(26)	
第4問	A	問1	19	2	4	
		問2	20	4	5	
		問3	21	6	4	
	B	問4	22	2	4	
		問5	23	4	5※3	
第4問　自己採点小計					(22)	
自己採点合計					(100)	

(注)

1　※1は，①，③のいずれかを解答した場合は2点を与える。

2　※2は，①を解答した場合は2点を与える。

3　※3は，③を解答した場合は2点を与える。

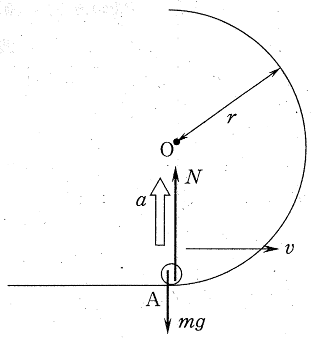
【解説】

第 1 問　小問集合

問 1　小球は点 A に達した直後から半径 r の円運動をはじめる。**円運動の向心加速度** a は点 O の向きに $\dfrac{v^2}{r}$ なので，円運動の中心方向の運動方程式は，

$$m\frac{v^2}{r}=N-mg$$

$$\therefore\quad N=\underline{\frac{mv^2}{r}+mg}$$

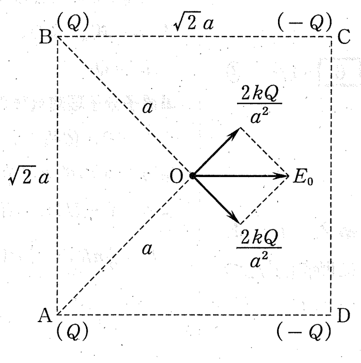


$\boxed{1}$ の答　⑤

問 2　小球にはたらく重力と弾性力がつりあう位置，すなわち台の上面が単振動の振動中心である。反発係数は $e\,(0<e<1)$ であるので，小球の衝突直後の速さは，衝突直前の速さに比べて<u>小さくなる</u>$_{ア}$。単振動の周期は $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ であり，小球が板と衝突してから次に板と衝突するまでの時間は半周期なので，<u>変化しない</u>$_{イ}$。

$\boxed{2}$ の答　②

問 3　点 B と点 D の点電荷による点 O の合成**電場**は，B から D の向きに $2\times k\dfrac{Q}{a^2}$ である。点 A と点 C の点電荷による点 O の合成電場は，A から C の向きに $2\times k\dfrac{Q}{a^2}$ である。したがって，点 O における電場 E_0 は，図 3 の右向きに強さ $\underline{\dfrac{2\sqrt{2}\,kQ}{a^2}}$。



$\boxed{3}$ の答　⑥

【ポイント】

円運動の向心加速度

半径 r，速さ v，角速度 ω で等速円運動している物体の，円の中心向きの加速度(向心加速度)は，

$$a=\frac{v^2}{r}=r\omega^2$$

点電荷による電場

点電荷 Q から距離 r 離れた点の電場の強さ E

$$E=k\frac{|Q|}{r^2}$$

$Q>0$ のとき電場は点電荷から離れる向き

$Q<0$ のとき電場は点電荷に近づく向き

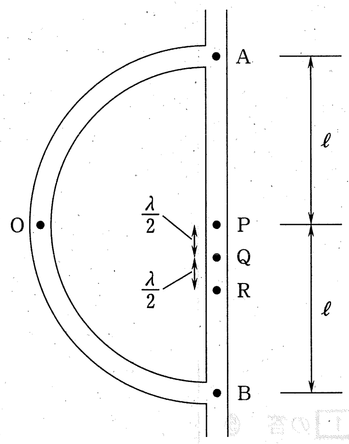
物理

問4　点Aと点Bに同位相の波源があると考えてよい。

$AP=BP=\ell$ とする。$PQ=QR=\dfrac{\lambda}{2}$ なので，

$AQ-BQ=\left(\ell+\dfrac{\lambda}{2}\right)-\left(\ell-\dfrac{\lambda}{2}\right)=\lambda$ となり，**波の干渉条件**より，点Qで波は強めあい，点Qで水面は大きく振動し$_{ウ}$，同様に，$AR-BR=2\lambda$ となり，点Rでは水面は大きく振動する$_{エ}$。

周期を $4T$ にすると，**波の基本公式**より，波長は $\lambda'=4\lambda$ となる。したがって，$AR-BR=2\lambda=\dfrac{1}{2}\lambda'$ となるので，波は弱めあい，点Rで水面は振動しない$_{オ}$。



$\boxed{4}$ の答　②

問5　A室の体積が増加したので，A室の温度が上昇した。これより，B室からA室へ熱が移動したことがわかる。熱は温度の高い方から低い方へ移動するので，$T_A<T_B$。

$\boxed{5}$ の答　③

気体全体として外部にした仕事は0であり，外部と熱のやり取りがないので，**熱力学第1法則**より，**気体の内部エネルギー**の和は一定に保たれる。求める気体の温度を T，気体定数を R とする。

$$\therefore\quad \frac{3}{2}n_ART_A+\frac{3}{2}n_BRT_B=\frac{3}{2}(n_A+n_B)RT$$

$$T=\frac{n_AT_A+n_BT_B}{n_A+n_B}$$

$\boxed{6}$ の答　④

第2問　電気分野

A

問1　時刻 $t=0$ では，コンデンサーにはまだ電荷は蓄えられておらず，電流が流れると徐々に電荷は増加して，十分に時間がたつと，電流は0になり，電気量 Q は一定値に達する。

波の干渉条件

二つの波源が同位相で波長が同じとき

強めあう条件；

(経路差) $=m\lambda$

弱めあう条件；

(経路差) $=\left(m+\dfrac{1}{2}\right)\lambda$

m；整数　λ；波長

波の基本公式

(波の速さ) = (振動数) × (波長)

= (波長) ÷ (周期)

熱力学第1法則

$Q=\Delta U+W_{out}$

Q　；気体が吸収した熱量

ΔU；内部エネルギーの変化

W_{out}；気体が外へした仕事

気体がされた仕事 W_{in} を用いると，

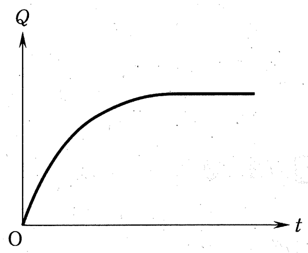
$W_{in}=-W_{out}$ より，

$\Delta U=Q+W_{in}$

単原子分子理想気体の内部エネルギー

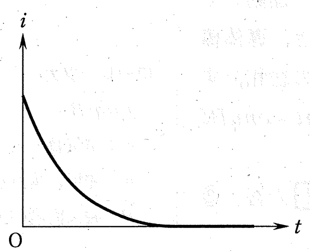
圧力 P，体積 V，絶対温度 T，物質量 n モルの単原子分子理想気体の内部エネルギー U は，気体定数を R とすると，

$U=\dfrac{3}{2}nRT=\dfrac{3}{2}PV$



$\boxed{7}$ の答　⑥

微小時間 Δt の間の電荷の変化量を ΔQ とすると，電流は，$i=\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$ と表され，これは上図のグラフの接線の傾きに等しい。したがって，はじめ電流値は最大で，次第に減少し，十分に時間がたつと0になる。



$\boxed{8}$ の答　③

問2　電池の電圧が V のとき，スイッチを閉じた直後はコンデンサーの電気量と電圧は0なので，**キルヒホッフの法則**より，

$$V=Ri_1+0 \qquad \therefore \quad i_1=\frac{V}{R}$$

十分に時間がたつと，電流は0となり，コンデンサーには電圧 V がかかり，$Q=CV$ の電荷が蓄えられる。

スイッチを開き，電池の電圧を $2V$ にしてスイッチを閉じた瞬間には，コンデンサーの電圧はまだ V なので，キルヒホッフの法則より，

$$2V=Ri_2+V \qquad \therefore \quad i_2=\frac{V}{R}$$

したがって，$\dfrac{i_2}{i_1}=\underline{1}$。

$\boxed{9}$ の答　②

十分に時間がたつと，コンデンサーには $2V$ の電圧がかかり，$Q'=2CV$ の電荷が蓄えられている。

電池の電圧が V のとき，スイッチを閉じてから十分に時間がたつまでの間に電池が運んだ電荷は $Q=CV$ なので電池がした仕事は，

$$W_1=QV=CV^2$$

スイッチを開き，電池の電圧を $2V$ にしてスイッチを閉じ，十分に時間がたつまでの間に電池が新たに運んだ電荷は，

キルヒホッフの法則

閉回路について，

(起電力の総和)＝(電位降下の総和)

$Q'-Q=CV$ であるので，この間に電池がした仕事は，

$$W_2=(Q'-Q)\cdot 2V=2CV^2$$

したがって，$\dfrac{W_2}{W_1}=\underline{2}$。

$\boxed{10}$ の答　③

B

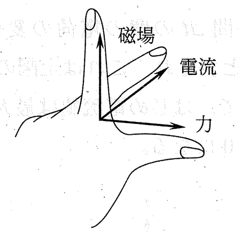
問 3　電子が x 軸の正方向に動いているので，対応する電流が x 軸の負方向に流れていると考えて，**フレミングの左手の法則**より，電子は $\underline{y\text{ 軸の正}}_{\text{ア}}$ の向きに大きさ $\underline{evB}_{\text{イ}}$ の**ローレンツ力**を受ける。したがって，導体棒にはPからQの向きに電流が流れ，PからQの向きに誘導起電力が発生している。

$\boxed{11}$ の答　⑤

問 4　電子は導体棒に対して，y 軸の正の向きに速さ u で運動しているので $\underline{x\text{ 軸の負}}_{\text{ウ}}$ の向きにローレンツ力がはたらき，導体棒PQの中の $n\ell$ 個の自由電子にはたらくローレンツ力の総和，すなわち電流 I が磁場から受ける力の大きさは，$euB\cdot n\ell=enuB\ell=\underline{IB\ell}_{\text{エ}}$ となる。

$\boxed{12}$ の答　②

フレミングの左手の法則



ローレンツカ

$f=qvB$

q；電気量の大きさ

v；磁場に垂直な速度成分

B；磁束密度の大きさ

第3問　波動・熱の分野

A

問 1　**屈折の法則**より，円柱の中での光の速さは $\underline{\dfrac{c}{n}}_{\text{ア}}$。

また，$\sin\theta=n\sin\phi$ より，

$$\sin\phi=\underline{\frac{\sin\theta}{n}}_{\text{イ}}$$

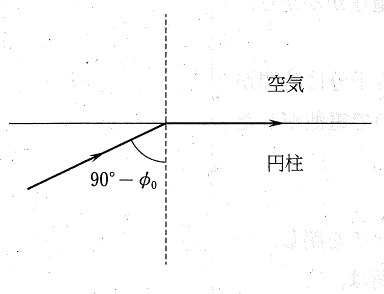
$\boxed{13}$ の答　④

問 2　円柱内において，円柱の長さ方向の光速の成分は $\dfrac{c}{n}\cos\phi$ なので，求める時間は，

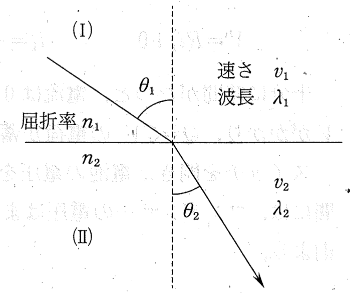
$$\frac{L}{\frac{c}{n}\cos\phi}=\underline{\frac{nL}{c\cos\phi}}$$

$\boxed{14}$ の答　②

問 3　$\phi=\phi_0$ のとき，光が空気中に屈折するときの屈折角が 90° となる。



屈折の法則(光波の場合)



$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=\frac{n_2}{n_1}$$

$(n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2)$

$n_2<n_1$ のとき，$\theta_2>\theta_1$ であり，$\theta_2=90°$ となるときの入射角 θ_1 を臨界角という。入射角が臨界角より大きくなると，光は全反射する。

屈折の法則より，

$$n\sin(90^\circ - \phi_0) = \sin 90^\circ \qquad \therefore\ \ \underline{\cos\phi_0 = \frac{1}{n}}$$

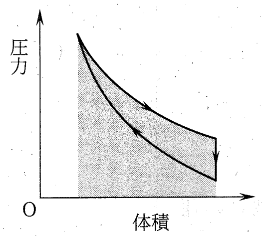
$\boxed{15}$ の答　⑤

B

問 4　状態 C から状態 A は断熱圧縮過程なので，熱力学第 1 法則より，気体が外部からされた仕事 $W_{CA}(\mathrm{in})$ は内部エネルギーの変化 $\underline{U_A - U_C}$ に等しい。

$\boxed{16}$ の答　②

問 5　状態 A から状態 B では内部エネルギーの変化は 0 なので，熱力学第 1 法則より，気体が吸収した熱量 Q_{AB} は気体が外部にした仕事 W_{AB} に等しい。W_{AB} は A から B のグラフと横軸で囲まれる次図の灰色の部分の面積に等しい。



$\boxed{17}$ の答　①

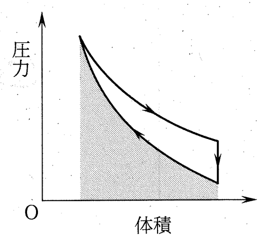
状態 B から状態 C は定積過程なので，気体がした仕事は 0 である。

この過程で気体が放出した熱量を $Q_{BC}(\mathrm{out})$ とする。$U_A = U_B$ なので，熱力学第 1 法則より，

$$-Q_{BC}(\mathrm{out}) = U_C - U_B = U_C - U_A$$

$$\therefore\ \ Q_{BC}(\mathrm{out}) = U_A - U_C = (\mathrm{C}\to\mathrm{A}\ \text{の内部エネルギーの増加})$$

これは，状態 C から状態 A の過程で気体がされた仕事に等しい。したがって，次図の灰色の部分の面積に等しい。



$\boxed{18}$ の答　②

第 4 問　力学の分野

A

問 1　求める動摩擦係数を μ とする。台車には小物体から水平方向右向きに μmg の動摩擦力がはたらく。区間 AB での台車の加

速度の大きさは $\frac{g}{10}$ なので，台車の運動方程式は，

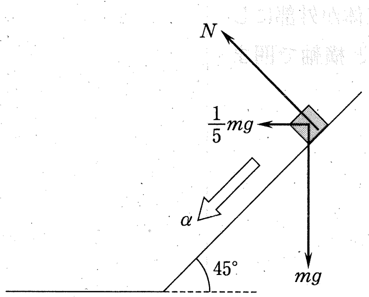
$$M\cdot\frac{1}{10}g=\mu mg \qquad \therefore\ \mu=\underline{\frac{M}{10m}}$$

$\boxed{19}$ の答　②

問 2　台車が加速度運動しているときは台車上から見ると小物体には**慣性力**がはたらく。したがって，<u>区間 AB と区間 BC</u>。

$\boxed{20}$ の答　④

問 3　台車上から見ると，小物体には次図のように，重力 mg，垂直抗力 N，水平方向左向きに大きさ $m\times\frac{1}{5}g$ の慣性力がはたらく。



求める加速度の大きさを α とする。台車に対する小物体の運動方程式は，

$$m\alpha=\frac{1}{\sqrt{2}}mg+\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\frac{1}{5}mg$$

$$\therefore\ \alpha=\underline{\frac{6}{5\sqrt{2}}g}$$

$\boxed{21}$ の答　⑥

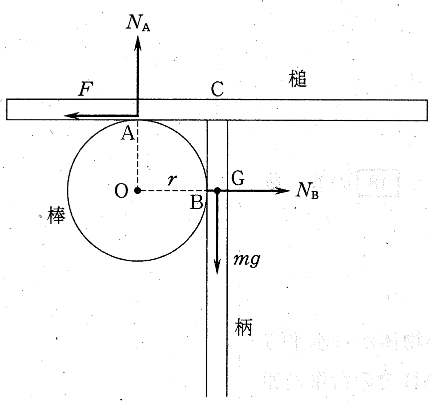
B

問 4　木槌には次図のように力がはたらく。点 O のまわりの**力のモーメント**のつりあいより，

$$F\cdot r=mg\cdot r \qquad \therefore\ F=\underbrace{mg}_{ア}$$

静止摩擦係数を μ とする。点 A で木槌がすべらない条件は，$F\leqq\mu N_A$ より，

$$mg\leqq\mu mg \qquad \therefore\ \mu \text{ は } \underbrace{1\text{ 以上}}_{イ}$$



慣性力

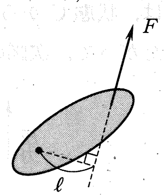
観測者が大きさ α の加速度で運動するとき，質量 m の物体には，大きさ

$f=m\alpha$

の慣性力が観測者の加速度と逆向きにはたらく。

力のモーメント

(力のモーメント)$=F\times\ell$



$\boxed{22}$ の答　②

問5　木槌には次図のように力がはたらく。柄に平行な方向の力のつりあいより，

$N_A{}' = \underline{mg\cos\theta}$ ウ

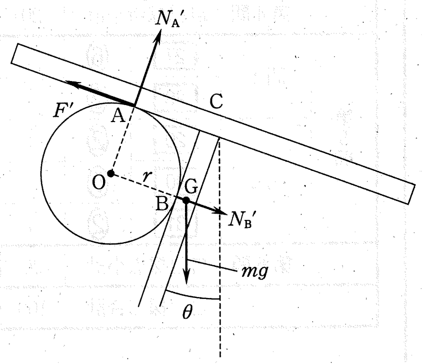
点Oのまわりの力のモーメントのつりあいより，

$F'\cdot r = mg\cos\theta\cdot r$　　∴　$F' = \underline{mg\cos\theta}$ エ

点Aで木槌がすべらない条件は，

$F' \leqq \mu N_A{}'$ より，$mg\cos\theta \leqq \mu mg\cos\theta$

よって，μ は1以上となり，**問4**と同じになる。



$\boxed{23}$ の答　④