傾向と対策

06 年度以降 15 年度までは、基本的に、力学・電磁気・熱力学・波動から各 1 題の出題であった。また、22 年度以降はこれまでの大問が 4 題の構成から 3 題に減少した。ただし、全体の設問数は 20 問と変わらない。

1 つの大問の中に、中程度の問題が 2 題という出題が見られる年もある。問題のレベルはほとんどが標準的であるが、時々出題される見慣れない問題にも対応できるような基本力を養っておく必要がある。入試としての難易度が高い大学であるが、物理の学習に関しては標準的な問題の対策で大丈夫であろう。

力学

あまり偏りがなく、いろいろな分野から出題されている。また、試験問題として典型的な問題が多いので、入試問題を集めた問題集の演習が必要であろう。24 年度は放物運動と摩擦面上の単振動が出題された。目新しい内容ではなく標準的な問題である。

波動

24 年度は一般的な波の反射波に関する出題であった。基本的な内容の問題であり解きやすい。

電磁気

24 年度はコンデンサーの極板間に金属板や誘電体板を挿入する問題であった。典型的な問題であり完答が必要だろう。

熱学

24 年度は熱学からの出題はなかった。大問が 3 題になってからは，小問集合の一つとして出題されたのみである。

原子

17、18、19 年度と出題された以降では，23 年度で小問集合の一つとして出題されている。24 年度の出題はなかった。出題された場合にも扱う式は基本的なものが多い。

過去 10 年の出題内容

	項目	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
力学	力のつりあい	◎									
	剛体のつりあい										
	放物運動・等加速度運動									◎	△
	運動方程式・慣性力					◎					
	仕事とエネルギー		○								
	力積と運動量・衝突		○				○		◎		
	円運動			◎					○		
	単振動						○	◎			△
	万有引力				◎		○				
波動	波の一般的性質						○				◎
	音波・弦の振動・気柱の共鳴									△	
	ドップラー効果						○				
	光の屈折と反射						○		◎		
	光の干渉	◎						◎			
	レンズ										
電磁気	電場・電位			○							
	ｺﾝﾃﾞﾝｻｰ・ｺﾝﾃﾞﾝｻｰを含む直流回路	◎			◎				◎		◎
	ｺﾝﾃﾞﾝｻｰを含まない直流回路						○				
	電流と磁界										
	電磁誘導					◎				◎	
	交流回路・電気振動						○				
	電磁界中の荷電粒子の運動		◎					◎			
熱学	熱量									△	
	気体の法則		◎					◎			
	気体分子運動論										
	モル比熱・内部エネルギー・仕事			◎		◎	◎				
	グラフの問題	◎			◎						
	原子	／	◎	◎	◎	◎				△	

◎：大問の中心的出題分野　　○：大問が複数テーマからなるとき　　△：小問集合

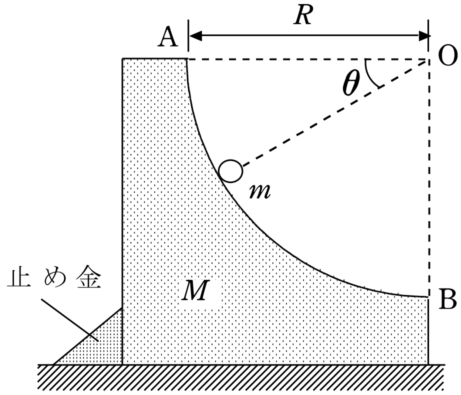
重要項目のチェック

演習問題

［Ｉ］ 図のように、なめらかな水平な床の上に置かれた、質量が M で半径 R の 4 分円の形をしたすべり台の上を、質量 m の小球が摩擦を受けることなくすべることができる。小球と 4 分円の中心 O を結ぶ直線と水平方向との角度を θ とする。以下の問の各場合とも、最初、すべり台を止め金で床に固定した状態で、小球を点 A ($\theta=0$) で静かにはなす。重力加速度の大きさを g として、以下の文章中の $\boxed{}$ に適切な数式を記せ。

すべり台を止め金で固定したままの場合、角度が θ のときの小球の速さは $\boxed{\text{ア}}$ である。このとき、すべり台から小球にはたらく抗力の大きさ N は、$N=\boxed{\text{イ}}$ と表される。また、床からすべり台にはたらく垂直抗力 N' は、記号 N を用いて $N'=\boxed{\text{ウ}}$ と表される。

次に、小球の位置が角度 $\theta=\dfrac{\pi}{6}$ に達した時点で止め金をとりさった場合を考える。このとき、ただちにすべり台が動き始め、さらにこの後、小球はすべり台の最下点 B $\left(\theta=\dfrac{\pi}{2}\right)$ で水平方向に速度 v で飛び出し、その瞬間にすべり台は速度 V で動いていた。小球の飛び出す方向を正とすると運動量保存則の式は $\boxed{\text{エ}}$ となり、エネルギー保存則の式は $\boxed{\text{オ}}$ となる。とくに $M=7m$ のとき，(エ) と (オ) を用いてすべり台の速度を求めると、$V=\boxed{\text{カ}}$ となる。

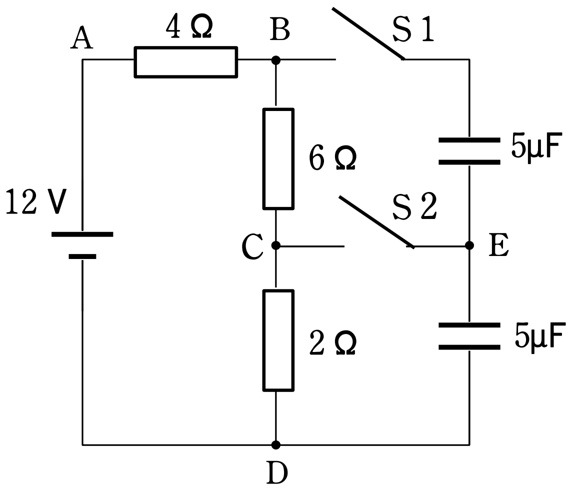


［Ⅱ］ 図のような内部抵抗の無視できる起電力が 12 V の電池、抵抗値が 2 Ω 、4 Ω 、6 Ω の 3 個の抵抗、電気容量が 5 μF の 2 個のコンデンサー、2 個のスイッチで構成される回路がある。ここで、コンデンサーははじめ電荷を蓄えていないものとする。下記の文章の □ に適した答えを書け。

最初スイッチ S 1、S 2 が開いた状態のとき、AB間を流れる電流は ア A であり、AB 間の電圧は イ V である。また 3 個の抵抗で消費される電力の合計は ウ W である。

次にスイッチ S 2 は開いたままで、スイッチ S 1 を閉じた直後に AB 間を流れる電流は エ A である。その後，十分時間が経過したとき、BD 間の電圧は オ V であり、BE 間のコンデンサーにたくわえられる電気量は カ C である。

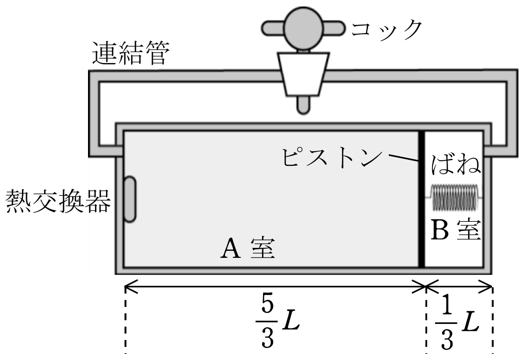
次にスイッチ S 2 も閉じる。その後、十分時間が経過したとき、2 つのコンデンサーにたくわえられる静電エネルギーの和は キ J である。



［Ⅲ］ 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき正しい答えを書け。体積 $2SL$〔m^3〕の密閉円筒シリンダー内を，断面積 S〔m^2〕のピストンがなめらかに移動できる装置があり，ピストンにより仕切られた円筒シリンダーの左側を A 室，右側を B 室とよぶことにする。自然の長さが L〔m〕でばね定数が k〔N/m〕のばねの両端がピストンと B 室の右壁に取りつけられ，A 室と B 室はコックが取りつけられた連結管で結ばれている。また，A 室には熱交換器が取りつけられていて自由に熱量を出し入れすることができる。ピストン，円筒シリンダー，連結管は断熱材で作られていて外界と熱の出入りはないものとする。図の状態ではコックは閉じられて，B 室は真空であり，A 室に 1 mol の単原子分子理想気体が封じこめられている。このとき，B 室の体積は $\dfrac{SL}{3}$〔m^3〕であり，ばねは自然の長さから縮んだ状態で弾性エネルギーを蓄えていた。熱交換器と連結管とばねの体積，およびピストンの厚さはないものとし，気体定数を R〔J/(K・mol)〕とする。

(1) 図の状態において，A 室の気体の圧力 p_0 は $\boxed{\text{ア}}\times\dfrac{kL}{S}$〔N/m^2〕であり温度 T_0 は $\boxed{\text{イ}}\times\dfrac{kL^2}{R}$〔K〕である。

(2) 引き続いて，図の状態から始めて，熱交換器により A 室の気体からゆっくりと熱を取りさると，ピストンが移動し B 室の体積が $\dfrac{2SL}{3}$〔m^3〕になった。このときの，A 室の気体の温度は $\boxed{\text{ウ}}\times T_0$〔K〕であり，A 室の気体の内部エネルギーの増加量は $\boxed{\text{エ}}\times RT_0$〔J〕である。 また，A 室の気体がした仕事は $\boxed{\text{オ}}\times RT_0$〔J〕である。以上より，A室の気体から取り去った熱量は $\boxed{\text{カ}}\times RT_0$〔J〕とわかる。



解答

［Ｉ］

【解答】

$\boxed{\text{ア}}$　$\sqrt{2gR\sin\theta}$　　$\boxed{\text{イ}}$　$3mg\sin\theta$　　$\boxed{\text{ウ}}$　$Mg+N\sin\theta$

$\boxed{\text{エ}}$　$m\cdot\dfrac{\sqrt{gR}}{2}=mv+MV$

$\boxed{\text{オ}}$　$\dfrac{1}{2}m(\sqrt{gR})^2+mg\dfrac{R}{2}=\dfrac{1}{2}mv^2+\dfrac{1}{2}MV^2$　　$\boxed{\text{カ}}$　$-\dfrac{\sqrt{gR}}{8}$

【解説】

$\boxed{\text{ア}}$　求める速さを v_0 とすると力学的エネルギー保存則より

$$mgR\sin\theta=\frac{1}{2}mv_0{}^2 \qquad \therefore \quad v_0=\sqrt{2gR\sin\theta}$$

$\boxed{\text{イ}}$　θ の位置で小球にはたらく力は図１のようになる。円運動の運動方程式より

$$m\frac{(\sqrt{2gR\sin\theta})^2}{R}=N-mg\sin\theta \qquad \therefore \quad N=3mg\sin\theta$$

$\boxed{\text{ウ}}$　すべり台にはたらく力の鉛直方向のつりあいより

$$N'=Mg+N\sin\theta \qquad \therefore \quad N'=Mg+N\sin\theta$$

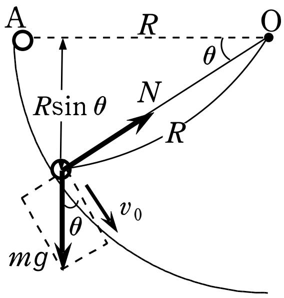


図１

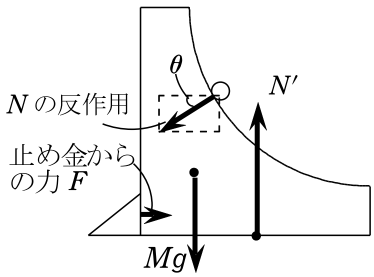


図２

$\boxed{\text{エ}}$　$\theta=\dfrac{\pi}{6}$（$=30°$）のとき小球の速さは $\boxed{\text{ア}}$ より

$$v_0=\sqrt{2gR\sin\frac{\pi}{6}}=\sqrt{gR}$$

このとき小球の進行方向は鉛直に対して 30° の方向なので、
速度の水平成分は

$$v_0\sin\frac{\pi}{6}=\frac{\sqrt{gR}}{2}$$

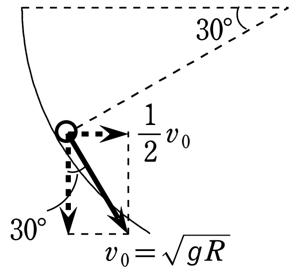


図３

となる。小球とすべり台の水平方向の運動量保存則より

$$m\cdot\frac{\sqrt{gR}}{2}=mv+MV$$

$\boxed{\text{オ}}$　B点を高さの基準とすると、$\theta=\dfrac{\pi}{6}$ の位置における小球の高さは $R-R\sin\dfrac{\pi}{6}$ $=\dfrac{R}{2}$ である。よって、力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}m(\sqrt{gR})^2+mg\frac{R}{2}=\frac{1}{2}mv^2+\frac{1}{2}MV^2$$

$\boxed{\text{カ}}$　$M=7m$ を $\boxed{\text{エ}}$、$\boxed{\text{オ}}$ の式に代入して整理すると

$$v+7V=\frac{\sqrt{gR}}{2} \cdots\cdots ①$$

$$v^2+7V^2=2gR \cdots\cdots ②$$

となる。① の v を ② に代入して V について整理すると

$$32V^2-4\sqrt{gR}\,V-gR=0$$

$$(4V-\sqrt{gR})(8V+\sqrt{gR})=0$$

小球が右方へ飛び出すので台は左方へ動くから $V<0$ となるので

$$V=-\frac{\sqrt{gR}}{8}$$

［Ⅱ］

【解答】

ア　1　　イ　4　　ウ　12　　エ　3　　オ　8

カ　2×10^{-5}　キ　1×10^{-4}

【解説】

ア　回路を流れる電流を I〔A〕とすると、キルヒホッフの第二法則より

$12=4I+6I+2I$　よって　$I=1$ A

イ　AB 間の電圧を V_{AB}〔V〕とおくと、オームの法則より　$V_{AB}=4\times1=4$ V

ウ　求める電力を P〔W〕とすると　$P=1^2\times4+1^2\times6+1^2\times2=12$ W

エ　スイッチ S1 を閉じた直後、コンデンサーに蓄えられた電荷は 0 である。よって、BD 間の電圧は 0 となり、B点の電流は全て右向きに流れる(図 a)。この電流を I'〔A〕とおくと、キルヒホッフの第二法則より　$12=4I'$　　よって　$I'=3$ A

オ　十分に時間が経過したあとは、コンデンサーには電流が流れないため、電流は A → B → C → D → A と流れる。この電流の大きさは ア と同じく 1 A である(図 b)。したがって、BD 間の電圧を V_{BD}〔V〕とすると，オームの法則 より

$V_{BD}=6\times1+2\times1=8$ V

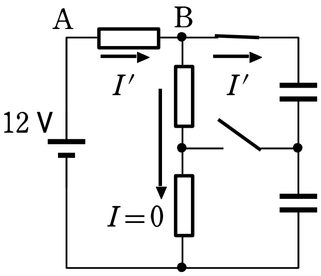


図 a

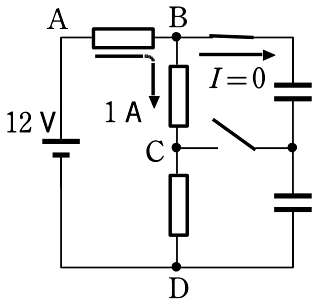


図 b

カ　2 つのコンデンサー全体に加わる電圧は、$V_{BD}=8$ V であり、2 つのコンデンサーは同じ電気容量であるので、それぞれのコンデンサーに加わる電圧は等しく、4 V である。よって、求める電気量を Q〔C〕とすると、$Q=CV$ より　$Q=(5\times10^{-6})\times4=2\times10^{-5}$ C

キ　十分時間が経過したあと、回路を流れる電流は オ と同じとなる。よって、BC 間、CD 間の電圧を V_{BC}〔V〕, V_{CD}〔V〕とすると、オームの法則より

$V_{BC}=6\times1=6$ V　　$V_{CD}=2\times1=2$ V

上側のコンデンサーには V_{BC}、下側のコンデンサーには V_{CD} が加わるので、求める静電エネルギーを U〔J〕とすると

$$U=\frac{1}{2}\times(5\times10^{-6})\times6^2+\frac{1}{2}\times(5\times10^{-6})\times2^2$$
$$=1\times10^{-4}\ \text{J}$$

〔Ⅲ〕

【解答】

$\boxed{ア}$ $\frac{2}{3}$　$\boxed{イ}$ $\frac{10}{9}$　$\boxed{ウ}$ $\frac{2}{5}$　$\boxed{エ}$ $\frac{9}{10}$　$\boxed{オ}$ $-\frac{3}{20}$

$\boxed{カ}$ $\frac{21}{20}$

【解説】

本問では単原子分子理想気体を扱うので(1)(ア)　ばねがピストンを左向きに押す力の大きさは，$\frac{2kL}{3}$〔N〕である。一方，A 室の気体はピストンを右向きに押しており，その力の大きさは p_0S〔N〕である。よって，ピストンにはたらく力のつりあいより

$$p_0S=\frac{2kL}{3}$$

よって　$p_0=\frac{2}{3}\times\frac{kL}{S}$〔N/m²〕

(イ)　理想気体の状態方程式より

$$p_0\cdot\frac{5}{3}SL=1\times RT_0$$

よって　$T_0=\frac{1}{R}\cdot\frac{2kL}{3S}\cdot\frac{5}{3}SL$

$$=\frac{10}{9}\times\frac{kL^2}{R}\ 〔\text{K}〕\quad\cdots①$$

(2)(ウ)　B 室の体積が $\frac{2SL}{3}$〔m³〕となったときの気体の圧力を p_1〔N/m²〕とすると，(ア)と同様にして力のつりあいを考えると

$p_1S=\frac{kL}{3}$　よって　$p_1=\frac{kL}{3S}$〔N/m²〕

を得る。よって，このときの A 室の気体の温度を T_1〔K〕とし，理想気体の状態方程式を用いることで

$$p_1\cdot\frac{4SL}{3}=1\times R\cdot T_1$$

よって

$$T_1=\frac{1}{R}\cdot\frac{kL}{3S}\cdot\frac{4}{3}SL=\frac{4}{9}\times\frac{kL^2}{R}$$
$$=\frac{4}{9}\times\frac{1}{R}\cdot\frac{9}{10}RT_0=\frac{2}{5}T_0\ \text{〔K〕}$$

(エ)　A 室の気体の内部エネルギーの増加量を $\varDelta U$〔J〕とすると

$$\varDelta U=\frac{3}{2}\times1\times R\left(\frac{2}{5}T_0-T_0\right)$$
$$=-\frac{9}{10}\times RT_0\ \text{〔J〕}$$

(オ)　A 室の気体がした仕事を W'〔J〕とする。ばねの弾性エネルギーの変化量は W'〔J〕に等しい。よって

$$W'=\frac{1}{2}k\left(\frac{L}{3}\right)^2-\frac{1}{2}k\left(\frac{2L}{3}\right)^2$$
$$=\frac{kL^2}{18}-\frac{2kL^2}{9}=-\frac{kL^2}{6}\ \text{〔J〕}$$

ここで，① 式より　$kL^2=\frac{9}{10}RT_0$ となるので

$$W'=-\frac{kL^2}{6}=-\frac{1}{6}\times\frac{9}{10}RT_0$$
$$=-\frac{3}{20}\times RT_0\ \text{〔J〕}$$

(カ)　熱力学第一法則を用いると，A 室の気体から取りさった熱量を Q〔J〕として

$$Q=-\varDelta U-W'=\frac{9}{10}RT_0+\frac{3}{20}RT_0$$
$$=\frac{21}{20}\times RT_0\ \text{〔J〕}$$