1

解答　問1　②　　問2　②　　問3　②　　問4　⑤

解説

うなりの式とドップラー効果の式を利用する。ただし，ドップラー効果の式では，音源から観測者へ向かう向きを正の向きとする。

問1　おんさBの振動数を f_B〔Hz〕とすると，うなりの回数 n は

$$n=|f-f_B|$$

おんさAが観測者Oに近づくときの速さを v_A〔m/s〕，そのときにOが観測する振動数を f'〔Hz〕とすると

$$f'=f\times\frac{V}{V-v_A} \quad \cdots\cdots ①$$

このとき，題意より $f_B=f'>f$ であるから，おんさBの振動数 f_B は

$$f_B=f+n \quad \cdots\cdots ②$$

問2　①式と②式を $f_B=f'$ の条件にあてはめれば

$$f+n=f\times\frac{V}{V-v_A}$$

これより，おんさAの速さ v_A は　$v_A=\dfrac{n}{f+n}V$

問3　②式より，すべてが静止している状態では，おんさAよりもおんさBのほうが振動数が大きい。うなりを消すためには，おんさBの振動数が小さくなる必要がある。したがって，おんさBを観測者Oから遠ざかる向きに走らせたことになる。

問4　おんさBの速さを v_B とする。Bの振動数 $f_B(=f+n)$ が，ドップラー効果によっておんさAと同じ振動数 f になればよい。ドップラー効果の式と②式より

$$f=f_B\times\frac{V}{V-(-v_B)}=(f+n)\times\frac{V}{V+v_B}$$

ゆえに　$v_B=\dfrac{n}{f}V$

2

解答　問1　②　　問2　②　　問3　④

解説

問1　問題の v-t 図で，OA間は等加速度直線運動であり，直線の傾きから加速度が求められる。

$$加速度=直線OAの傾き=\frac{v_0}{t_0}$$

問2　エレベーターの運動は，v-t 図より

OA間：等加速度直線運動，加速度は正(加速)

AB間：等速度運動，加速度は0

BC間：等加速度直線運動，加速度は負(減速)

であることがわかる。

これらの運動は，x-t 図(h-t 図)ではそれぞれ

OA間：下に凸の放物線の一部

AB間：傾きをもつ直線

BC間：上に凸の放物線の一部

として表されるので，このような曲線および直線からなるグラフを選べばよい。

問3　エレベーターが停止するまでに移動した距離は，v-t 図でグラフが t 軸と囲む面積(台形OABCの面積)から求めることができる。

$3t_0$ 間の移動距離＝台形OABCの面積

$$=\frac{1}{2}(AB+OC)\times v_0$$

$$=\frac{1}{2}(t_0+3t_0)\times v_0=2v_0t_0$$

3

解答　⑤

解説

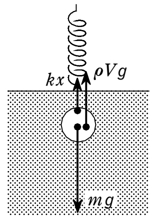
物体には，鉛直下向きに重力(大きさ mg)，鉛直上向きにばねの弾性力(大きさ kx)と浮力(大きさ ρVg)がはたらき，これらがつりあっている。

よって，物体にはたらく力のつりあいより

$$kx+\rho Vg-mg=0$$

この式を変形して整理すると

$$\rho=\frac{mg-kx}{Vg}$$



4

解答　問1　④　　問2　②　　問3　③　　問4　④

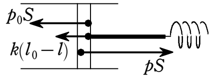
解説

問1　ピストンにはたらく水平方向の力は，図のようになる。

力のつりあいの式を立てると

$$pS=p_0S+k(l_0-l)$$

よって　$p=p_0+\dfrac{k}{S}(l_0-l)$



問2　気体の体積は最初の状態より $(l_0-l)S$ だけ増加している。状態方程式より

$$p\times\{V_0+(l_0-l)S\}=1\times RT$$

よって　$T=\dfrac{1}{R}p\{V_0+(l_0-l)S\}$

問3　1 molの単原子分子理想気体であるから

$$\Delta U=\frac{3}{2}\cdot1\cdot R(T-T_0)=\frac{3}{2}R(T-T_0)$$

問4　気体は膨張しているので，外部に対して正の仕事をしている。気体がした仕事を W' とすると，その一部はばねに蓄えられ，残りはピストンが外気にした仕事と等しい。よって　$W'=E+W$

気体がされた仕事は $-W'$ となるから熱力学第一法則より

$$\Delta U=Q+(-W')$$

よって　$Q=\Delta U+W'=E+\Delta U+W$

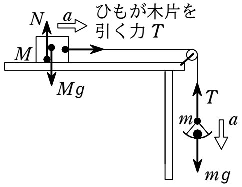
5

解答　問1　②　　問2　⑤

解説

問1　木片とおもりにはたらく力は図の通りである。この中で，それぞれの物体の運動に関係する力は T，mg である。木片は右方へ，おもりは鉛直下方へ移動するので，それらを各物体の運動の正の向きとする。生じる加速度は2つの物体で同じ大きさになるから，それを a とおくと，運動方程式は

木片：$Ma=T$　　$\cdots\cdots$①



おもり：$ma=mg-T$　$\cdots\cdots$②

①式＋②式より　　$a=\dfrac{m}{M+m}g$

問2　a の値を①式に代入して

$$T=\frac{Mm}{M+m}g$$

6

解答　問1　⑤　　問2　④　　問3　②

解説

問1　水，ガラスの屈折率をそれぞれ n_1，n_2 とし，水に対するガラスの屈折率を n_{12} とすると

$$n_{12}=\frac{n_2}{n_1}=\frac{3/2}{4/3}=\frac{9}{8}$$

問2　入射角が θ のとき屈折角が90°になるから

$$\frac{\sin\theta}{\sin90^\circ}=\frac{1}{3/2} \qquad よって \quad \sin\theta=\frac{2}{3}$$

問3　屈折角を r とすると　$\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{n_2}{n_1}=\dfrac{9}{8}$

空気中へ透過するためには $r<\theta$，すなわち

$$\sin r<\sin\theta=\frac{2}{3} \qquad よって \quad \sin i=\frac{9}{8}\sin r<\frac{3}{4}$$

7

解答　②

解説

ボールの初速度の水平方向の成分は

$$v_0\cos45^\circ$$

である。ボールは水平方向には等速直線運動と同様の運動をする。よって，けり上げてから壁にぶつかるまでにかかる時間 t は　$L=v_0\cos45^\circ\cdot t$　より

$$t=\frac{L}{v_0\cos45^\circ}$$

となる。また，ボールの鉛直方向への運動は鉛直投射であり，初速度の鉛直方向の成分は

$$v_0\sin45^\circ$$

であるから

$$y=v_0\sin45^\circ\cdot t-\frac{1}{2}gt^2$$

$y=h$ とおいて t の値を代入すると

$$h=v_0\sin45^\circ\cdot\frac{L}{v_0\cos45^\circ}-\frac{1}{2}g\frac{L^2}{{v_0}^2\cos^2 45^\circ}$$

$\sin45^\circ=\cos45^\circ=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$ を上式に代入して

$$h=L-\frac{gL^2}{{v_0}^2}$$

8

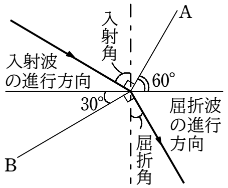
解答　問1　②　　問2　①　　問3　⑤

解説

問1，2　波面と入射波，屈折波の進行方向をはっきり区別しよう。

入射角は入射波の波面と境界面とのなす角に等しい。

屈折角は屈折波の波面と境界面とのなす角に等しい。したがって，入射角は 60°，屈折角は 30° になる。



問3　屈折の法則より，求める屈折率 n は

$$n=\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ}=\frac{\sqrt{3}/2}{1/2}=\sqrt{3}\fallingdotseq 1.7$$

9

解答　④

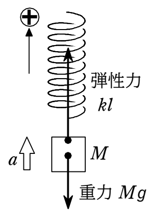
解説

おもりにはたらく力は，図のように，重力とばねの弾性力の 2 つであり，大きさはそれぞれ Mg，kl である。

おもりに生じる鉛直方向上向きの加速度を a として運動方程式を立てる。

運動方程式「$ma=F$」より

$$Ma=kl-Mg \qquad \text{よって}\quad a=\frac{kl}{M}-g$$



10

解答　問1　⑤　　問2　③

解説

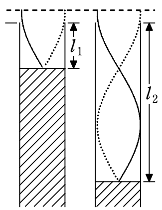
問1　定常波の波長を λ[cm] とすると，図より

$$l_2-l_1=\frac{\lambda}{2}$$

よって　$\lambda=2(l_2-l_1)$

ゆえに　$\lambda=2(59.1-18.9)$

$=80.4\ \text{cm}$



問2　振幅が大きい位置は，定常波の腹の部分である。開口端補正に注意して計算する。管口下の最初の節の位置 l_1 から $\frac{\lambda}{4}$ 下がった所が腹の位置になるから，管口から腹までの距離は

$$l_1+\frac{\lambda}{4}=18.9+\frac{80.4}{4}=39.0\ \text{cm}$$

11

解答　②

解説

おもりとばねにはたらく力は図 a のようになる。この図から，ばねはおもりにはたらく重力と等しい大きさの力で両側に引かれていることがわかる。また，一端を固定し，他端におもりをつるした場合，おもりとばねにはたらく力は図 b のようになり，ばねは，おもりにはたらく重力と同じ大きさの力で両側から引かれていることになる。

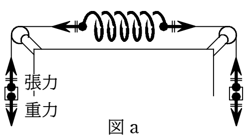


図 a

質量 m のおもりをつるしたとき，ばねが l だけ伸びたとすると，質量 $\frac{m}{2}$ のおもりをつるしたときは，ばねにはたらく力が $\frac{1}{2}$ になるので，伸びも $\frac{l}{2}$ となる。

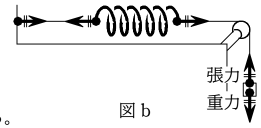


図 b

12

解答　①

解説

コーティング膜の表面で反射する光 B は位相が π だけ変化し，膜とレンズの境界面で反射する光 A も位相が π だけ変化するので，光 A，B の位相のずれは考慮しなくてもよい。また，コーティング膜内の光の波長は $\frac{\lambda}{n}$ となり縮むから，膜内を往復する光 A の光路差（光学距離の差）は，膜の厚さを d とすると，$2nd$ となる。これが，半波長の長さになったときに干渉して弱めあうから　$2nd=\frac{\lambda}{2}$

よって　$d=\frac{\lambda}{4n}$

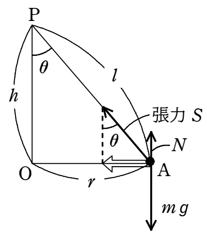
13［1993 センター物理（1992〜1996）］

解答　(1)　⑤　　(2)　②　　(3)　①　　(4)　②　　(5)　②

解説

(1)　$\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m(r\omega)^2=\frac{1}{2}m\omega^2(l^2-h^2)$

よって答えは⑤



(2)　糸の張力を S，糸が鉛直方向となす角を θ とすると，向心力は $S\sin\theta$ となっているから，A の運動方程式は

$$mr\omega^2=S\sin\theta=S\cdot\frac{r}{l} \qquad \text{ゆえに } S=ml\omega^2$$

よって答えは②

(3)　鉛直方向の力のつりあいより

$$N+S\cos\theta=mg$$

ゆえに $N=mg-S\cdot\frac{h}{l}=mg-mh\omega^2$

よって，グラフは上に凸の放物線となる。答えは①

(4)　$N=0$ のとき A は台から離れる。

$N=mg-mh\omega^2=0$ より　$\omega=\sqrt{\frac{g}{h}}$　よって答えは②

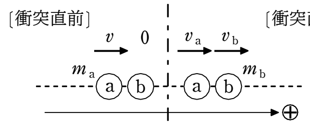
(5)　向心力がなくなると，物体 A はそのときの速度の方向，すなわち Q における円の接線方向に進む。

よって答えは②

14

解答　v_a：⑥　　v_b：④

解説



小球 a，b の衝突直前の速度はそれぞれ v，0 であるから，運動量保存則により

$$m_av+m_b\times 0=m_av_a+m_bv_b$$

$$m_av=m_av_a+m_bv_b \qquad \cdots\cdots ①$$

また，2 球の衝突は弾性衝突 $(e=1)$ なので，反発係数の式より

$$1=-\frac{v_a-v_b}{v-0}$$

よって　$v_a=v_b-v$　　……②

② 式を ① 式に代入して

$$m_av=m_a(v_b-v)+m_bv_b$$

$$2m_av=(m_a+m_b)v_b$$

ゆえに　$v_b=\frac{2m_av}{m_a+m_b}$

このとき，② 式より

$$v_a=v_b-v$$

$$=\frac{2m_av}{m_a+m_b}-v=\frac{2m_av-(m_a+m_b)v}{m_a+m_b}$$

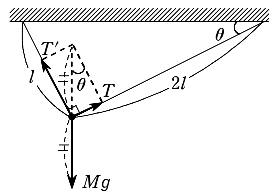
$$=\frac{(m_a-m_b)v}{m_a+m_b}$$

15

解答　①

解説

2 本の糸の交点にはたらく力は図のようになる。天井と長さ $2l$ の糸がなす角を θ とすると，図より



$$\sin\theta=\frac{l}{\sqrt{(2l)^2+l^2}}=\frac{1}{\sqrt{5}}$$

また，3 つの 力を表すベクトルがつくる三角形を考えると

$$\sin\theta=\frac{T}{Mg}$$

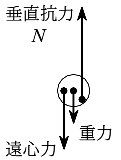
よって　$T=Mg\sin\theta=\frac{1}{\sqrt{5}}Mg$

16

解答　⑥

解説

点 B を通過する瞬間の速さを v とする。小球とともに運動する観測者から見ると，小球には図のように重力，大きさ N の垂直抗力，遠心力がはたらき，これらがつりあっている。よって



$$N-mg-m\frac{v^2}{a}=0 \qquad \cdots\cdots ①$$

また，点 B の位置を重力による位置エネルギーの基準水平面として，点 A と点 B 間での力学的エネルギー保存則より

$$mga=\frac{1}{2}mv^2 \qquad よって \qquad v^2=2ga$$

これを ① に代入して

$$N-mg-m\frac{2ga}{a}=0 \qquad ゆえに \qquad N=3mg$$

小球がすべり台に及ぼす力は，小球にはたらく垂直抗力 N の反作用だから，大きさはこれに等しい。

17

解答　⑤

解説

上昇するエレベーターにはたらく力は，図 a のようになる。鉛直上向きを正の向きとすると，運動方程式は

$$Ma=F-Mg$$

となるので，ロープからエレベーターにはたらいた力 F は

$$F=M(g+a)$$

である。また，OA 間の距離 y は v-t 図 (図 b) の斜線部分の面積より

$$y=\frac{1}{2}v_0t_0$$

であるから，力 F のした仕事 W は

$$W=F\cdot y=\frac{1}{2}M(g+a)v_0t_0$$

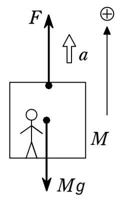


図 a

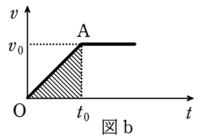


図 b

18

解答　②

解説

点 B の位置を，重力による位置エネルギーの基準とすると，力学的エネルギー保存則

点 A での位置エネルギー＝点 B での運動エネルギー　より

$$mgh=\frac{1}{2}mv_0{}^2 \qquad よって \qquad v_0=\sqrt{2gh}$$

19

解答　③

解説

クインケ管を伝わる音には，ACB を通ってくる音と，ADB を通ってくる音とが干渉することによって，強弱が現れる。音が最小の状態から，8.5 cm D の部分を引き出すと管 D の両端がそれぞれ 8.5 cm 長くなるから，合計 (8.5＋8.5＝) 17 cm 経路が長くなる。この経路差が 1 波長 λ に等しいので，再び音が最小になると考えられる。音の速さを V とすると，$V=f\lambda$ より

$$f=\frac{V}{\lambda}=\frac{340}{17\times10^{-2}}=2.0\times10^3\ \text{Hz}$$

20

解答　問 1　②　　問 2　⑤　　問 3　⑥

解説

問 1　人工衛星が地上にあるときにはたらく万有引力の大きさを F，地上から高さ h の位置での万有引力の大きさを F' とする。万有引力の式「$F=G\dfrac{m_1m_2}{r^2}$」より

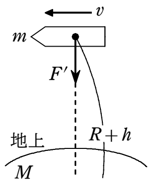
$$F=G\frac{Mm}{R^2} \qquad \cdots\cdots ①$$

$$F'=G\frac{Mm}{(R+h)^2} \qquad \cdots\cdots ②$$

② 式÷① 式 より　$\dfrac{F'}{F}=\dfrac{GMm}{(R+h)^2}\times\dfrac{R^2}{GMm}=\dfrac{R^2}{(R+h)^2}$

問 2　高さ h における人工衛星の円運動の中心方向の運動方程式は　$m\dfrac{v^2}{R+h}=G\dfrac{Mm}{(R+h)^2}$

$v>0$ なので　$v=\sqrt{\dfrac{GM}{R+h}}$



問 3　ケプラーの第三法則より，公転周期の 2 乗は軌道半径の 3 乗に比例する。このことは，軌道半径を r，公転周期を T とすると，定数 k を用いて

$$T^2=kr^3$$

という関係式で表現される。

人工衛星と月の軌道半径をそれぞれ r_1，r_2 とし，人工衛星と月の公転周期をそれぞれ T_1，T_2 とすると

$$T_1{}^2=kr_1{}^3 \qquad \cdots\cdots ③$$

$$T_2{}^2=kr_2{}^3 \qquad \cdots\cdots ④$$

③ 式÷④ 式より

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2=\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3$$

ここで，問題文より　$r_1=\dfrac{1}{4}r_2$ であるから

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2=\left(\frac{1}{4}\right)^3=\frac{1}{64} \qquad よって \qquad \frac{T_1}{T_2}=\frac{1}{8}$$

月の公転周期は $T_2=27$ 日なので，人工衛星の公転周期 T_1 は

$$T_1=\frac{1}{8}T_2=\frac{1}{8}\times27=3.375\fallingdotseq3.4\ 日$$

21

解答　(1)　③　　(2)　③

解説

(1)　3 つの腹をもつ定常波は，3 倍振動である。

長さ l の弦が半波長 $\dfrac{\lambda}{2}$ で 3 等分されるから

$$3\times\frac{\lambda}{2}=l \qquad よって \qquad \lambda=\frac{2}{3}l$$

(2)　振動数を f とすると

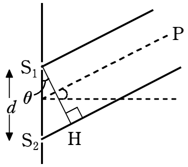
$$f=\frac{v}{\lambda}=\frac{3v}{2l}$$

22

解答　問 1　①　　問 2　②

解説

問 1　スリット S_1 から直線 S_2P に下ろした垂線の足を H とすると，2 つのスリットを通った光の経路差は図より S_2H で，$d\sin\theta$ と表される。



問 2　d に比べて L は十分に大きいので，角 θ は非常に小さな値となり，$\sin\theta\fallingdotseq\tan\theta$ の関係が成りたつ。スクリーン上の OP 間の距離を x とすると　$\tan\theta=\dfrac{x}{L}$ であるから，2 つの光線の経路差は　$d\sin\theta\fallingdotseq d\tan\theta=d\dfrac{x}{L}$　O 以外の P が明線となるのは，m を正の整数として $d\dfrac{x}{L}=m\lambda$ が満たされるときである。点 O に最も近い明線は $m=1$ のときにできるから　$x=\dfrac{L}{d}\lambda$ (この値は隣りあう明線間の間隔になっている)

23

解答　1　③　　2　②

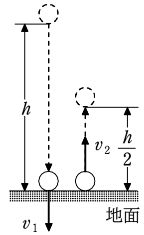
解説

小球が地面に衝突する直前の速さを v_1，衝突した直後の速さを v_2 とする。地面を重力による位置エネルギーの基準水平面として，力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mv_1{}^2=mgh,\quad \frac{1}{2}mv_2{}^2=mg\cdot\frac{h}{2}$$

が成りたつ。よって，衝突前後の運動エネルギーの比は次の式で表される。

$$\frac{(1/2)mv_2{}^2}{(1/2)mv_1{}^2}=\frac{mg\cdot h/2}{mgh}=\frac{1}{2}$$



また，衝突前後の速さの比は，同じく上式より

$$\frac{v_2}{v_1}=\sqrt{\frac{mg\cdot h/2}{mgh}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$$

24

解答　⑥

解説

物体にはたらいている力は図のようになる。

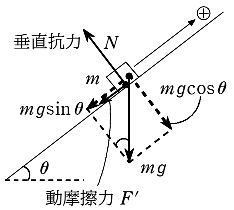
斜面に垂直な方向の2力はつりあっているから

$N-mg\cos\theta=0$

したがって，動摩擦力 F' は

$F'=\mu'N=\mu'mg\cos\theta$

となる。また，この力は斜面方向下向きに向かってはたらいていることに注意して，斜面方向上向きを正の向きとして運動方程式を立てると



$ma=-mg\sin\theta-\mu'mg\cos\theta$

より　$a=-g(\sin\theta+\mu'\cos\theta)$

よって，加速度の大きさは　$g(\sin\theta+\mu'\cos\theta)$　となる。

25

解答　問1　③　　問2　④　　問3　(1)　⑦　　(2)　⑥　　(3)　W：①，Q：④
問4　④

解説

問1　状態bの気体の圧力を p_b とする。a→bでは温度が一定なので，ボイルの法則より

$$p_0V_0=p_b\cdot 2V_0 \qquad よって \qquad p_b=\frac{1}{2}p_0$$

問2　a→bでは温度が一定なので，状態bの温度は状態aと等しく，T_0 である。また，問題文より，状態cの気体の圧力は p_0 である。状態cの気体の温度を T_c とすると，b→cの過程についてボイル・シャルルの法則を用いて

$$\frac{p_b\cdot 2V_0}{T_0}=\frac{p_0\cdot 2V_0}{T_c} \qquad よって \qquad T_c=\frac{p_0}{p_b}T_0$$

問1の結果を代入して　$T_c=2T_0$

問3　(1)　a→bの過程で，気体が外界からされる仕事を $W_{a\to b}$，外界から吸収する熱量を $Q_{a\to b}$，気体の内部エネルギーの変化を $\Delta U_{a\to b}$ とする。a→bでは温度が一定なので，$\Delta U_{a\to b}=0$ である。熱力学第一法則より

$\Delta U_{a\to b}=Q_{a\to b}+W_{a\to b}=0$

よって，$W_{a\to b}$ と $Q_{a\to b}$ の和は0である。

(2)　c→dでは温度が一定なので，状態dの温度は状態cと等しく，$2T_0$ である。

内部エネルギーの変化の式「$\Delta U=nC_v\Delta T$」より

$U_a-U_d=nC_v(T_0-2T_0)=-nC_vT_0$

注意　内部エネルギーの変化の式「$\Delta U=nC_v\Delta T$」は，定積モル比熱を用いた式であるが，定積変化に限らず，どのような変化でも成りたつ。

(3)　c→aの過程では，気体は収縮している。このとき，気体が外界に対してする仕事 W' は負であり

$W'=p_0(V_0-2V_0)=-p_0V_0$

となる。一方，気体が外界からされる仕事 W は，W' と逆の符号となるので

$W=-W'=p_0V_0$

ここで，状態aの気体について状態方程式を立てると　$p_0V_0=nRT_0$

これを W に代入して　$W=nRT_0$

定圧変化の場合に気体が吸収する熱量 Q は「$Q=nC_p\Delta T$」の式より

$Q=nC_p(T_0-2T_0)=-nC_pT_0$

問4　気体を断熱膨張させると，気体が外界にした仕事の分だけ内部エネルギーが減少するので，温度が下がる。したがって，等温で同じ体積まで膨張させたときよりも温度が下がるので，b′の圧力はbの圧力よりも小さい。また，断熱圧縮では等温圧縮よりも温度が高くなるので，d′の圧力はdの圧力よりも大きい。

以上より，④が正解となる。