２０２５年度　私大医学部入試

２０２５年１月２６日　実施

近畿大学

医学部　一般（前期）　物 理

（制限時間　理科２科１２０分）

解答速報

医学部専門予備校 D組

解　答

第１問

1	$k(x_2-x_1-l)$ または $-k(x_2-x_1-l)$				
2	$k(x_3-x_2-l)$ または $-k(x_3-x_2-l)$				
3	$2kx_2$	4	$2ky_2$	5	$\sin\theta_1+\sin\theta_2$
6	r	7	r	8	$-2kr$
9	$(p_{\text{in}}-p_{\text{out}})r$	10	$\dfrac{1}{2}(p_{\text{in}0}-p_{\text{out}})$	11	r_0
12	$\dfrac{{r_0}^2}{r^2}p_{\text{in}0}$	13	$r_0-\varDelta r$	14	r
15	$-2k$	16	$-p_{\text{in}0}-p_{\text{out}}$	17	$2p_{\text{in}0}$

第２問

1	0	2	qE	3	0
4	$\dfrac{qEd}{m{v_0}^2}$	5	$\dfrac{mv_0}{qB}$	6	$\dfrac{qBl}{mv_0}$
7	L	8	$\dfrac{mv_0}{qB}$	9	$\dfrac{qEL}{m{v_0}^2}$
10	$\dfrac{qE}{2m{v_0}^2}$	11	$\dfrac{mE}{qB^2}$	あ	キ
い	コ	12	-2	う	B
え	B				

解　　説

第１問

I－A ばね１の伸びはx_2-x_1-l，ばね２の伸びはx_3-x_2-lであるから，$\overrightarrow{F_1}$のx成分の大きさは$\left|\underbrace{k(x_2-x_1-l)}_{\boxed{1}}\right|$，$\overrightarrow{F_2}$の$x$成分の大きさは$\left|\underbrace{k(x_3-x_2-l)}_{\boxed{2}}\right|$である。合力$\overrightarrow{F_1}+\overrightarrow{F_2}$の$x$成分は，

$$-k(x_2-x_1-l)+k(x_3-x_2-l)=k(x_1+x_2)-\underbrace{2kx_2}_{\boxed{3}}$$

である。

I－B ばね１の伸びは$\sqrt{{x_1}^2+(y_2-y_1)^2}-l$であるから，小球２がばね１から受ける弾性力の$y$成分は，$-k\left\{\sqrt{{x_1}^2+(y_2-y_1)^2}-l\right\}\sin\theta_1$である。点Pから$y$軸おろした垂線の足を$\mathrm{H_1}$として，直角三角形$\mathrm{PQH_1}$に着目すれば，$\sin\theta_1=\dfrac{y_2-y_1}{\sqrt{{x_1}^2+(y_2-y_1)^2}}$であるから，小球２がばね１から受ける弾性力の$y$成分は，

$$-k\left\{\sqrt{{x_1}^2+(y_2-y_1)^2}-l\right\}\sin\theta_1=-k(y_2-y_1)+kl\sin\theta_1$$

と表されることがわかる。ばね２についても同様に考えることで，小球２がばね２から受ける弾性力のy成分は，

$$-k\left\{\sqrt{{x_3}^2+(y_2-y_3)^2}-l\right\}\sin\theta_2=-k(y_2-y_3)+kl\sin\theta_2$$

であることがわかるので，小球２が受ける弾性力の合力のy成分f_yは，

$$\begin{aligned}f_y&=-k(y_2-y_1)+kl\sin\theta_1-k(y_2-y_3)+kl\sin\theta_2\\&=k(y_1+y_3)-\underbrace{2ky_2}_{\boxed{4}}+kl(\underbrace{\sin\theta_1+\sin\theta_2}_{\boxed{5}})\end{aligned}\tag{1}$$

と表せる。lがばねの伸びに比べて十分小さければ$kl(\sin\theta_1+\sin\theta_2)$の項は無視することができ，

$$f_y=k(y_1+y_3)-2ky_2\tag{2}$$

と表せる。

I－C 問題では薄膜チューブのz方向の長さ1の部分について考えているが，物理量の次元がわかりにくくなるため，ここではz方向の長さhの部分について考えることにする。解答では$h=1$を代入すればよい。

図より，

$$y_1 = \underbrace{r}_{\boxed{6}} \times \cos\theta,\quad y_2 = \underbrace{r}_{\boxed{7}},\quad y_3 = \underbrace{r}_{\boxed{6}} \times \cos\theta$$

である。これらを式(2)に代入して，$f_y = f_k$ とすれば，

$$f_k = k(r\cos\theta + r\cos\theta) - 2kr = \underbrace{-2kr}_{\boxed{8}}(1-\cos\theta) \tag{4}$$

となる。面CDEFにはたらく薄膜内外の圧力差による力 f_p は，圧力差 $p_{\mathrm{in}} - p_{\mathrm{out}}$ と面積 $rh\theta$ の積として

$$f_p = \underbrace{(p_{\mathrm{in}} - p_{\mathrm{out}})r}_{\boxed{9}} \times h\theta \tag{5}$$

と表せる。$r = r_0$ のとき，力のつり合い $f_k + f_p = 0$ が成り立つことから，

$$-2kr_0(1-\cos\theta) + (p_{\mathrm{in}0} - p_{\mathrm{out}})r_0 h\theta = 0$$

$$\therefore\quad \frac{k(1-\cos\theta)}{m} = \underbrace{\frac{1}{2}(p_{\mathrm{in}0} - p_{\mathrm{out}})}_{\boxed{10}} \times \frac{\theta}{m} \times h \tag{6}$$

を満たす。

薄膜内の高さ h の部分に含まれる気体について，等温変化においてはボイルの法則が成り立つことから，

$$p_{\mathrm{in}} \cdot \pi r^2 h = 一定 \qquad \therefore\quad p_{\mathrm{in}} r^2 = 一定$$

が成立する。このことから，

$$p_{\mathrm{in}} r^2 = p_{\mathrm{in}0} {r_0}^2 \qquad \therefore\quad p_{\mathrm{in}} = \underbrace{\frac{{r_0}^2}{r^2} p_{\mathrm{in}0}}_{\boxed{12}} \tag{9}$$

が成立する。式(9)を式(5)に代入すると，

$$f_p = \left(\frac{{r_0}^2}{r^2} p_{\mathrm{in}0} - p_{\mathrm{out}}\right) r \times h\theta = \left(\frac{{r_0}^2}{r} p_{\mathrm{in}0} - r \times p_{\mathrm{out}}\right) \times h\theta$$

となる。ここで，

$$r = r_0 + \Delta r \tag{7}$$

として $\left|\dfrac{\Delta r}{r_0}\right|$ が1に比べて十分に小さいとき，

$$\frac{r_0}{r} = \frac{r_0}{r_0 + \Delta r} = \left(1 + \frac{\Delta r}{r_0}\right)^{-1} \fallingdotseq 1 - \frac{\Delta r}{\underbrace{r_0}_{\boxed{11}}} \tag{8}$$

が成り立つことを用いると，

$$\begin{aligned} f_p &\fallingdotseq \left\{ r_0 \left(1 - \frac{\Delta r}{r_0}\right) p_{\mathrm{in}0} - r \times p_{\mathrm{out}} \right\} \times h\theta \\ &= \left\{ \underbrace{(r_0 - \Delta r)}_{\boxed{13}} \times p_{\mathrm{in}0} - \underbrace{r}_{\boxed{14}} \times p_{\mathrm{out}} \right\} \times h\theta \end{aligned} \tag{10}$$

と表せる。

小物体２の運動方程式

$$ma_y = f_k + f_p \tag{3}$$

に，式(4)，(10)を代入し，さらに式(7)を代入して整理すると，

$$\begin{aligned} ma_y &= -2kr(1-\cos\theta) + \left\{(r_0 - \Delta r)p_{\mathrm{in0}} - rp_{\mathrm{out}}\right\}h\theta \\ &= -2k(r_0 + \Delta r)(1-\cos\theta) + \left\{(r_0 - \Delta r)p_{\mathrm{in0}} - (r_0 + \Delta r)p_{\mathrm{out}}\right\}h\theta \\ &= \left\{-2k(1-\cos\theta) + (p_{\mathrm{in0}} - p_{\mathrm{out}})h\theta\right\}r_0 \\ &\qquad + \left\{-2k(1-\cos\theta) + (-p_{\mathrm{in0}} - p_{\mathrm{out}})h\theta\right\}\Delta r \end{aligned}$$

となる。式(6)より，r_0 に比例する項は０であるから，

$$ma_y = \left\{-2k(1-\cos\theta) + (-p_{\mathrm{in0}} - p_{\mathrm{out}})h\theta\right\}\Delta r$$

を得る。$y = r = r_0 + \Delta r$ より $a_y = a_{\Delta r}$ であるから，小物体２の変位 Δr についての運動方程式

$$ma_{\Delta r} = \left\{\underbrace{-2k}_{\boxed{15}} \times (1-\cos\theta) + \underbrace{(-p_{\mathrm{in0}} - p_{\mathrm{out}})}_{\boxed{16}} \times h\theta\right\}\Delta r \tag{11}$$

が得られた。両辺を θ で割り，$\Delta m = \dfrac{m}{\theta}$ を用いて書き換えれば，

$$\Delta m a_{\Delta r} = -\left\{\frac{2k(1-\cos\theta)}{\theta} + (p_{\mathrm{in0}} + p_{\mathrm{out}})h\right\}\Delta r$$

となる。負号を除いた Δr の係数を $\tilde{k}$ とすれば，この部分は定数である。よって，

$$\Delta m a_{\Delta r} = -\tilde{k}\Delta r \tag{12}$$

と表せ，Δr が単振動を行うことがわかる。このときの定数 $\tilde{k}$ は，式(6)を用いることで

$$\begin{aligned} \tilde{k} &= \frac{2k(1-\cos\theta)}{\theta} + (p_{\mathrm{in0}} + p_{\mathrm{out}})h = (p_{\mathrm{in0}} - p_{\mathrm{out}})h + (p_{\mathrm{in0}} + p_{\mathrm{out}})h \\ &= \underbrace{2p_{\mathrm{in0}}}_{\boxed{17}}\,h \end{aligned} \tag{13}$$

と表せるのだ。

第2問

Ⅱ－A　トムソンの質量分析器

はじめは電場領域通過によるイオンの偏向（電場偏向）についての問題である。電気量qの陽イオンがy軸正の向きの大きさEの電場から受ける静電気力の成分は,

$$x\text{成分：}\ \underbrace{0}_{\boxed{1}}\,,\qquad y\text{成分：}\ \underbrace{qE}_{\boxed{2}}\,,\qquad z\text{成分：}\ \underbrace{0}_{\boxed{3}}$$

である。x方向には速さv_0の等速度運動であるから，間隔dの電場領域Aを通過する時間は$\dfrac{d}{v_0}$であり，この時間でy方向の等加速度運動について考えれば，電場領域Aから出たときの速度のy成分v_yは,

$$v_y = \frac{qE}{m}\cdot\frac{d}{v_0}$$

である。したがって，電場領域から出る傾きは,

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{v_y}{v_0} = \underbrace{\frac{qEd}{m{v_0}^2}}_{\boxed{4}}$$

と表せる。

続いて磁場領域通過によるイオンの偏向（電場偏向）についての問題である。磁束密度Bの磁場によるイオンの円運動の半径Rは，円運動の方程式より,

$$m\frac{{v_0}^2}{R} = qv_0B \qquad \therefore\quad R = \underbrace{\frac{mv_0}{qB}}_{\boxed{5}}$$

円運動の弧の長さがlであることから，その中心角ϕは,

$$\phi = \frac{l}{R} = \underbrace{\frac{qBl}{mv_0}}_{\boxed{6}}$$

と表せる。

最後に電場と磁場を同時にかけた場合のイオンの偏向とフィルムの感光についての問題である。偏向領域においては，イオンはxz面で等速円運動しながら，y軸正の向きに等加速度運動する。

フィルム到達時のz座標は磁場偏向のみによって定まる。まず，偏向領域でz軸正の向きに$R(1-\cos\phi')$だけ変位する。続いて距離L隔てたフィルム到達までに$L\tan\phi'$だけ変位する。これらの合計として，感光点のz座標は,

$$z = \underbrace{L}_{\boxed{7}}\tan\phi' + \underbrace{\frac{mv_0}{qB}}_{\boxed{8}}\left(1-\cos\phi'\right)$$

と表せる。

フィルム到達時のy座標は電場偏向のみによって定まる。まず，偏向領域を出るまでの時間は$\dfrac{l}{v_0}$であるから，その間にy軸正の向きに$\dfrac{1}{2}\dfrac{qE}{m}\left(\dfrac{l}{v_0}\right)^2$だけ変位する。続いて距離$L$隔てたフィルム到達までにイオンは$xz$面内で$\dfrac{L}{\cos\phi'}$だけ進むから，その間に$y$軸正の向きに$\dfrac{L}{\cos\phi'}\tan\theta$だけ変位する。これらの合計として，感光点の$y$座標は，

$$y=\frac{L}{\cos\phi'}\cdot\frac{qEl}{m{v_0}^2}+\frac{1}{2}\frac{qE}{m}\left(\frac{l}{v_0}\right)^2=\underbrace{\frac{qEL}{m{v_0}^2}}_{\boxed{9}}\times\frac{l}{\cos\phi'}+\underbrace{\frac{qE}{2m{v_0}^2}}_{\boxed{10}}\times l^2$$

と表せる。近似式を適用すれば，

$$z\fallingdotseq L\phi'\fallingdotseq\frac{qBdL}{mv_0},\qquad y\fallingdotseq\frac{qELd}{m{v_0}^2}+\frac{qE}{2m{v_0}^2}d^2=\frac{qELd}{m{v_0}^2}\left(1+\frac{d}{2L}\right)\fallingdotseq\frac{qELd}{m{v_0}^2}$$

と書き直せるため，これらからv_0を消去すれば，

$$y=\frac{1}{dL}\times\underbrace{\frac{mE}{qB^2}}_{\boxed{11}}\times z^2$$

と放物線の方程式が得られる。これは入射速度が異なるイオンの感光点の描く軌跡の方程式である。

イオンの入射速度v_0が大きいほど感光点のyやzは小さくなるため，感光点は放物線上で原点に近づくことになる。したがって解答選択肢の $\underbrace{\text{キ}}_{\boxed{\text{あ}}}$ が適切である。また，イオンの質量が大きいほど$\boxed{11}$の値の大きい放物線となる(原点は通る)ため，解答選択肢の $\underbrace{\text{コ}}_{\boxed{\text{い}}}$ が適切である。

Ⅱ－B　アストンの質量分析器

θが十分に小さいため，$\boxed{4}$で導いた$\tan\theta=\dfrac{qEd}{m{v_0}^2}$の表式から，

$$\theta=\frac{qEd}{m{v_0}^2}$$

と表せる。微小変化をとって，

$$\varDelta\theta=\frac{qEd}{m(v_0+\varDelta v_0)^2}-\frac{qEd}{m{v_0}^2}=\frac{qEd}{m{v_0}^2}\left\{\left(1+\frac{\varDelta v_0}{v_0}\right)^{-2}-1\right\}$$

近似式より，

$$\varDelta\theta\fallingdotseq\frac{qEd}{m{v_0}^2}\left(-\frac{2\varDelta v_0}{v_0}\right)=\theta\left(-\frac{2\varDelta v_0}{v_0}\right)\qquad\therefore\ \frac{\varDelta\theta}{\theta}=\underbrace{-2}_{\boxed{12}}\times\frac{\varDelta v_0}{v_0}$$

となる。$\Delta v_0 > 0$ ならば $\Delta\theta$ は $\underbrace{\text{負}}_{\boxed{\text{う}}:\mathrm{B}}$ である。さらに，感光フィルムの位置に集まるためには，θ が小さくなるとき ψ は小さくならないといけないので $\Delta\psi$ は負である必要がある。このため，$\dfrac{\Delta\psi}{\psi} = a\dfrac{\Delta v_0}{v_0}$ の a の値は $\underbrace{\text{負}}_{\boxed{\text{え}}:\mathrm{B}}$ でないとならないのだ。