２０２５年度　私大医学部入試

解答速報

２０２５年２月９日　実施

慶應義塾大学

医学部　一般　**物理**

（制限時間　理科２科１２０分）

医学部専門予備校 D組

解　　答

第１問

問１(a)　$\theta = \dfrac{\pi}{4}$

(b)　$t_1 = \dfrac{2v_0\sin\theta}{g}$,　$\vec{v_1} = \left(v_0\cos\theta,\ ev_0\sin\theta\right)$

(c)　$t_n = \dfrac{2v_0\sin\theta}{g}\cdot\dfrac{1-e^n}{1-e}$,　$\vec{v_n} = \left(v_0\cos\theta,\ e^n v_0\sin\theta\right)$

(d)　$\dfrac{{v_0}^2\sin 2\theta}{(1-e)g}$

問２

(e)　ベクレル：放射性物質が1sあたりに放射線を放出する回数

グレイ：放射線を浴びた物体が1kgあたりに放射線から吸収するエネルギーJ

(f)　放射線の種類や被曝する人体の部位によって危険性が異なるため

第２問

問１(a)　常磁性体：③，⑥，強磁性体：①，④，反磁性体：②，⑤

(b)　$\mathrm{kg\cdot m^2/(A\cdot s^2)}$

(c)　nI

(d)　$N\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

問２(e)　$\boxed{ア}$：ホール効果

問３(f)　$|V_{\mathrm{XY}}| = 2\pi f\mu_0 H_0 h^2\,|\cos 2\pi ft|$

(g)　$f = 2\times10^4\ \mathrm{Hz}$

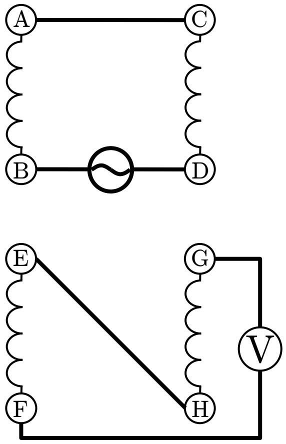
(h)　$F = 6\times10^3\ \mathrm{N}$

(i)　設問(g)で求めたように心臓付近の微小磁場の測定にはコイルの速い回転を要する。伴って設問(h)で求めたようにコイルには強い遠心力が働き，この大きさは体重60kg程度の大人が受ける重力の大きさの10倍程度にものぼる。0.1m四方で0.010gの小さくて軽いコイルがこの大きな遠心力で破断せず形状を維持するとは考えにくい。ゆえに実現可能性は低いと思われる。

問４(j)　$H_1 = nI_0$

(k)　$\boxed{イ}$：$-3bNSH_0{H_1}^2\omega$，$\boxed{ウ}$：$-3bNSH_1{}^3\omega$，$\boxed{エ}$：$\left(a-3b{H_0}^2\right)NSH_1\omega$

(l)



(m) $3\sqrt{2}bNSH_0{H_1}^2\omega$　　　(n) 2×10^{-9} V

第３問

問１(a)　圧力：2.9×10^4 Pa　　物質量：1.0×10^{-4} mol

(b)　圧力：8.0×10^3 Pa　　物質量：3.1×10^{-5} mol

問２(c)　$A=-\gamma+1$　　$B=1-\dfrac{1}{\gamma}$

問３(d)　$C=\rho g$　　(e)　$C=\dfrac{Mpg}{RT}$　※分子量の定義については解説に記載

(f)　$D=\dfrac{BMg}{R}$　　(g)　$\Delta T=-1.0\,\mathrm{K}$

(h)　$\dfrac{p}{\rho T}$ の値は空気の組成が変わらない限り一定である。ゆっくりとした上昇で空気塊の圧力は周囲の大気圧と等しい値を保つと考えられるため，Δh だけ上昇した空気塊の密度変化 $\Delta\rho$ と，Δh だけ高くなることによる周囲の密度変化 $\overline{\Delta\rho}$ には，

$$(\rho+\Delta\rho)(T+\Delta T)=\left(\rho+\overline{\Delta\rho}\right)\left(T+\overline{\Delta T}\right)$$

が成立する。Δh だけ上昇した空気塊の $\Delta\rho$ が $\overline{\Delta\rho}$ より大きければ働く合力が下向きになる。したがって，$\Delta T<\overline{\Delta T}$ でなければならない。

(i)　高度の上昇に伴う温度低下により水滴が生じるとすれば，温度と飽和蒸気圧関係を表す曲線の傾き $\dfrac{\Delta p}{\Delta T}$ が，水蒸気を含まない空気の断熱変化における温度と圧力の関係を表す曲線の傾き $\dfrac{\Delta p}{\Delta T}$ よりも大きい。よって，

$$D=-\frac{\Delta T}{\Delta h}=\rho g\frac{\Delta T}{\Delta p}$$

の値は，水蒸気の凝縮がある場合には小さくなる。

解　　説

第１問

問１

(a) 鉛直方向の等加速度運動を考えれば$t_1 = \dfrac{2v_0\sin\theta}{g}$であり，この時刻の$x_1$は，

$$x_1 = v_0\cos\theta \cdot t_1 = \frac{2{v_0}^2\sin\theta\cos\theta}{g} = \frac{{v_0}^2\sin 2\theta}{g}$$

ゆえに，x_1を最大とする角度θは

（答）$\theta = \dfrac{\pi}{4}$

(b) 放物運動において水平方向の速度は変わらない。鉛直方向の速度は反転する。ゆえに1回目の衝突直前の速度は$\left(v_0\cos\theta,\ -v_0\sin\theta\right)$である。衝突によって速度の鉛直成分は$-e$倍になる。

（答）$t_1 = \dfrac{2v_0\sin\theta}{g}$，$\vec{v_1} = \left(v_0\cos\theta,\ ev_0\sin\theta\right)$

(c) 設問(b)と同様の考察を衝突毎に行えば，

$$\vec{v_n} = \left(v_0\cos\theta,\ e^n v_0\sin\theta\right)$$

と表せる。衝突間の時間は衝突直後の小球の速度のy成分に比例するため，衝突間の時間は公比eの等比数列である。t_nはこの等比数列の和として，

$$t_n = \sum_{k=1}^{n} t_1 e^{k-1} = \frac{2v_0\sin\theta}{g}\cdot\frac{1-e^n}{1-e}$$

（答）$t_n = \dfrac{2v_0\sin\theta}{g}\cdot\dfrac{1-e^n}{1-e}$，$\vec{v_n} = \left(v_0\cos\theta,\ e^n v_0\sin\theta\right)$

(d) 極限をとれば$t_{n\to\infty} = \dfrac{2v_0\sin\theta}{(1-e)g}$となる。小球の水平方向の等速度運動を考えれば，時刻$t_{n\to\infty}$での小球の位置$x_{n\to\infty}$は，

$$x_{n\to\infty} = v_0\cos\theta\cdot t_{n\to\infty} = \frac{2{v_0}^2\sin\theta\cos\theta}{(1-e)g} = \frac{{v_0}^2\sin 2\theta}{(1-e)g}$$

（答）$\dfrac{{v_0}^2\sin 2\theta}{(1-e)g}$

問２

(e) 放射能の強さと吸収線量の定義より，

（答）ベクレル：放射性物質が1sあたりに放射線を放出する回数

グレイ：放射線を浴びた物体が1kgあたりに放射線から吸収するエネルギーJ

(f) 等価線量と実効線量の定義より，

（答）放射線の種類や被曝する人体の部位によって危険性が異なるため

第２問

問１

(a) 常磁性体とは比透磁率が1よりわずかに大きく，外部から与えられた磁場の方向に弱く磁化される $\underbrace{\text{アルミニウム}}_{③}$ や $\underbrace{\text{空気}}_{⑥}$ のような物体である。

強磁性体とは比誘電率が1よりかなり大きく，外部から与えられた磁場の方向に強く磁化される $\underbrace{\text{鉄}}_{①}$ や $\underbrace{\text{コバルトおよびニッケル}}_{④}$ のような物体である。

反磁性体とは比誘電率が1よりわずかに小さく，外部から与えられた磁場と逆の方向に弱く磁化される $\underbrace{\text{銅}}_{②}$ や $\underbrace{\text{水}}_{⑤}$ のような物体である。

（答）常磁性体：③，⑥，強磁性体：①，④，反磁性体：②，⑤

(b) 磁気量 m の磁荷が大きさ H の磁場から受ける力の大きさ F は $F = mH$ であることから磁気量の組立単位はWb（ウェーバ）は,

$$m = \frac{F}{H} \qquad \therefore \quad \mathrm{Wb} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A/m}} = \frac{\mathrm{kg{\cdot}m/s^2}}{\mathrm{A/m}} = \mathrm{kg{\cdot}m^2/\left(A{\cdot}s^2\right)}$$

（答） $\mathrm{kg{\cdot}m^2/\left(A{\cdot}s^2\right)}$

(c) 十分に長く密に巻かれたソレノイドコイルを流れる電流による磁場は，コイル内部に一様に大きさ nI とみなせる。

（答） nI

(d) ファラデー則より，コイルの自己誘導起電力の大きさは $N\dfrac{\varDelta\varPhi}{\varDelta t}$ である。

（答） $N\dfrac{\varDelta\varPhi}{\varDelta t}$

問２

(e) 導体や半導体内を移動するキャリアが磁場から力を受けることで電圧が生じる現象を $\underbrace{\text{ホール効果}}_{\boxed{\text{ア}}}$ という。

（答） $\boxed{\text{ア}}$ ：ホール効果

問３

(f) コイルの回転の角速度は $2\pi f$ であり，コイル面を貫く磁束 $\varPhi$ は,

$$\varPhi = \mu_0 H_0 h^2 \sin 2\pi f t$$

と表せる。ゆえにYを基準としたXの電位としてコイルに生じる誘導起電力は，ファラデー則より，

$$V_{\mathrm{XY}}=\frac{d\Phi}{dt}=2\pi f\mu_0H_0h^2\cos 2\pi ft$$

（答）$|V_{\mathrm{XY}}|=2\pi f\mu_0H_0h^2\,|\cos 2\pi ft|$

(g) V_{XY}の実効値をV_{e}とすれば，

$$V_{\mathrm{e}}=\sqrt{2}\pi f\mu_0H_0h^2 \qquad \therefore \quad f=\frac{V_{\mathrm{e}}}{\sqrt{2}\pi\mu_0H_0h^2}\fallingdotseq 2\times 10^4\ \mathrm{Hz}$$

（答）$f=2\times 10^4\ \mathrm{Hz}$

(h) 導線一辺の質量をmとすれば，

$$F=m\frac{h}{2}(2\pi f)^2=2\pi^2mhf^2\fallingdotseq 6\times 10^3\ \mathrm{N}$$

（答）$F=6\times 10^3\ \mathrm{N}$

(i) 解答の通りである。

問４

(j) 電流によりコア内に生じる磁場H_{cur}は図の上向きを正として，

$$H_{\mathrm{cur}}=nI=\underbrace{nI_0}_{H_1}\sin\omega t$$

（答）$H_1=nI_0$

(k) 新たに巻いた別なコイルは電圧計測器に接続されているだけであるから，この別なコイルには電流は流れないとみなす。交流電流が流れるコイルによって別なコイル内部に生じる磁場の磁束密度Bは上向きを正として，

$$B=a(H_0+H_1\sin\omega t)-b(H_0+H_1\sin\omega t)^3$$

ファラデー則より，別なコイルに生じる相互誘導起電力はFを基準としたEの電位として，

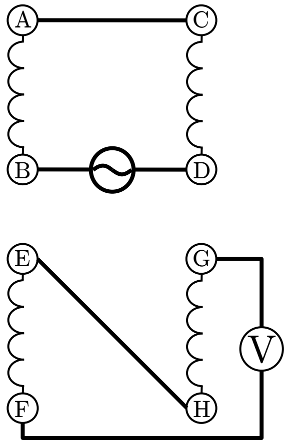
$$\begin{aligned}V_{\mathrm{EF}}&=N\frac{d}{dt}(BS)=NS\left\{aH_1\omega\cos\omega t-3b(H_0+H_1\sin\omega t)^2H_1\omega\cos\omega t\right\}\\&=\left\{a-3b\left(H_0{}^2+2H_0H_1\sin\omega t+H_1{}^2\sin^2\omega t\right)\right\}NSH_1\omega\cos\omega t\\&=\underbrace{-3bNSH_0H_1{}^2\omega}_{\boxed{イ}}\sin 2\omega t\\&\qquad+\cos\omega t\left\{\underbrace{-3bNSH_1{}^3\omega}_{\boxed{ウ}}\sin^2\omega t+\underbrace{(a-3bH_0{}^2)NSH_1\omega}_{\boxed{エ}}\right\}\end{aligned}$$

（答）$\boxed{イ}$：$-3bNSH_0H_1{}^2\omega$，$\boxed{ウ}$：$-3bNSH_1{}^3\omega$，$\boxed{エ}$：$(a-3bH_0{}^2)NSH_1\omega$

※問われているのは絶対値なのですべてを異符号で書いた場合も正解である

(l) コイルに流す電流の向きを逆転させれば H_1 の符号が反転する。このとき $\boxed{イ}$ が係数の項は符号反転せず，$\boxed{ウ}$ が係数の項と $\boxed{エ}$ が係数の項は符号反転する。H_1 が正の場合の相互誘導起電力と H_1 が負の場合の相互誘導起電力を直列して電圧測定器で計測すれば，$\boxed{イ}$ が係数の項のみが現れる。次図は適当に解答欄を仮定した解答である。

（答）



(m) 設問(l)の接続ならば，電圧計測器には $\boxed{イ}$ が係数の項のみが強め合って現れるため，電圧の最大値は $3bNSH_0{H_1}^2\omega\times 2$ であり，実効値 V_e' は，

$$V_e' = 3\sqrt{2}bNSH_0{H_1}^2\omega$$

（答）$3\sqrt{2}bNSH_0{H_1}^2\omega$

(n) ${H_1}^2 = \dfrac{a}{3b}$ ならば，

$$V_e' = 3\sqrt{2}bNSH_0\frac{a}{3b}\omega = \sqrt{2}NSH_0a\omega \fallingdotseq 2\times10^{-9}\ \mathrm{V}$$

（答）2×10^{-9} V

第３問

問１

(a) 図１より $T=80\,^\circ\mathrm{C}=353\,\mathrm{K}$ で $p=4.8\times10^4\,\mathrm{Pa}$ である。容器内の水がすべて水蒸気になっていると仮定すれば，水蒸気の状態方程式より，

$$p=\frac{n_0RT}{V}=\frac{1.0\times10^{-4}\,\mathrm{mol}\cdot8.3\,\mathrm{J/(mol\cdot K)}\cdot353\,\mathrm{K}}{10\,\mathrm{cm^3}}=2.9\times10^4\,\mathrm{Pa}$$

であり，飽和水蒸気圧を下回っている。よって，容器内の水はすべて水蒸気となっており，その圧力は $p=2.9\times10^4\,\mathrm{Pa}$ である。

（答）圧力：$2.9\times10^4\,\mathrm{Pa}$，物質量：$1.0\times10^{-4}\,\mathrm{mol}$

(b) 図１より $T=40\,^\circ\mathrm{C}=313\,\mathrm{K}$ で $p=8.0\times10^3\,\mathrm{Pa}$ である。容器内の水がすべて水蒸気になっていると仮定すれば，水蒸気の状態方程式より，

$$p=\frac{n_0RT}{V}=\frac{1.0\times10^{-4}\,\mathrm{mol}\cdot8.3\,\mathrm{J/(mol\cdot K)}\cdot313\,\mathrm{K}}{10\,\mathrm{cm^3}}=2.6\times10^4\,\mathrm{Pa}$$

であり，飽和水蒸気圧を上回っている。よって，容器内の圧力は飽和水蒸気圧に一致する $p=8.0\times10^3\,\mathrm{Pa}$ であり，水蒸気の物質量 n は，

$$n=\frac{pV}{RT}=\frac{8.0\times10^3\,\mathrm{Pa}\cdot10\,\mathrm{cm^3}}{8.3\,\mathrm{J/(mol\cdot K)}\cdot313\,\mathrm{K}}=3.1\times10^{-5}\,\mathrm{mol}$$

（答）圧力：$8.0\times10^3\,\mathrm{Pa}$，物質量：$3.1\times10^{-5}\,\mathrm{mol}$

問２

(c) 断熱変化で成立するポアソン則 $pV^\gamma=(\text{一定})$ とボイル・シャルル則 $\dfrac{pV}{T}=(\text{一定})$ から V を消去すると $p^{-\gamma+1}T^\gamma=(\text{一定})$ を得る。微小断熱変化に適用すれば，

$$(p+\Delta p)^{-\gamma+1}(T+\Delta T)^\gamma=p^{-\gamma+1}T^\gamma\qquad\therefore\quad\left(1+\frac{\Delta p}{p}\right)^{-\gamma+1}\left(1+\frac{\Delta T}{T}\right)^\gamma=1$$

近似して，

$$\left\{1+(-\gamma+1)\frac{\Delta p}{p}\right\}\left(1+\gamma\frac{\Delta T}{T}\right)-1=0\qquad\therefore\quad\Delta T=\left(1-\frac{1}{\gamma}\right)\frac{T}{p}\Delta p$$

以上の結果を，$p^AT^\gamma=(\text{一定})$，$\Delta T=B\dfrac{T}{p}\Delta p$ と比較すると，

（答）$A=-\gamma+1$，$B=1-\dfrac{1}{\gamma}$

問３

(d) 厚さ Δh の大気層の，水平な面積 S の領域を考え，重力と上下の大気圧差による力のつり合いを記述すれば，

$$pS=\rho S\Delta h\cdot g+(p+\Delta p)S\qquad\therefore\quad\Delta p=-\rho g\Delta h$$

（答）$C=\rho g$

(e) 本来平均分子量Mは無次元・無単位であるが，ここでは単位物質量あたりの質量と解釈すれば(そうしないとMの代わりにM g/molを延々と書き込み続けないといけないことになるため，題意ではないと柔軟に判断した)，密度ρは，

$$\rho=\frac{nM}{V}$$

である。状態方程式より$\dfrac{n}{V}=\dfrac{p}{RT}$であるから，

$$\rho=\frac{Mp}{RT}\qquad\therefore\quad C=\rho g=\frac{Mpg}{RT}$$

（答）$C=\dfrac{Mpg}{RT}$

問４(f) 問２の式に，問３(e)の結果を代入して，

$$\Delta T=B\frac{T}{p}\cdot\left(-\frac{Mpg}{RT}\right)\Delta h=-\frac{BMg}{R}\Delta h\qquad\therefore\quad D=\frac{BMg}{R}$$

このDは乾燥気温減率（乾燥断熱減率）と呼ばれている。

（答）$D=\dfrac{BMg}{R}$

(g) $M=29$とあるが$M=29\times10^{3}$ kg/molとして設問(f)の式に，$B=0.29$，$g=10\,\mathrm{m/s^2}$，$M=29\times10^{3}$ kg/mol，$\Delta h=1.0\times10^{2}$ mを代入して，

$$\Delta T=-\frac{0.29\cdot29\times10^{-3}\cdot10}{8.3}\cdot1.0\times10^{2}\,\mathrm{K}=-1.0\,\mathrm{K}$$

となる。この計算の通り，乾燥大気では100 m上昇するごとに気温が約1K低下する。

（答）$\Delta T=-1.0\,\mathrm{K}$

(h) 解答の通り。Δhが正なら，ΔT，$\overline{\Delta T}$は負であるため，その大きさの大小関係としては$\left|\Delta T\right|>\left|\overline{\Delta T}\right|$であることに注意。すなわち，これまでの設問のように，ゆっくりした上昇を断熱膨張による温度降下で考察したよりも，実際の大気の温度降下が大きいと，空気塊に働く合力が上向きになってしまって，加速的に上昇してしまうことになる。ゆえに実現する温度の減少率（気温減率）は(g)までで考えた乾燥気温減率よりも小さくないといけないことがわかる。

(i) (g)までで考えた乾燥気温減率には，水蒸気が凝縮して水滴になる効果が考慮されていない。実際の大気では水蒸気の凝縮の効果を考慮した湿潤気温減率（湿潤断熱減率）が現実の地表付近の大気温の高度依存性をよく説明することが知られている。地表付近の湿潤気温減率の値は約6.5×10^{-3} K/mであり，乾燥気温減率（約1.0×10^{-2} K/m）より小さい。