2020（R2)年度　東京大学　理科前期　入学試験　物理解説

（物理，化学，生物，地学から２科目受験）（配点120点）（150分）

第１問

＜解答＞

Ⅰ (1)

各時刻において原点Oと小球を結ぶ線分が描く面積速度は

$$A_v = \frac{1}{2}(xv_y - yv_x)$$

ある時刻における位置および速度ベクトルが

$\vec{r}=(x\,,\,y)$，$\vec{v}=(v_x\,,\,v_y)$であったとき，

それらは微小時間 Δt たった後にそれぞれ

$\vec{r'}=(x+$ア$\Delta t\,,\,y+$イ$\Delta t)=(x+v_x\Delta t\,,\,y+v_y\Delta t)$

$\vec{v'}=(v_x+$ウ$\Delta t\,,\,v_y+$エ$\Delta t)=(v_x+a_x\Delta t\,,\,v_y+a_y\Delta t)$

に変化する。このことを用いると，微小時間 Δt における面積速度の変化分は

Δt 後の面積速度は $A_v{}'=\dfrac{1}{2}\{(x+v_x\Delta t)(v_y+a_y\Delta t)-(y+v_y\Delta t)(v_x+a_x\Delta t)\}$ だから，

$$\Delta A_v=A_v{}'-A_v=\frac{1}{2}\{(x+v_x\Delta t)(v_y+a_y\Delta t)-(y+v_y\Delta t)(v_x+a_x\Delta t)\}-\frac{1}{2}(xv_y-yv_x)$$

$=\dfrac{1}{2}(xa_y-ya_x)\Delta t=\dfrac{1}{2}(x$オ$-y$カ$)\Delta t$

ア v_x　イ v_y　ウ a_x　エ a_y　オ a_y　カ a_x　（答）

(2)

面積速度が時間変化しないということは$\Delta A_v=0$，$\therefore\ xa_y=ya_x$

$\vec{F}=\begin{pmatrix}F_x\\F_y\end{pmatrix}=m\begin{pmatrix}a_x\\a_y\end{pmatrix}$，すなわち$a_x=\dfrac{F_x}{m}$，$a_y=\dfrac{F_y}{m}$

したがって，面積速度が時間変化しないためには，$xF_y=yF_x$　（答）

(3)

(2)の結果より $\dfrac{x}{y}=\dfrac{F_x}{F_y}$だから，力ベクトル$\vec{F}$と位置ベクトル$\vec{r}$とは同一方向である。

小球が円周上を運動したとき r は一定で，力ベクトル$\vec{F}$の方向に移動しないので，仕事をしない。

したがって，点Aから Bまでに行う仕事と点AからCまでに行う仕事は等しく0である　（答）

Ⅱ(1)

小球の運動エネルギー $K_k=\dfrac{1}{2}mv^2=\dfrac{1}{2}m(v_x{}^2+v_y{}^2)$

$$K_r=\frac{1}{2}mv_r{}^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{xv_x+yv_y}{r}\right)^2=\frac{1}{2}m\frac{(xv_x+yv_y)^2}{r^2}$$

$$K_k-K_r=\frac{m}{2r^2}\{(v_x{}^2+v_y{}^2)(x^2+y^2)-(xv_x+yv_y)^2\}$$

$$=\frac{m}{2r^2}(x^2v_y{}^2+y^2v_x{}^2-2xyv_xv_y)=\frac{m}{2r^2}(xv_y-yv_x)^2=\frac{2mA_v{}^2}{r^2}$$ （答）

(2)

小球の力学的エネルギー K は位置エネルギー U と運動エネルギー K_k の和である。

II(1)の結果から，A_v をある定数値 A_0 とすれば，

$$K=K_k+U=K_r+\frac{2mA_v{}^2}{r^2}-G\frac{mM}{r}=K_r+\frac{2mA_0{}^2}{r^2}-G\frac{mM}{r}\geqq\frac{2mA_0{}^2}{r^2}-G\frac{mM}{r}=f(r)$$

小球の運動エネルギーKが最小になるのは，$K_r=0$のときで，$v_r=0$，$xv_x+yv_y=\vec{r}\cdot\vec{v}=0$である。

すなわちrが一定であり，動径ベクトル$\vec{r}$と速度ベクトル$\vec{v}$とが直交するので，円運動である。

$$f(r)=\frac{2mA_0{}^2}{r^2}-G\frac{mM}{r}=2mA_0{}^2\left(\frac{1}{r^2}-\frac{C}{r}\right)=2mA_0{}^2\left\{\left(\frac{1}{r}-\frac{C}{2}\right)^2-\frac{C^2}{4}\right\},\ C=\frac{GM}{2A_0{}^2}$$

$f(r)$は$r=\frac{2}{C}$のとき，最小値 $-\frac{mA_0{}^2C^2}{2}=-\frac{G^2M^2m}{8A_0{}^2}$ をとるので，

力学的エネルギーの最小値は$-\frac{G^2mM^2}{8A_0{}^2}$

力学的エネルギーが最小となる運動は円運動で，最小値は $-\frac{G^2mM^2}{8A_0{}^2}$ （答）

III (1)

$2\pi r_n=n\lambda=\frac{nh}{mv}$，$r_n=\frac{nh}{2\pi mv}$ ①

物体Mと小球mとの間に働く万有引力が小球mの円運動の向心力だから，円運動の方程式は

$G\frac{mM}{r_n{}^2}=\frac{mv^2}{r_n}$ ②

①，②からvを消去して，$r_n=\frac{1}{GM}\left(\frac{nh}{2\pi m}\right)^2$ （答）

(2)

III(1)で$n=1$として，$r_1=\frac{1}{GM}\left(\frac{h}{2\pi m}\right)^2=R$，したがって，

$$m=\frac{h}{2\pi\sqrt{GMR}}=\left(\frac{h}{2\pi}\right)\left(\frac{1}{\sqrt{GMR}}\right)\fallingdotseq 10^{-34}\times\frac{1}{\sqrt{10^{-10}\times10^{42}\times10^{22}}}$$

$=10^{-34}\times10^{-27}=10^{-61}$ [kg] （答）

<解説>

抽象性の高い問題で，長文の問題文を読んで当惑するかも知れない。しかし，決して難問ということはなく，問題文が思考の流れを助け，解答へと導こうとしている。問題文を的確に読み込み，蓄積した物理知識と培った物理思考力を動員して，粘り強く取り組もう。

I (1)

面積速度が$A_v=\frac{1}{2}(xv_y-yv_x)$ となることを確認しておこう。これは，図１において位置ベクトル

$\vec{r}$ と速度ベクトル $\vec{v}$ とがつくる三角形（打点部）の面積である。

すなわち

$$S=\frac{1}{2}|\vec{r}||\vec{v}|\sin\theta=\frac{1}{2}|\vec{r}||\vec{v}|\sqrt{1-\cos^2\theta}=\frac{1}{2}|\vec{r}||\vec{v}|\sqrt{1-\left(\frac{\vec{r}\cdot\vec{v}}{|\vec{r}||\vec{v}|}\right)^2}=\frac{1}{2}\sqrt{(|\vec{r}||\vec{v}|)^2-(\vec{r}\cdot\vec{v})^2}$$

$$=\frac{1}{2}\sqrt{\left(\sqrt{x^2+y^2}\sqrt{{v_x}^2+{v_y}^2}\right)^2-(xv_x+yv_y)^2}=\frac{1}{2}\sqrt{(x^2+y^2)({v_x}^2+{v_y}^2)-(xv_x+yv_y)^2}$$

$$=\frac{1}{2}\sqrt{x^2{v_y}^2+y^2{v_x}^2-2xyv_xv_y}=\frac{1}{2}\sqrt{(xv_y-yv_x)^2}=\frac{1}{2}|xv_y-yv_x|$$

面積速度として正負の方向まで考えて，$A_v=\dfrac{1}{2}(xv_y-yv_x)$ とすることができる。

２つのベクトルがつくる三角形の面積を求める問題はベクトルと三角関数の応用として数学Ｂの教科書に記載されている。

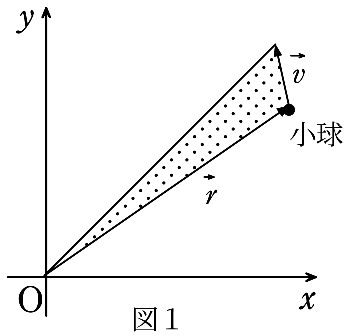

図１

(2)

(1)の結果をそのまま活用すれば良い。

(3)

問題図 1—1 が示す運動は円運動であり，向心力の作用で円運動することを知っている。向心力は仕事をしないということも知っている。それなのに，なぜ仰々しく力 $\vec{F}$ がA からB までに行う仕事とA からC までに行う仕事の大小関係を問うのだろう，と考え込んでしまう。

考慮の及ばない物理過程でも潜んでいるのだろうか，と考えても何も思いつかない。それなら，時間を無駄にせず，素直に (2) の結果を活用して，等しく0であると解答しよう。

Ⅱ(1)

問題文に与えられた動径方向速度を導いておこう。

$r^2=x^2+y^2$，両辺を t で微分する。左辺 $=\dfrac{d}{dt}(r^2)=2r\dfrac{dr}{dt}=2rv_r$

右辺 $=\dfrac{d}{dt}(x^2+y^2)=2x\dfrac{dx}{dt}+2y\dfrac{dy}{dt}=2xv_x+2yv_y$

したがって，$rv_r=xv_x+yv_y$，$\therefore\ v_r=\dfrac{xv_x+yv_y}{r}$

(2)

$xv_x+yv_y=\vec{r}\cdot\vec{v}$，$v_r=\dfrac{\vec{r}\cdot\vec{v}}{r}$ であることに気づこう。

Ⅲ(1)

万有引力を向心力とする円運動において，円周長とド･ブロイ波長の間に量子条件が成り立つような

円軌道の半径を求める。

(2)

ボーアの原子模型という極微の分野から宇宙という極大の世界へと問題が移り，頭が混乱するかも知れない。(1)で得た式に与えられた値を適用すれば良い。

第２問

＜解答＞

Ⅰ(1)

導体棒に流れる電流Iの方向が磁場の方向に垂直だから，$F=\boxed{ア}=dIB$の力が働く。右向きに動き始めたので，力は右向きだから，フレミングの左手の法則に則り，磁場の向きは鉛直$\boxed{イ}$（上，$\boxed{下}$）向きである。

導体棒が右へ動くと閉回路内を貫く磁束が増えるから，レンツの法則に則り磁束を減らそうとする方向に電流が流れる。すなわちY→X→抵抗→Yのように左回りに電流を流そうとする起電力，すなわち，$\boxed{ウ}$（$\boxed{X}$，Y）側を正とする誘導起電力Vが発生する。したがって導体棒を流れる電流は小さくなる。

電池の起電力V_0とVの間に，$\boxed{エ}$ $\boxed{V=V_0}$ の関係が成り立つと電流は流れなくなり，導体棒には力が働かなくなるので，その速さは一定になる。

この一定の速さを以下では「到達速さ」と表記する。

到達速さs_0は，誘導起電力$V=s_0dB$だから，$V=V_0$として，$s_0=\boxed{オ}=\boxed{\dfrac{V_0}{dB}}$で与えられる。

ア dIB　イ 下　ウ X　エ $V=V_0$　オ $\dfrac{V_0}{dB}$　（答）

(2)

(1)の結果を利用すると，

導体棒の加速度をaとして，$ma=m\dfrac{\Delta s}{\Delta t}=F=dIB$，$\therefore \Delta s=\dfrac{dIB}{m}\Delta t$　（答）

また誘導起電力は$V=sdB$，時間Δtにおける変化量は，$\Delta V=\Delta s dB=\dfrac{I(dB)^2}{m}\Delta t$　（答）

(3)

この過程で導体棒を流れる電気量は，誘導起電力が0からV_0になるまでに導体棒を流れる電流の総和である。(2)から$I(t)=\dfrac{m}{(dB)^2}\dfrac{\Delta V}{\Delta t}$として，

$$Q=\int_0^\infty I(t)dt=\frac{m}{(dB)^2}\int_0^\infty \frac{\Delta V}{\Delta t}dt=\frac{m}{(dB)^2}\int_0^{V_0}dV=\frac{mV_0}{(dB)^2}$$　（答）

(4)

導体棒を流れる電流は誘導起電力によって，初期値$\dfrac{V_0}{R}$から0にまで減少する。

$\Delta Q=I(t)\Delta t=\dfrac{m}{(dB)^2}\Delta V$，電圧$V(t)$のとき電荷$\Delta Q$が運ばれる仕事は$V(t)\Delta Q=\dfrac{m}{(dB)^2}V\Delta V$

誘導起電力が0からV_0まで変化するのだから，電荷を運ぶのに要する仕事は，

$$W=\frac{m}{(dB)^2}\int_0^{V_0}VdV=\frac{mV_0{}^2}{2\,(dB)^2}=\frac{1}{2}ms_0{}^2$$ （答）

(5)

電池がする仕事は導体棒の運動エネルギーと抵抗に電流が流れて発生するジュール熱とに変わる。

導体棒の運動エネルギーは $\frac{1}{2}ms_0{}^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{V_0}{dB}\right)^2=\frac{mV_0{}^2}{2\,(dB)^2}=\frac{1}{2}QV_0$ （答）

抵抗で発生したジュール熱は,

（電池がする仕事－導体棒の運動エネルギー）$=QV_0-\frac{1}{2}QV_0=\frac{1}{2}QV_0$ （答）

II

その到達速さは，I(1)によりレールの間隔に反比例するから，間隔dのときの到達速さに比べ $\boxed{カ}$ $\frac{1}{2}$倍になる。それぞれの到達速さで移動しているときは，X，Y 間の起電力は，レール間隔が変わってもV_0であることに変わりないので，レール間隔が2 倍になるにともない， $\boxed{キ}$ 1倍になる。

スイッチを切ったままの状態で，導体棒が移動する場合は，電流は流れない。したがって，レールの移動に影響する要因はないので，レール間隔が2 倍になっても速さは変化しない。すなわち速さは $\boxed{ク}$ 1 倍になる。間隔が変化しても電荷に働く磁場の力（ローレンツ力）は同じ，すなわち等価的に電場の強さは変わらないと考えることができるから，間隔が2 倍になると接点X，Y 間の起電力は $\boxed{ケ}$ 2 倍になる。

カ $\frac{1}{2}$　キ 1　ク 1　ケ 2　（答）

III

回路に電流I が流れているとすれば,

導体棒 1 に働く力は，$F_1=IdB$，導体棒2 に働く力は$F_2=I\,(2d)B$，いずれも向きは右向き。

導体棒 1，2 の質量はともに m だから，導体棒2 に働く加速度は導体棒1 に働く加速度の2倍である。

導体棒が右向きに移動すると，電流を減少させる向きに誘導起電力が発生して，回路に流れる電流は，$I=\frac{1}{R}(V_0-v_1dB-2v_2dB)$ のように導体棒が速くなるにつれ減少し0 になる。この間，導体棒 1と2 に流れる電流は同じだから，導体棒2 に加わる加速度は常に導体棒1にかかる加速度の2倍である。加速度が2 倍であれば，速さは2 倍となるから $v_2=2v_1$ である。したがって導体棒 1，2 の速さが一定となったとき，到達速さは $s_2=2s_1$ である。

このとき導体棒に流れる電流$I=\frac{1}{R}(V_0-s_1dB-2s_2dB)=\frac{1}{R}(V_0-s_1dB-4s_1dB)=0$だから,

$s_1=\frac{V_0}{5dB}$，$s_2=\frac{2\,V_0}{5dB}$ ，導体棒1の到達速さ：$\frac{V_0}{5dB}$，導体棒2：$\frac{2\,V_0}{5dB}$（答）

＜解説＞

I(1)

問題文に沿って，上に解答を記載した。ここで，$\boxed{ウ}$ について触れる。誘導電流はYからXの向きに流れるので，ウッカリ「Y側を正とする誘導起電力が発生」としそうである。電池が流そうとする電

流とは逆向きの電流を発生させる起電力だから，「X側を正とする誘導起電力が発生」でなければならない。X→ 抵抗→ Yと電流が流れ，抵抗によって電圧降下するから，X側が正である。

(5)

ジュール熱を（電池がした仕事－導体棒の運動エネルギー）として求めたが，下記のように求めることもできる。

$I(t)=\dfrac{m}{(dB)^2}\dfrac{\varDelta V}{\varDelta t}$，$P(t)=I(t)RI(t)=I(t)V(t)=\dfrac{m}{(dB)^2}V(t)\dfrac{\varDelta V}{\varDelta t}$，$P(t)\varDelta t=\dfrac{m}{(dB)^2}V(t)\varDelta V$

したがって抵抗によって消費される電力エネルギー，すなわち発生するジュール熱は

$$W_R=\int_0^{\infty}P(t)dt=\frac{m}{(dB)^2}\int_0^{V_0}VdV=\frac{m}{(dB)^2}\times\frac{1}{2}{V_0}^2=\frac{1}{2}QV_0$$

II

間隔d のときの到達速さのまま，間隔$2d$ のレール上に導体棒が移動すると，誘導起電力は2 倍になって，導体棒に左回りの電流が流れる。すると，フレミングの左手の法則に則り，左向きの力が発生して，導体棒の右方向の移動が減速して，誘導起電力が減少してV_0 になったとき（すなわち電流が流れなくなり，導体棒に力がかからなくなったとき），一定の速さに到達する。

こう考えれば，レール間隔が2 倍になっても，到達速さでのX，Y 間の誘導起電力は同じV_0である。この問題文は，いかにも誘導起電力が変化するかのような語調になっているので注意すること。

誘導起電力の基になるのは，電荷に働くローレンツ力である。電荷e に対してevB のローレンツ力が働く。これはあたかも導体棒中に一様な電場E が存在して，$eE=evB$ なる力が働いているかのように考ええることができる。したがって，$E=vB$ であり，誘導起電力は$V=E\,l=vlB$ となって，磁場中の導体棒の長さl に比例する。

III

この問題のポイントは，導体棒1 に対し導体棒2 にかかる磁場の力は2 倍で，質量が同じなので，導体棒2 の加速度が2 倍になることである。加速度が2 倍であれば，導体棒１に対し導体棒2 の速さは2 倍になる。すなわち，

$v_1(t+\varDelta t)=v_1(t)+a_1(t)\varDelta t$，$v_1(t+\varDelta t)-v_1(t)=a_1(t)\varDelta t$,

$\therefore\ {v_1}'(t)=a_1(t)$，$v_1(t)=\int_0^t {v_1}'(t)dt=\int_0^t a_1(t)dt$

同様に，${v_2}'(t)=a_2(t)$，$v_2(t)=\int_0^t {v_2}'(t)dt=\int_0^t a_2(t)dt=2\int_0^t a_1(t)dt=2v_1(t)$

したがって到達速さについて，$s_2=2s_1$

第３問

<解答>

Ｉ

操作①：状態 A から B への変化において熱の吸収，放出はない。したがって熱力学第１法則により，内部エネルギーの増加と気体がされた仕事が等しい。$W_1=\dfrac{3}{2}\left(\dfrac{1}{a^2}-1\right)RT_A$　（答）

操作②：状態BからC への変化において，圧力は一定で体積が変化した（定圧変化）。

気体がされた仕事は $W_2=\dfrac{p_A}{a^5}\dfrac{a^3RT_A}{p_A}\left(\dfrac{4}{5}a^2-1\right)=-\dfrac{RT_A}{a^2}\left(\dfrac{4}{5}a^2-1\right)=-\left(\dfrac{4}{5}-\dfrac{1}{a^2}\right)RT_A$　（答）

操作③：状態C からD への変化において，おもりの増加により圧力が増加，体積が減少した。熱は逃げないので，温度が上昇し内部エネルギーが増加した。その分，気体は仕事をされた。すなわち熱力学の第１法則により，内部エネルギーの増加と気体がされた仕事が等しい。

W_3 ＝ 内部エネルギーの増加 ＝ $\dfrac{3}{2}R\times\dfrac{4}{5}T_A(a^2-1)=\dfrac{6}{5}(a^2-1)RT_A$　（答）

Ⅱ (1)

容器 X 内の気体の温度が T_D から T_E に変化したのだから，$\Delta U_4=\dfrac{3}{2}R(T_E-T_D)$　（答）

(2)

状態D からE への変化は定圧変化だから，状態E における容器X の状態方程式は

$p_AV_E=RT_E$，$\therefore V_E=\dfrac{RT_E}{p_A}$,

$\therefore$ 気体がされた仕事は $W_4=-p_A(V_E-V_D)=-p_A\left(\dfrac{RT_E}{p_A}-\dfrac{RT_D}{p_A}\right)=R(T_D-T_E)$　（答）

(3)

容器Y の内部エネルギーの変化 $\dfrac{3}{2}R(T_E-T_A)$ は容器 X からの熱の放出に等しい。

容器X の気体の状態D からE への変化について，

（吸収した熱）$=-\dfrac{3}{2}R(T_E-T_A)$，（気体がした仕事）$=-W_4$,

（内部エネルギーの変化）$=\Delta U_4$

熱力学の第１法則から，$-\dfrac{3}{2}R(T_E-T_A)=-W_4+\Delta U_4=-R(T_D-T_E)+\dfrac{3}{2}R(T_E-T_D)$

$\therefore T_E=\dfrac{1}{8}(3T_A+5T_D)$　（答）

Ⅲ (1)

題意から，グラフは以下のような特徴を備えている。

- 状態B からC への変化は定圧変化である（イ，ウ，オ，カが該当）。
- $\Delta U_Y>0$ だから，$T_E>T_A$（ア，オ，カが該当）。
- 状態 D から E への変化は定圧変化で，熱を放出するので $T_D>T_E$（ウ，オが該当）。

全てを満たすグラフは オ　（答）

(2)

$\Delta U_Y=\dfrac{3}{2}R(T_E-T_A)>0$，$\therefore T_E=\dfrac{1}{8}(3T_A+5T_D)>T_A$，$T_D=\dfrac{4}{5}a^2T_A>T_A$,

$\therefore \dfrac{4}{5}a^2>1$，したがって $a>\dfrac{\sqrt{5}}{2}$　（答）

(3)

容器XおよびYの気体は，いずれも温度がT_AからT_Eに変化したので，内部エネルギーの変化は，それぞれ ΔU_Y で，合計して$2\Delta U_Y$ である。この内部エネルギーの変化は容器 X の気体がされた仕事

と物体 Z から受け取った熱量 Q_2 によってもたらされた。

熱力学第１法則により，$Q_2=-W+2\varDelta U_Y$，$\varDelta U_Y=\dfrac{1}{2}(Q_2+W)$　（答）

(4)

容器 Y 内の気体は容器 X との接触によってのみ，熱の吸収あるいは放出が生じ，温度変化が生じる。操作 ① から ③ の繰り返し操作において，容器 X の温度は毎回必ず T_D になる。容器 Y の温度が一定の温度 T_F になるということは，容器 X との接触による温度変化が減少し 0 になるということだから，温度T_E は次第に温度 $T_D=\dfrac{4}{5}a^2T_A$ に近づく。

すなわち，$T_F=T_D=\dfrac{4}{5}a^2T_A$　（答）

＜解説＞

操作 ① から ④ を繰り返し行う気体の状態変化過程を分析考察する問題である。この過程でのポイントは物体 Zの温度が容器 Xとの接触によっても変化しないということである。すなわち，物体 Zの温度を一定に保つために，外部と熱の授受が行われている。

Ⅰでは $a>1$ に留意して容器 X 内の気体の状態変化を理解し，熱力学の第１法則によって，気体がされた仕事を求める。

Ⅱでは操作④における状態変化を理解すれば良い。容器Xが容器Yと接触することにより，XとYとの間で熱の授受が生じて，両容器内の気体の状態変化が生じる。

Ⅲでは，「低温の物体Zから容器Y内の高音の気体に熱を運ぶ操作になっている」という表現に，戸惑いを感じるかも知れない。問題文に「物体Zの温度は常に$\dfrac{4}{5}T_A$に保たれている」とあることを忘れてはならない。上述のように物体Zに外部から熱が供給されるので，「低温の物体から高音の物体に熱を運ぶ操作」が実現できるのである。

容器 Y 内の気体の内部エネルギーの変化 $\varDelta U_Y$ は容器 X 内の気体の内部エネルギーの変化でもあることに注意する。

容器Yの気体の温度が次第に$T_D=\dfrac{4}{5}a^2T_A$ に近づくことは下記のように明らかである。

Ⅱ(3)の答 $T_E=\dfrac{1}{8}(3T_A+5T_D)$ において，n回目の操作（①～④の操作を1回とする）によって，容器Yの温度がT_Eであるとすれば，T_Aはその前のT_Eだから，以下の漸化式が成立する。

$T_{E,n}=\dfrac{3}{8}T_{E,n-1}+\dfrac{5}{8}\times\dfrac{4}{5}a^2T_A=\dfrac{3}{8}T_{E,n-1}+\dfrac{1}{2}a^2T_A$，$T_{E,0}=T_A$，

$T_{E,n}-\dfrac{8}{5}t=\dfrac{3}{8}\left(T_{E,n-1}-\dfrac{8}{5}t\right)$，ただし $t=\dfrac{1}{2}a^2T_A$

$T_{E,n}-\dfrac{8}{5}t=\dfrac{3}{8}\left(T_{E,n-1}-\dfrac{8}{5}t\right)=\left(\dfrac{3}{8}\right)^2\left(T_{E,n-2}-\dfrac{8}{5}t\right)=\cdots=\left(\dfrac{3}{8}\right)^n\left(T_{E,0}-\dfrac{8}{5}t\right)$

$n\to\infty$で$T_{E,n}-\dfrac{8}{5}t=0$，$\therefore\ T_F=\lim_{n\to\infty}T_{E,n}=\dfrac{8}{5}t=\dfrac{8}{5}\times\dfrac{1}{2}a^2T_A=\dfrac{4}{5}a^2T_A$　（答）

＜総評＞

物理をより深く考えさせようとする問題文の表現に工夫がなされた問題，物理過程の条件をいろいろ変化させて，受験生の物理理解が的確かどうかを問う問題，個々の熱力学的変化を考えながら，熱力学的過程全体の理解を求める問題など，例年にもまして問題作成に工夫が凝らされていると感じた。

第１問

受験生が読み慣れた物理の教科書からすると，問題文の表現の物理的一般性が高いので，題意を把握するのに困難を感じるかも知れない。しかし，求められている解答そのものは，決して難しいものではない。難易度はＡ－。

第２問

磁場中にある２本のレール上を滑る１本の導体棒という設定の電磁誘導に関わる問題で，頻出の設定である。スイッチを入れた瞬間から流れる電流によって，導体棒に電磁力が働き，導体棒が動き始める。その向きは電流を減少させるような向きで，導体棒を減速させてゆき，導体棒に働く電磁力も減少し，電流は0，導体棒に働く力も0となって，導体棒は定速となる。この過程を理解し，物理的に表現することが必要である。

Ⅱでは，レール間隔が2倍になったときの導体棒の到達速さや誘導起電力の振る舞いを問う。条件設定が変化したときに，どのような振る舞いになるかを明らかにできることは，物理過程の理解が正しいことの証左である。

Ⅲでは，同じ導体棒をレール間隔が1倍と2倍のレールに乗せたものを直列に接続した場合の振る舞いである。これも面白い設定である。特段に難しい考察を必要とするものではない。難易度はＢ。

第３問

気体の状態変化に関わる問題。問題は誘導的にできているので，状態変化の過程をていねいに追い，熱力学の第１法則を活用すれば，大きな困難はなく解ける。過程全体を的確に理解することが重要である。全体として標準的なレベルの問題で，難易度はＢ。

211210