$\boxed{\text{NewTH2-10}}$ [京都大]

熱力学は気体だけではなく，様々な対象にも適用することができる．本問ではひも状の物体の熱力学を考えてみよう．あるひも状の物体を引き伸ばし，長さが $L_{\min}$ から $L_{\max}$ の範囲内で張力 X を測定したところ，X は長さ L に依存せず，絶対温度 T および正の定数 A を用いて $X = AT$ と表された．この物体の変形としては，L が $L_{\min}$ から $L_{\max}$ の範囲内にある 1 次元的な伸縮のみを考え，また，内部エネルギー U は正の定数 C を用いて $U = CT$ となるとして，以下の問いに答えよ．

I　この物体に外から微小仕事 ΔW を加えて微小量 ΔL だけ伸ばしたときに，$\Delta W = X\Delta L$ という関係式が成り立つ．吸熱量を ΔQ，内部エネルギーの変化を ΔU としたとき，熱力学第 1 法則より ΔU は，ΔQ，A，T，ΔL を用いて，$\Delta U = \boxed{\text{ア}}$ と表される．一方，$U = CT$ より，物体を伸ばしたときの温度変化 ΔT を用いて，内部エネルギーの変化は $\Delta U = \boxed{\text{イ}}$ とも書ける．

断熱的に物体をゆっくりと微小量 ΔL 伸ばしたときの温度変化 ΔT は，C，A，T，ΔL を用いて表すと $\boxed{\text{ウ}}$ となり，温度は {エ　①下降する　②変わらない　③上昇する}．ただし，$\Delta L > 0$ とする．

II　さて，この物体を断熱的にゆっくりと伸ばした．そのとき $L - \dfrac{C}{A}\log T$ が一定であった．ここで，$\log T$ は T の自然対数である．

(1)　この理由を述べよ．ただし，正の定数 T を $T + \Delta T$ までわずかに変化させたときの $\log T$ の変化量を $\Delta \log T$ と表すと，$\dfrac{\Delta \log T}{\Delta T} = \dfrac{1}{T}$ が成り立つことを用いてよい．

III　次に，同じ物体を温度 T に保ったまま，長さ L_0 から L までゆっくりと変化させたときに物体に外から加えられた仕事は $\boxed{\text{オ}}$ であり，その間の吸熱量は $\boxed{\text{カ}}$ である．ただし，$\boxed{\text{オ}}$ および $\boxed{\text{カ}}$ は A，T，L_0，L のみで表すこと．

IV　図のように横軸を物体の長さ L とし，縦軸を温度 T として，この物体の状態変化を表す．物体を温度 T_2 に保ちゆっくりと等温変化させ，その後ゆっくりと T_1 まで断熱変化させ，さらに温度 T_1 でゆっくりと等温変化をさせた後に，断熱的にゆっくりと温度 T_2 の初めの状態に戻すサイクルを考えよう．高温熱源（温度 T_2）から熱を吸収して仕事をし，低温熱源（温度 T_1）に熱を放出するようなサイクルは，{キ　①(a) を時計回りに回る　②(a) を反時計回りに回る　③(b) を時計回りに回る　④(b) を反時計回りに回る}．

(2)　このサイクルでは，$L_{\mathrm{C}} - L_{\mathrm{B}}$ と $L_{\mathrm{D}} - L_{\mathrm{A}}$ が等しくなる．その理由を述べよ．

V　一般にサイクルでの熱効率は，物体がサイクルを通じて外にする正味の仕事を，高温熱源から吸収する熱量 Q_{in} で割った量として導入される．よって，サイクルを動かす間の熱効率は，Q_{in} とサイクルを動かす間に放出する熱量 Q_{out} を用いて $\boxed{\text{ク}}$ と書ける．

(3)　これまでの結果を用いて，IV のサイクルの熱効率が $1 - \dfrac{T_1}{T_2}$ となる理由を説明せよ．