

科目名 熱力学	教官名 福島 孝治	2008年9月2日2時限 試験時間 90分
問題用紙 1枚	解答用紙 両面 1枚	—
		持ち込みの有無 筆記用具のみ持ち込み可

以下の問いに答えよ。但し、解答の順序は問わない。

1. ある気体について、実験によって次の性質がわかっている。

(a) 圧力 P と体積 V の積は温度 T のみの関数 $f(T)$ を用いて、 $PV = f(T)$ と表される。

(b) 内部エネルギー $U(T, V)$ は体積 V に依存せず、温度のみの関数で表される。

以下の問いに答えよ。

(1) 一般に、定積熱容量 C_V は、内部エネルギー U を用いて、 $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$ と表せることを説明せよ。

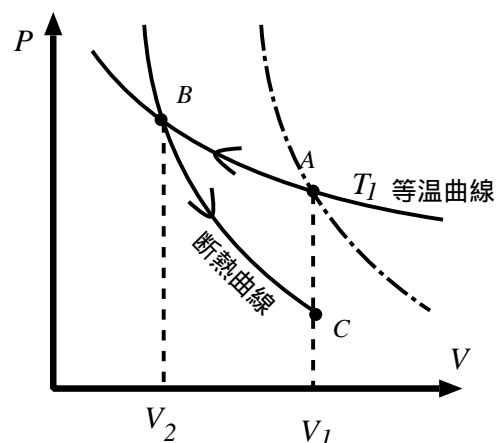
(2) この気体の定積熱容量 C_V は温度だけの関数であり、体積に依らないことを示せ。

(3) 定圧熱容量 C_P は、 $C_P = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left\{ \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + P \right\} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ と表せることを示せ。

(4) この気体の定圧熱容量 C_P も温度だけの関数であることを示せ。

(5) この気体を右図のように、体積 V_1 、温度 T_1 の状態 A から、温度を T_1 に保ちながら、体積をゆっくりと V_2 の状態 B に変化させた (等温変化)。このとき、気体の吸収 (あるいは放出) する熱量を求めよ。

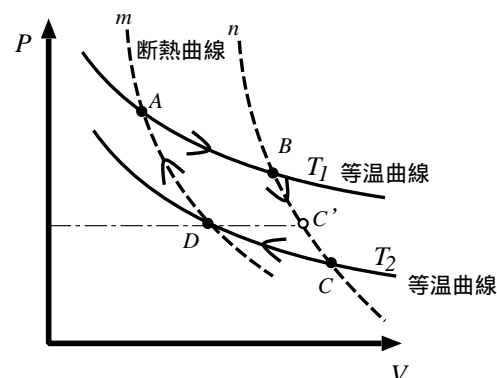
(6) その後、気体の入っている容器を断熱壁で囲み、体積をゆっくりと元の V_1 の状態 C に変化させた (断熱変化)。このときの気体の温度 T^* は T_1 より大きいか小さいかを理由とともに答えよ。



(7) 状態 A を通る断熱曲線 (図の破線) は状態 B を通る断熱曲線と交わることがないことを熱力学の基本法則から一般的に示せ。

(ヒント:もし交わると仮定すると、基本法則と矛盾することを示すことができる。)

(8) この気体を用いて、右図のようなサイクル過程 $ABCD$ を考える。ただし、過程 AB は温度 T_1 の、過程 CD は温度 T_2 の等温過程であり、過程 BC 、過程 DA は断熱過程である。これらの過程は全て準静的に行なうことにする。このサイクル過程で、気体の吸収と放出する熱量の比は T_1, T_2 だけで決まり、断熱曲線 m, n の場所には依存しないことを説明せよ。



(9) 前問のサイクル過程の過程 BC の途中でちょうど状態 D の圧力と一致する状態 (白丸) を C' とする．この状態 C' から温度を調整しながら圧力を一定に保ちながら，ゆっくりと状態 D に至る過程を考える．この過程を用いたサイクル ABC'D の熱効率 η' と元のサイクル過程 ABCD の熱効率 η の大小関係を説明せよ．ただし，熱効率は高温の熱源から吸収した熱量のうち，外にする仕事の割合として定義する．

(10) 関数 $f(T)$ の関数形についてわかることを説明せよ．

2. 以下の問いに答えよ．

(1) 1 モルのファン・デル・ワールス気体の状態方程式は，

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

である．ここで， P は圧力， V は体積， T は温度， R は気体定数であり， a, b は正の定数である．

(i) 示量変数について説明し， P, V, T の中から示量変数を答えよ．

(ii) n モルのファン・デル・ワールス気体の状態方程式を求めよ．

(2) 温度 T_1 の物体を温度 T_2 の熱源に接触させて，熱平衡状態に至った．簡単のために，物体の熱容量は温度に依らず一定であるとしてよい．

(i) この過程で熱源から移動した換算熱 (移動した熱量/熱源の温度) を求めよ．

(ii) この過程での物体のエントロピー変化を求めよ．

(iii) この熱移動は不可逆過程であることを説明せよ．

(3) 内部エネルギー $U(S, V)$ をエントロピー S ，体積 V の関数で表すとする．このとき，温度 T ，圧力 P を用いて，次の熱力学関係式が導かれる．

$$\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V = T, \quad \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S = -P.$$

ただし，考えている系の準静的過程での外からの仕事は $-PdV$ で与えられているとする．

(i) $U(S, V)$ から状態方程式が導けることを示せ．

(ii) $U(S, V)$ から熱容量が導けることを示せ．

(iii) $U(S, V)$ から求まる Maxwell 関係式を求めよ．

(iv) $U(T, V)$ は完全な完全な熱力学関数と呼べないことを説明せよ．

(4) 等温変化で体積が一定のときに，熱力学的变化の方向はヘルムホルツの自由エネルギーが現象する方向 ($dF \leq 0$) であることを説明せよ．

3. 講義および試験に関して，良かった点，悪かった点等の感想を自由に述べよ．また，講義あるいは自習を通じて，物理学・熱力学から学んだことを述べよ．

注意:以下の事項を守らない場合，カンニングとみなされることがある．

*特に出題者からの許可がないかぎり，学生証，時計，および筆記用具以外のものを机の上に置かない．筆入れなども鞆等にしまい，鞆は机の中，脇の椅子または床の上に置く．

*携帯電話等を時計の代わりに使用してはならない．

*教科書，参考書，ノート等は鞆等にしまう．

*解答用紙や計算用紙は所定の枚数以上に取らない．