『熱力学』2006 年問題（冨田，木１）

1. １モルの理想気体が断熱自由膨張し、体積が 2 倍になって新たな熱平衡に達したときの、エントロピー変化量 ΔS を計算せよ。この変化は可逆変化か？非可逆変化か？理由を述べよ。 [20]

2. 太陽と地球の間の距離は、太陽の半径の 200 倍、太陽の表面温度は 5800 [K] である。熱放射だけで地球の平均温度が決まるとして、地球の平均温度はセ氏何度くらいになると予想できるか？ ［ヒント：ここに書かれた量以外は不要である。］ [20]

3. 理想気体に限らず一般の熱力学系で以下のことが言えることを，熱力学の基本原理に照らして，それぞれ 50〜100 字程度で簡潔に説明せよ。 [30]

   (1) P-V 平面上に描かれた準静的断熱過程を表す曲線は閉じたループを描かない。

   (2) 同じく準静的等温過程を表す曲線は閉じたループを描かない。

   (3) 同一の準静サイクルを表す P-V 平面上 および T-S 平面上 の閉じたループのそれぞれが囲む面積は、相等しい。

4. 常磁性体の熱力学では、磁場の強さを H、磁化密度を M として、気体の熱力学における仕事 $-P\mathrm{d}V$ を、$H\mathrm{d}M$ に置き換えて考えればよい。［ここでは、H はエンタルピーではないことに注意。］ [30]

   (i) 磁化密度 M が、$M = f(H/T)$ の形で与えられる場合には、内部エネルギー U は温度 T だけで決まること、すなわち以下の式が成り立つことを示せ。［ヒント：Maxwell 関係式］

   $$\left(\frac{\partial U}{\partial M}\right)_T = 0 \qquad ［ヒント：\quad \mathrm{d}U = T\mathrm{d}S + H\mathrm{d}M, \ \ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T + H\mathrm{d}M \ ］$$

   (ii) 以下の関係式を導け。C_H は H を一定に保つときの比熱である。

   $$\left(\frac{\partial T}{\partial H}\right)_S = -\frac{T}{C_H}\left(\frac{\partial M}{\partial T}\right)_H \qquad ［ヒント：\quad \mathrm{d}S = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_H \mathrm{d}T + \left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_T \mathrm{d}H \ ］$$

   (iii) <u>磁場一定のとき磁化密度は温度が高いほど小さい</u> ことから、(ii) により、(ii) の左辺の量は正となる。この量が正であることを、下線部のように物理的な現象（性質）を表す言葉で表現せよ。

［参考資料］ すべてが必要な情報とは限らない。間違っていても質問しない。

$\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z$ は「$\mathrm{d}z = 0$ としたときの $\mathrm{d}y$ と $\mathrm{d}x$ の比」

$u = ax + by$ のとき $\dfrac{u}{x} = a + b\,\dfrac{y}{x}$, $ax + by = 0$ のとき $\dfrac{y}{x} = -\dfrac{a}{b}$

$(fg)' = f'g + fg'$, $\left(\dfrac{g}{f}\right)' = \dfrac{fg' - f'g}{f^2}$, $\displaystyle\int_a^b \frac{\mathrm{d}x}{x} = \log b - \log a = \log\frac{b}{a}$

半径 a の球の体積 $= 4\pi a^3/3$ ，表面積 $= 4\pi a^2$ ，断面積 $= \pi a^2$

$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V$, $\mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P$, $\mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V$, $\mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$

$A\mathrm{d}x + B\mathrm{d}y$ が全微分である（ある量の微分となる）。$\Longleftrightarrow \left(\dfrac{\partial A}{\partial y}\right)_x = \left(\dfrac{\partial B}{\partial x}\right)_y$

$\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z = 1\Big/\left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z$ etc., $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z\left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x\left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$

$C_V = T\left(\dfrac{\partial S}{\partial T}\right)_V$, $C_P = T\left(\dfrac{\partial S}{\partial T}\right)_P$, $J = \sigma T^4$, $\displaystyle\sum_i \frac{Q_i}{T_i} \le 0$, $\Delta S = -R\sum_i n_i \log x_i$

『熱力学』2006 年問題（冨田，木２）

1. 熱容量が定数でともに C、温度が T_1、T_2 の 2 つの固体が、断熱容器の中で互いに熱的に接触して新たな平衡状態に達したときの、エントロピー変化量 ΔS を計算せよ。この変化は可逆変化か？非可逆変化か？理由を述べよ。 [20]

2. 外気温がセ氏 33 度の日に、エアコンによって室内から 5 キロワットの定率で熱が除去されて、室温がセ氏 27 度に保たれているとき、エアコンで消費される電力の熱力学的下限値を求めよ。 [20]

3. 理想気体に限らず一般の熱力学系で以下のことが言えることを，熱力学の基本原理に照らして，それぞれ 50〜100 字程度で簡潔に説明せよ。 [30]

   (1) P-V 平面上に描かれた準静的断熱過程を表す曲線は閉じたループを描かない。
   (2) 同じく準静的等温過程を表す曲線は閉じたループを描かない。
   (3) 同一の準静サイクルを表す P-V 平面上 および T-S 平面上 の閉じたループのそれぞれが囲む面積は、相等しい。

4. ゴムひもの熱力学では、張力を X、長さを L として、気体の熱力学における仕事 $-P\mathrm{d}V$ を、$X\mathrm{d}L$ に置き換えて考えればよい。 [30]

   (i) 長さ L が、$L = f(X/T)$ の形で与えられる場合には、内部エネルギー U は温度 T だけで決まること、すなわち以下の式が成り立つことを示せ。［ヒント：Maxwell 関係式］
   $$\left(\frac{\partial U}{\partial L}\right)_T = 0 \qquad ［ヒント：\quad \mathrm{d}U = T\mathrm{d}S + X\mathrm{d}L,\ \ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T + X\mathrm{d}L\ ］$$
   (ii) 以下の関係式を導け。C_L は長さを一定に保つときの比熱である。
   $$\left(\frac{\partial T}{\partial L}\right)_S = \frac{T}{C_L}\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)_L \qquad ［ヒント：\quad \mathrm{d}S = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_L \mathrm{d}T + \left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)_T \mathrm{d}L\ ］$$
   (iii) ゴムひもを <u>断熱的に引き延ばせば温度が上がる</u>（実験事実）から左辺は正、したがって (ii) の右辺の偏微分で表された量は正となる。この量が正であることを、下線部のように物理的な現象（性質）を表す言葉で表現せよ。

［参考資料］ すべてが必要な情報とは限らない。間違っていても質問しない。

$\left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z$ は「$\mathrm{d}z = 0$ としたときの $\mathrm{d}y$ と $\mathrm{d}x$ の比」

$u = ax + by$ のとき $\dfrac{u}{x} = a + b\,\dfrac{y}{x}$ ， $ax + by = 0$ のとき $\dfrac{y}{x} = -\dfrac{a}{b}$

$$(fg)' = f'g + fg'\ ,\quad \left(\frac{g}{f}\right)' = \frac{fg' - f'g}{f^2}\ ,\quad \int_a^b \frac{\mathrm{d}x}{x} = \log b - \log a = \log\frac{b}{a}$$

半径 a の球の体積 $= 4\pi a^3/3$ ， 表面積 $= 4\pi a^2$ ， 断面積 $= \pi a^2$

$$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$$

$A\mathrm{d}x + B\mathrm{d}y$ が全微分である（ある量の微分となる）。$\Longleftrightarrow \left(\dfrac{\partial A}{\partial y}\right)_x = \left(\dfrac{\partial B}{\partial x}\right)_y$

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z = 1\Big/\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z \quad \text{etc.,}\quad \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z\left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$$

$$C_V = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V\ ,\quad C_P = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P\ ,\quad J = \sigma T^4\ ,\quad \sum_i \frac{Q_i}{T_i} \le 0\ ,\quad \Delta S = -R\sum_i n_i \log x_i$$

『熱力学』2005年問題（冨田，木１）

1. (1) 断面が円形で周長が 10mm，長さが 1m の，まっすぐに伸ばされた電熱線に電流を流し続けて定常に達したとき，消費電力が 2500W で，導線の温度が 1450K であった。(2) 太陽の表面温度は約 5800K である。太陽と地球の間の距離は，太陽の半径のおよそ 200 倍である。

   以上の事実を用いて，地球上で太陽光に垂直な $1\mathrm{m}^2$ の平面が受け取る太陽エネルギー流は，およそ何ワットになるかを計算せよ。ただし，途中の大気による反射や吸収は考慮しなくてもよいとする。

2. 理想気体に限らず一般の熱力学系で以下のことが言えることを，熱力学の基本原理に照らして，それぞれ 50〜100 字程度で簡潔に説明せよ。
   (1) P-V 平面上に描かれた準静断熱過程を表す曲線は閉じたループを描かない。
   (2) 同じく準静等温過程を表す曲線は閉じたループを描かない。
   (3) 同一の準静サイクルを表す P-V 平面上および T-S 平面上の閉じたループのそれぞれが囲む面積は相等しい。

3. 以下の諸量を，根拠を示して計算せよ。結果だけ書いた解答は全く無効。変化量は増加なら正，減少なら負として，符号に留意せよ。
   (1) １モルの理想気体が，準静的<u>等エンタルピー変化</u>で圧力が半分になったときの，温度の変化量 ΔT とエントロピーの変化量 ΔS
   (2) 気化熱が 1 モルあたり L で，ちょうど沸点温度 T_0 にある気体 1 モルが，全部液化したときのエントロピー変化量 ΔS
   (3) 熱容量がともに定数 C で温度が T_1，T_2 の二つの物体を接触させ，全体を断熱壁で囲んで時間を経たときに達する最終温度 T_f とエントロピー変化量 ΔS

［参考資料］すべてが必要な情報とは限らない。間違っていても質問しない。

$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\quad \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\quad \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\quad \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$

Maxwell 関係式： $X\mathrm{d}x + Y\mathrm{d}y$ が全微分 $\Longleftrightarrow \left(\dfrac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\dfrac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

x, y, z の間に１つの関数関係があるとき， $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z = 1$ etc， $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$

媒介変数公式： $u(\ x,\ y(x,z)\ )$ に対して， $\left(\dfrac{\partial u}{\partial x}\right)_z = \left(\dfrac{\partial u}{\partial x}\right)_y + \left(\dfrac{\partial u}{\partial y}\right)_x \left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z$

ジュール・トムソン係数 $\mu = \left(\dfrac{\partial T}{\partial P}\right)_H$ ， $\Delta S = -R\sum_i n_i \log x_i$ ， $J = \sigma T^4$ ， $j_q = -\tau \nabla T$

$1.45^4 \simeq 4.41$ ，（以下は高学年向け） $(fg)' = f'g + fg'$ ， $\displaystyle\int_a^b \frac{\mathrm{d}x}{x} = \log b - \log a = \log\frac{b}{a}$

『熱力学』2005 年問題（冨田，木２）

1. 理想気体に限らず一般の系で成り立つ以下の等式を導け。ただし，$C_{\rm P}$ は定圧比熱，$C_{\rm V}$ は定積比熱，κ は等温圧縮率，β は熱膨張率である。

$$C_{\rm P} - C_{\rm V} = \frac{TV\beta^2}{\kappa}$$

また，このことから一般に不等式

$$C_{\rm P} > C_{\rm V}$$

が成り立つことを 1 行程度で説明せよ。さらに，気体の場合には，この不等式は具体的にどういう事実に対応するかを，熱や仕事に関連させて簡単に述べよ。

2. 以下の諸量を，根拠を示して計算せよ。結果だけ書いた解答は全く無効。変化量は増加なら正，減少なら負として，符号に留意せよ。

(1) 熱容量がともに定数 C で温度が T_1，T_2 の二つの物体を接触させ，全体を断熱壁で囲んで時間を経たときに達する最終温度 $T_{\rm f}$ とエントロピー変化量 ΔS

(2) 温度 T_1 の室内から温度 T_2 の室外にむかって，エアコンが単位時間あたり Q の熱を定常的に除去しているときの，エアコンの消費電力の下限値 W

(3) １モルの理想気体が，準静的<u>等エンタルピー変化</u>で圧力が半分になったときの，温度の変化量 ΔT とエントロピーの変化量 ΔS

3. 理想気体に限らず一般の熱力学系で以下のことが言えることを，熱力学の基本原理に照らして，それぞれ 50〜100 字程度で簡潔に説明せよ。

(1) P-V 平面上に描かれた準静等温過程を表す曲線は閉じたループを描かない。

(2) 同じく準静断熱過程を表す曲線は閉じたループを描かない。

(3) P-V 平面上に描かれた一本の準静等温曲線と一本の準静断熱曲線が 2 点以上で交わることはない。

［参考資料］すべてが必要な情報とは限らない。間違っていても質問しない。

$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$

Maxwell 関係式： $X\,dx + Y\,dy$ が全微分 $\Longleftrightarrow \left(\dfrac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\dfrac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

x, y, z の間に１つの関数関係があるとき， $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z = 1$ etc , $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$

媒介変数公式： $u(\ x,\ y(x,z)\ )$ に対して， $\left(\dfrac{\partial u}{\partial x}\right)_z = \left(\dfrac{\partial u}{\partial x}\right)_y + \left(\dfrac{\partial u}{\partial y}\right)_x \left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z$

クラウジウスの不等式 $\displaystyle\sum_i \frac{Q_i}{T_i} \le 0,\ \ \Delta S = -R\sum_i n_i \log x_i\ ,\ \ J = \sigma T^4\ ,\ \ j_q = -\tau\nabla T$

（まじめな話で高学年向け） $(fg)' = f'g + fg'\ ,\ \ \displaystyle\int_a^b \frac{\mathrm{d}x}{x} = \log b - \log a = \log\frac{b}{a}$

『熱力学』2004 年問題（冨田，木１）

「サークル勧誘などで黒板を使ったら講義開始までに自分で消しといてほしいよ」という教員の要求が，なんで法人化による管理強化だといって抗議されなければならんのか，とてもじゃないがネ申やイムの心境にはなれませんや！

1. 理想気体に限らず一般の熱力学系で以下のことが言えることを，熱力学の基本原理に照らして，それぞれ各 50〜100 字程度で簡潔に説明せよ。

   (1) P-V 平面上に描かれた準静断熱過程を表す曲線は閉じたループを描かない。

   (2) 同じく準静等温過程を表す曲線は閉じたループを描かない。

   (3) 同一の準静サイクルを表す P-V 平面上および T-S 平面上の閉じたループのそれぞれが囲む面積は相等しい。

2. 以下の疑問に対する答えを各 100 字程度で簡潔に説明せよ。

   (4) 「太陽からやってきた熱放射を利用して，地上で太陽の表面温度以上の状態を実現することは不可能である」というのは，クラウジウスの原理からして正しいように思えるけど？

   (5) 異なる種類の気体が断熱的に混合する過程は，半透膜フィルターと透熱シリンダを用いて混合エントロピーを計算したのと逆の過程をたどれば 元の分離した状態にもどすことが可能 であるにもかかわらず，これを 典型的な非可逆過程の例 にあげるはなんでだろう？

3. 以下の諸量を，根拠を示して計算せよ。結果だけ書いた解答は全く無効。

   (6) １モルの理想気体が，準静的 等エンタルピー変化 で圧力が半分になったときの，温度の変化量 ΔT とエントロピーの変化量 ΔS

   (7) １モルの理想気体が，温度 $2T$ の熱源と温度 T の冷却部の間で働くカルノーサイクルを経て元の状態に戻ったときの，エントロピー変化量 ΔS と熱機関としての熱効率 η

   (8) 熱容量がともに定数 C で温度が T_1，T_2 の二つの物体を接触させ，全体を断熱壁で囲んで時間を経たときに達する最終温度 T_f とエントロピー変化量 ΔS

4. 理想気体に限らない一般の系で成り立つ以下の等式を導け。ただし，C_P は定圧比熱，κ は等温圧縮率，κ_ad は断熱圧縮率，β は熱膨張率である。

   (9) $\left(\dfrac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T^2\left(\dfrac{\partial}{\partial T}\dfrac{P}{T}\right)_V$,　(10) $\kappa - \kappa_\mathrm{ad} = \dfrac{TV\beta^2}{C_\mathrm{P}}$

［参考資料］すべてが必要な情報とは限らない。間違っていても質問しない。

$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$

Maxwell 関係式：　$Xdx + Ydy$ が全微分 $\iff \left(\dfrac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\dfrac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

x, y, z の間に１つの関数関係があるとき，$\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z\left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z = 1$ etc , $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z\left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x\left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$

媒介変数公式：$u(\ x,\ y(x,z)\ )$ に対して，$\left(\dfrac{\partial u}{\partial x}\right)_z = \left(\dfrac{\partial u}{\partial x}\right)_y + \left(\dfrac{\partial u}{\partial y}\right)_x\left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z$

ジュール・トムソン係数 $\mu = \left(\dfrac{\partial T}{\partial P}\right)_H$,　$\Delta S = -R\sum_i n_i \log x_i$,　$J = \sigma T^4$,　$j_q = -\tau\nabla T$

（まじめな話で高学年向け）　$(fg)' = f'g + fg'$,　$\displaystyle\int_a^b \frac{\mathrm{d}x}{x} = \log b - \log a = \log\frac{b}{a}$

『熱力学』2004年問題（冨田，木２）

「サークル勧誘などで黒板を使ったら講義開始までに自分で消しといてほしいよ」という教員の要求が，なんで法人化による管理強化だといって抗議されなければならんのか，とてもじゃないがネ申やイムの心境にはなれませんや！

1. 理想気体に限らない一般の系で成り立つ以下の等式を導け。ただし，C_P は定圧比熱，κ は等温圧縮率，κ_ad は断熱圧縮率，β は熱膨張率である。

$$(1)\quad \kappa-\kappa_\mathrm{ad}=\frac{TV\beta^2}{C_\mathrm{P}}\ ,\qquad (2)\quad \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T^2\left(\frac{\partial}{\partial T}\frac{P}{T}\right)_V$$

2. 以下の諸量を，根拠を示して計算せよ。結果だけ書いた解答は全く無効。
   (3) 熱容量がともに定数 C で温度が T_1，T_2 の二つの物体を接触させ，全体を断熱壁で囲んで時間を経たときに達する最終温度 T_f とエントロピー変化量 ΔS
   (4) １モルの理想気体が，温度 $2T$ の熱源と温度 T の冷却部の間で働くカルノーサイクルを経て元の状態に戻ったときの，エントロピー変化量 ΔS と熱機関としての熱効率 η
   (5) １モルの理想気体が，準静的<u>等エンタルピー変化</u>で圧力が半分になったときの，温度の変化量 ΔT とエントロピーの変化量 ΔS

3. 以下の疑問に対する答えを各 100 字程度で簡潔に説明せよ。
   (6) 異なる種類の気体が断熱的に混合する過程は，半透膜フィルターと透熱シリンダを用いて混合エントロピーを計算したのと逆の過程をたどれば<u>元の分離した状態にもどすことが可能</u>であるにもかかわらず，これを<u>典型的な非可逆過程の例</u>にあげるはなんでだろう？
   (7) 「太陽からやってきた熱放射を利用して，地上で太陽の表面温度以上の状態を実現することは不可能である」というのは，クラウジウスの原理からして正しいように思えるけど？

4. 理想気体に限らず一般の熱力学系で以下のことが言えることを，熱力学の基本原理に照らして，それぞれ各 50〜100 字程度で簡潔に説明せよ。
   (8) 同一の準静サイクルを表す P-V 平面上および T-S 平面上の閉曲線のそれぞれが囲む面積は相等しい。
   (9) P-V 平面上に描かれた準静等温過程を表す曲線は閉じたループを描かない。
   (10) 同じく準静断熱過程を表す曲線は閉じたループを描かない。

［参考資料］すべてが必要な情報とは限らない。間違っていても質問しない。

$\mathrm{d}U=T\mathrm{d}S-P\mathrm{d}V,\ \ \mathrm{d}H=T\mathrm{d}S+V\mathrm{d}P,\ \ \mathrm{d}F=-S\mathrm{d}T-P\mathrm{d}V,\ \ \mathrm{d}G=-S\mathrm{d}T+V\mathrm{d}P$

Maxwell 関係式：　$Xdx+Ydy$ が全微分 $\Longleftrightarrow \left(\frac{\partial X}{\partial y}\right)_x=\left(\frac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

x,y,z の間に１つの関数関係があるとき，$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z=1$ etc ，$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z\left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y=-1$

媒介変数公式：$u(\ x,\ y(x,z)\ )$ に対して，$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_z=\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_y+\left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_x\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z$

ジュール・トムソン係数 $\mu=\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H$ ，$\Delta S=-R\sum_i n_i\log x_i$ ，$J=\sigma T^4$ ，$j_q=-\tau\nabla T$

（まじめな話で高学年向け）　$(fg)'=f'g+fg'$ ，$\int_a^b\frac{\mathrm{d}x}{x}=\log b-\log a=\log\frac{b}{a}$

『熱力学』2003 年度前期（冨田）　木曜日１講時用　WEB 解説あり

1. （まずは全員に得点献上。ただし計算の根拠をきっちり述べること。必要であれば下の［参考資料］を参照してよい。）　円筒状の長い断熱シリンダが鉛直に置かれ，その中に比熱比が一定値 γ である理想気体が入っており，上から，断熱材でできた滑らかに動くピストンでふさがれている。ピストンは大気圧とあわせて重さ Mg で，シリンダの底から高さ H の位置で静止している。シリンダ内に抵抗 R の電熱線が引き込まれており，これに外から一定の電流 J を流したところ，ピストンは一定の速さで上昇した。この速さ V を求めよ。電熱線の体積や熱容量は無視してよい。

2. （これも単純な偏微分公式の応用）　理想気体あるいは気体に限らず，温度を T，体積を V，定圧比熱を C_P，熱膨張率を β，等温圧縮率を κ，断熱圧縮率を $\kappa_{\rm add}$ として，$\kappa-\kappa_{\rm add}=TV\beta^2/C_P$ の関係が成り立つことを示せ。これをもとに，(P,V)-平面における準静断熱曲線と準静等温曲線の傾きの関係を論じよ。

3. （カコ問サービス）　理想気体について，以下のような変化の際の 気体部分のみ のエントロピー変化量 ΔS を求めよ。理解できていることが判断できるよう，必ず導出の根拠を 1〜2 行程度で述べること。モル気体定数を R とし，モル定積比熱 C_V は定数とせよ。

   (1) 1 モルの理想気体が準静的に，体積一定で温度が x 倍になったとき

   (2) 同じく，エンタルピー一定で圧力が $1/x$ 倍になったとき

   (3) 同じく，圧力一定で体積が x 倍になったとき

   (4) 1 モルの理想気体が，温度 $2T$，T の 2 つの熱源の間で働くカルノーサイクルを経て元の状態に戻ったとき

   (5) 体積 $2V$ の断熱的シリンダの真ん中に透熱的な薄い固定仕切りがあり，各側にそれぞれ温度 T，$3T$ の理想気体を 1 モルずつ入れてから，しばらく放置して熱平衡に達したとき

   (6) 同じく仕切りが断熱的な可動ピストンになっており，可逆的に平衡に達したとき

4. （生命保険？）　以下の項目のうち 2 項目について解説せよ。(1) 準静断熱曲線は閉曲線にならない？(2) 理想気体の断熱自由膨張はホントに非可逆？(3) 熱を 100 %仕事に変える装置（仕組み）は不可能？(4) 冷房装置はエントロピーを減らしている？(5) 光子気体の圧力，(6) 混合エントロピーとギブスのパラドックス。

［参考資料］すべてが必要な情報とは限らない。間違っておれば自分で訂正し，質問しない。

$$\mathrm{d}U=T\mathrm{d}S-P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H=T\mathrm{d}S+V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F=-S\mathrm{d}T-P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G=-S\mathrm{d}T+V\mathrm{d}P$$

Maxwell 関係式：$Xdx+Ydy$ が全微分 $\iff \left(\dfrac{\partial X}{\partial y}\right)_x=\left(\dfrac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

x,y,z の間に関数関係があるとき，$\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z\left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x\left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y=-1$，$\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z=\left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z^{-1}$ etc

$u(x,y(x,z))$ を (x,z) の関数として，$\left(\dfrac{\partial u}{\partial x}\right)_z=\left(\dfrac{\partial u}{\partial x}\right)_y+\left(\dfrac{\partial u}{\partial y}\right)_x\left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z$，$\left(\dfrac{\partial u}{\partial z}\right)_x=\left(\dfrac{\partial u}{\partial y}\right)_x\left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x$

$$\int\frac{dx}{x}=\log x$$

『熱力学』2003年度前期（冨田）　木曜日２講時用　WEB解説あり

1. （まずは全員に得点献上。ただし計算の根拠をきっちり述べること。必要であれば下の［参考資料］を参照してよい。）　円筒状の長い断熱シリンダが鉛直に置かれ，その中に比熱比が一定値 γ である理想気体が入っており，上から，断熱材でできた滑らかに動くピストンでふさがれている。ピストンは大気圧とあわせて重さ Mg で，シリンダの底から高さ H の位置で静止している。シリンダ内でピストンから上方 h の位置より同じ重さ Mg の物体を落とし，しばらくして熱平衡に達したときのピストンの高さ（シリンダの底から y）を求めよ。ピストンの厚さや物体の大きさは無視してよい。また，ピストンも物体も合体前後で温度は変わらなかったとせよ。

2. （これも単純な偏微分公式の応用）　理想気体あるいは気体に限らず，温度を T，体積を V，定圧比熱を C_P，定積比熱を C_V，熱膨張率を β，等温圧縮率を κ として，$C_P - C_V = TV\beta^2/\kappa$ の関係が成り立つことを示せ。また，この関係式が役に立つ例をあげ，解説せよ。

3. （カコ問サービス）　1モルの理想気体について，以下の準静的変化の際の気体部分のみのエントロピー変化量 ΔS を求めよ。理解できていることが判断できるように，必ず導出の根拠を1〜2行程度で述べること。モル気体定数は R とし，モル定積比熱 C_{V} は定数とする。

   (1) 温度一定で体積が2倍になったとき

   (2) 体積一定で温度が2倍になったとき

   (3) 断熱的に体積が2倍になったとき

   (4) エンタルピー一定で圧力が2倍になったとき

   (5) 圧力一定で体積が2倍になったとき

   (6) 体積比が $\log 2 : 1$ になる位置に2枚の断熱仕切板を入れ，それぞれの体積は保ったままで左右に分離したとき

4. （生命保険？）　以下の項目のうち2項目について解説せよ。(1) 準静断熱曲線は閉曲線にならない？(2) 理想気体の断熱自由膨張はホントに非可逆？(3) 熱を100％仕事に変える装置（仕組み）は不可能？(4) 冷房装置はエントロピーを減らしている？(5) 扇風機をまわせば部屋の中が涼しくなる？(6) 沸点以下の室内に水蒸気が含まれるわけ。

［参考資料］すべてが必要な情報とは限らない。間違っておれば自分で訂正し，質問しない。

$$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$$

Maxwell関係式：$X dx + Y dy$ が全微分 $\iff \left(\frac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\frac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

x, y, z の間に関数関係があるとき，$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$，$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z^{-1}$ etc

$u(x, y(x,z))$ を (x,z) の関数として，$\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_z = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_y + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_x \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z$，$\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)_x = \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_x \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x$

$$\int \frac{dx}{x} = \log x$$

『熱力学』2002年度前期（冨田）　木曜日１講時用　WEB解説あり

1. 以下の記述は正しいか正しくないか、根拠を簡潔に述べて答えよ。

   (1) エアコン（ルームクーラー）は、自然の摂理（「エントロピー増大則」のことかな？）に逆らって、人為により低温（室内）から高温（室外）へ正の熱を移しているから、全体としてエントロピーを減少させていることになる。

   (2) 太陽熱利用において、太陽光を巨大なレンズや凹面鏡で集めるなど、どのように工夫しても、太陽の表面温度より高温の状態を実現することは不可能なのだ。

2. (1) 1モルの理想気体が温度 T の準静的等温過程を経て、圧力 P が P_1 から P_2 まで変化したとき、気体が外部から受け取った熱を求めよ。

   (2) 理想気体に限らず一般の系が温度 T の準静的等温過程を経て、圧力 P が P_1 から P_2 まで変化したとき、系が外部から受け取った熱 Q は次式で与えられることを導け。

$$Q = -T \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP$$

3. 理想気体に限らず一般の系で両比熱の間に不等式 $C_P > C_V$ が成り立つことは、以下のようにして導かれる：エントロピー S を、(T, V) を独立変数とする立場から (T, P) を独立変数とする立場に移ることにより、

$$\begin{aligned}
\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P &= \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V + \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \quad &&\text{（P 一定のとき、V も T の関数である）} \\
&= \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V + \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \quad &&\text{(マクスウェル関係式より)} \\
&= \quad \text{以下略。}
\end{aligned}$$

   (1) これにならって、等温圧縮率 κ と断熱圧縮率 κ_{ad} の間の関係式 $\kappa - \kappa_{ad} = TV\beta^2/C_P$ を、（等式 $C_P/C_V = \kappa/\kappa_{ad}$ を用いることなく）直接導け。

   (2) $C_P > 0$ より、不等式 $\kappa > \kappa_{ad}$ が成り立つが、この不等式の物理的な内容を、理想気体を題材にして簡単に説明せよ。「圧力一定で温度を上げれば膨張する。同じ温度変化（したがって同じ内部エネルギー変化）に際して、膨張で外にする正の仕事の分だけ余分に熱を要するから、$C_P > C_V$ である」のように。

［参考資料］すべてが必要な情報とは限らない。間違っていても質問しないこと。

$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$

Maxwell 関係式：$X\,dx + Y\,dy$ が全微分 $\Longleftrightarrow \left(\frac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\frac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

x, y, z の間に１つの関数関係があるとき, $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$, $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z^{-1}$ etc

例 $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T = -1$ より、$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \Big/ \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T = \beta/\kappa$ など

$j_{\mathrm{rad}} = \sigma T^4$, $\displaystyle\int \frac{dx}{x} = \log x$

『熱力学』2002 年度前期（冨田）　木曜日２講時用　WEB 解説あり

1. 水について以下の問いに簡潔に答えよ。

   (1) 沸点、臨界点、三重点とは何？

   (2) 圧力が下がれば沸点は上がる？下がる？根拠は？

   (3) 1 気圧のもとでの沸点は、およそセ氏 100 度である。これに比べて十分低い温度の閉じた部屋の空気中に、水蒸気が存分に含まれるのはなぜ？

   (4) (3) を参考にして、昇華の例を挙げよ。ちなみに、水の 3 重点の温度は 273.16 K である。

2. (1) 1 モルの理想気体が温度 T の準静的等温過程を経て、体積 V が V_1 から V_2 まで変化したとき、気体が外部から受け取った熱を求めよ。

   (2) 理想気体に限らず一般の系が温度 T の準静的等温過程を経て、体積 V が V_1 から V_2 まで変化したとき、系が外部から受け取った熱 Q は次式で与えられることを導け。

$$Q = T\int_{V_1}^{V_2}\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dV$$

3. 光子気体（空洞放射）では、(i)（内部）エネルギー密度 $u = U/V$ は温度 T だけで決まり、(ii) 圧力は $P = u/3$ で与えられることがわかっているとして、以下の問いに答えよ。

   (1) エネルギー密度 u が T^4 に比例することを導け。

   (2) これより熱放射に関するシュテファン-ボルツマンの法則を導け。（係数は決めなくてもよい。）

   (3) (1) の比例定数を α、すなわちエネルギー密度を $u = \alpha T^4$ と書くとき、エントロピー密度 $s = S/V$ は $s = 4\alpha T^3/3$ で与えられることを示せ。

［参考資料］すべてが必要な情報とは限らない。間違っていても質問しないこと。

$$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$$

Maxwell 関係式：$X\,dx + Y\,dy$ が全微分 $\iff \left(\frac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\frac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

x, y, z の間に 1 つの関数関係があるとき, $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z\left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$, $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z^{-1}$ etc

例　$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T = -1$　より、$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \Big/ \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$ など

$j_{\mathrm{rad}} = \sigma T^4$,　$\mathbf{j}_{\mathrm{q}} = -\tau\nabla T$,　$\int \frac{dx}{x} = \log x$

$\frac{a}{x}dx + \frac{b}{y}dy = 0$　のとき　$a\log x + b\log y = \mathrm{constant},$　したがって　$x^a y^b = \mathrm{constant}$

『熱力学』2001 年度後期（冨田：月２，火２）　　WEB 解説あり

1. 理想気体に限らず一般の系で，

   (1) P-V 平面上に描かれた１本の準静断熱曲線は自ら交わらない（閉じたループを描かない）

   (2) 同じく１本の準静等温曲線（温度 T）は自ら交わらない（同上）

   ことを，熱力学の基本原理に照らして説明せよ。[各 100 字程度：例「もし交わるとしたら，このループを....... によって...... が実現され，....... に反することになる。」]

2. 理想気体について，以下のような変化の際のエントロピー変化量 ΔS を求めよ。理解できていることが判断できるよう，必ず導出の根拠を 1～2 行程度で述べること。モル気体定数を R とし，簡単のためモル定積比熱 C_{V} は温度によらない定数，したがって比熱比も定数であるとせよ。[計算そのものは非常に簡単で，場合によっては計算不要かもしれない。]

   (1) 1 モルの理想気体が準静的に，体積一定で温度が x 倍になったとき

   (2) 同じく，エンタルピー一定で圧力が $1/x$ 倍になったとき

   (3) 同じく，圧力一定で体積が x 倍になったとき

   (4) 1 モルの理想気体が，温度 $2T$，T の 2 つの熱源の間で働くカルノーサイクルを経て元の状態に戻ったとき

   (5) 体積 $2V$ の断熱的シリンダの真ん中に透熱的な薄い固定仕切りがあり，各側にそれぞれ温度 T，$3T$ の理想気体を 1 モルずつ入れてから，しばらく放置して熱平衡に達したとき

   (6) 同じく仕切りが断熱的な可動ピストンになっており，準静的に平衡に達したとき

3. 熱伝導度が τ の金属でできた，断面が半径 a の円形の長い真っ直ぐな導線の軸方向に定常電流が流れ，導線内部で一様に単位体積・単位時間あたり q のジュール熱が発生している。導線の表面温度が $T(a)$ となり定常に達しているとき，

   (1) 導線の中心軸上の点における温度 $T(0)$ を求めよ。[電荷が一様に分布しているときの静電場と静電ポテンシャルを求める問題をヒントにせよ。]

   (2) また，導線が真空中（熱伝導なし）に置かれているとき，電源から導線に供給され続けている電気的エネルギーが，どのようなエネルギーに変わることによって収支が釣り合い，定常状態が成り立っていると考えられるか？表面温度 $T(a)$ と q, a の関係を論じよ。

[参考資料] すべてが必要な情報とは限らない。間違っていても質問しないこと。

$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$

Maxwell 関係式：$X\,dx + Y\,dy$ が全微分 $\Longleftrightarrow \left(\dfrac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\dfrac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

x, y, z の間に 1 つの関数関係があるとき，$\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1\ ,\ \left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z^{-1}$ etc

これより $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z = -\left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)_x \Big/ \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -\left(\dfrac{\partial x}{\partial z}\right)_y \Big/ \left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x$ など

$j_{\mathrm{rad}} = \sigma T^4\ ,\quad \mathbf{j}_{\mathrm{q}} = -\tau\nabla T\ ,\quad \displaystyle\int \frac{dx}{x} = \log x$

『熱力学』2001 年度前期（冨田：火２）　　WEB 解説あり

1. 1 モルの理想気体について、以下の 準静的変化 の際のエントロピー変化量 ΔS を求めよ。理解できていることが判断できるように、必ず導出の根拠を 1〜2 行程度で述べること。モル気体定数は R とし、モル定積比熱 $C_{\rm V}$ は温度によらない定数とする。いずれもこれらの量だけで解答可能である。

   (1) 温度一定で体積が 2 倍になったとき

   (2) 体積一定で温度が 2 倍になったとき

   (3) 断熱的に体積が 2 倍になったとき

   (4) エンタルピー一定で圧力が 2 倍になったとき

   (5) 圧力一定で体積が 2 倍になったとき

2. 定積比熱 $C_{\rm V}$ と定圧比熱 $C_{\rm P}$ が異なるように、一般に比熱は系の温度を上げる際にどのような条件で行うかによって異なる。

   (1) 理想気体を $PV^{\alpha} =$ 一定 (α は正の定数) の条件のもとで変化させるときの比熱を、$C_{\rm V}$ と $C_{\rm P}$ と α を用いて表せ。

   (2) 理想気体に限らず、一般に不等式「$C_{\rm V} < C_{\rm P}$」が成り立つことを示せ。（等温圧縮率 κ が正であることを仮定してよい。この問題が手におえない人は、代わりに「$\kappa > 0$」を導いてもよい。）

3. 地球をとりまく大気を、1 モルあたりの質量が M の理想気体と考えて、以下の質問に答えよ。重力加速度を g、モル気体定数を R とせよ。

   (1) 大気は静止しており、上空まで温度が一定で T のとき、大気のモル密度（単位体積あたりのモル数）を、地表からの高さ z の関数 $f(z)$ としてその表式を導け。ただし、地表での圧力を P_0 とする。なお、大気の層は地球の半径に比べてそんなに厚くはないので球面であることを気にする必要はない。［ヒント：まず、モル密度 f と圧力の関係を求める。次に、高さ z と $z + dz$ の間の大気層に働く重力と層の上下での圧力差の間の力学的つりあい条件を書く。］

   (2) 実際の大気では、上空ほど太陽に近いにもかかわらず平均的に温度が低くなっているのはなぜか？その仕組みを考えて簡潔に説明せよ。［放射冷却、対流、熱伝導、断熱膨張、自由膨張、ジュールの法則、クラウジウスの不等式、シュテファン-ボルツマンの法則、連続の式、相転移、クラウジウス-クラペイロンの関係　←ほとんどはガセネタです。こんなもの書いてくれない方がいい？］

［参考資料］すべてが必要な情報とは限らない。間違っていても質問しないこと。

$$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$$

Maxwell 関係式：$X\,dx + Y\,dy$ が全微分 $\Longleftrightarrow \left(\dfrac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\dfrac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

x, y, z の間に 1 つの関数関係があるとき, $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$, $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z^{-1}$ etc

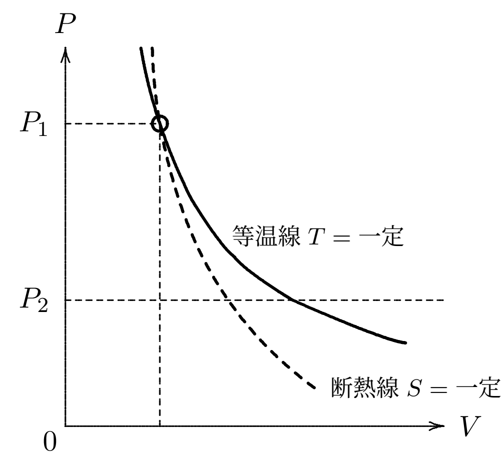
これより　$\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z = -\left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)_x \Big/ \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -\left(\dfrac{\partial x}{\partial z}\right)_y \Big/ \left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x$　など

$$\sum_i \frac{Q_i}{T_i} \le 0\ , \qquad j_{\rm rad} = \sigma T^4\ , \qquad \mathbf{j}_{\rm q} = -\tau \nabla T\ , \qquad (\log x)' = \frac{1}{x}\ , \qquad \int \frac{dx}{x} = \log x$$

『熱力学』2000 年度（冨田：後期月２・木２）　　WEB 解説あり

1. ジュール-トムソンの実験において，1 モルの 理想気体 が，温度 T_1，圧力 P_1 に保たれている左室から，圧力 P_2 $(P_2 < P_1)$ に保たれている右室に，きわめてゆっくりと 断熱的に 噴出したとする。

   (1) 右のような P-V 図を解答用紙に描き，右室に噴出した後の 1 モルの気体の状態を表す位置を，まず根拠を述べた上で，図中に△印で示せ。○で示された初期状態や等温線（実線），断熱線（破線）との相対位置関係（左か右か上か下か等）が示されておればよい。[20]



   (2) この変化において，1 モルの気体になされた仕事を求めよ。また，これを (1) の図中に示せ。ただし，図示が不可能（解答者にとって不能という意味ではなく，原理的に不可能という意味）な場合は，その理由を述べ，無理に図示する必要はない。[20]

   (3) 同様にエントロピー変化量 ΔS を計算せよ。必要ならば，モル気体定数を R とせよ。[20]

   ヒント：$\Delta S = 0$ なら可逆変化になってしまいますょ。ワナにかからないように！

2. 室外の気温が T_1 のとき，ヒートポンプ型の暖房機が働いて室内温度が T_2 $(T_2 > T_1)$ に保たれている。暖房機の消費電力 W と室内に単位時間当たりに供給されている熱量 Q の間に成り立つ関係（特に Q の上限と下限）を論じよ。暖房機は，低温の室外から正の熱を受け取る 一般的なサイクル であって，決して可逆サイクルではない。[20]

3. (1) 断面が円形で，その周長が 10mm，長さが 1m のまっすぐな電熱線に 100V の電源をつなぎ電流を流し続けて定常に達したとき，電流は 25A，電熱線の表面温度が 1450K であった。
   (2) 太陽の表面温度はおよそ 5800K，太陽-地球間の距離は太陽半径のおよそ 200 倍である。

   この 2 つの事実から，地表で太陽光に垂直に置かれた面積 $1\mathrm{m}^2$ の太陽電池が受け取る放射エネルギーは何ワットくらいになるかを計算せよ。結果の数値だけ書いたものは解答として無効である。[20]

［参考資料］すべてが必要な情報とは限らない。間違っていても質問しないこと。

$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$

Maxwell 関係式：$X\,dx + Y\,dy$ が全微分 $\iff \left(\dfrac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\dfrac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

x, y, z の間に 1 つの関数関係があるとき，$\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$, $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z^{-1}$ etc

これより $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z = -\left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)_x \Big/ \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -\left(\dfrac{\partial x}{\partial z}\right)_y \Big/ \left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x$ など

$\displaystyle\sum_i \frac{Q_i}{T_i} \le 0$, $j_{\mathrm{rad}} = \sigma T^4$, $\mathbf{j}_{\mathrm{q}} = -\tau \nabla T$, $(\log x)' = \dfrac{1}{x}$, $\displaystyle\int \frac{dx}{x} = \log x$, $5800 = 4 \times 1450$

『熱力学』2000 年問題（冨田：前期　月２）　　　　WEB 解説あり

※以下の４題について，解答用紙１枚の裏表の範囲内で要領よくまとめて答えよ。

1. 「一つの熱源から得られた（正の）熱を用いて熱源の温度より高い温度の状態を得ることは，不可能である」（『某氏の原理』？）について論じよ。（100〜200 字程度）

2. 温度が T_1，T_2 の二つの物体を接触させたとき

   (i) 最終温度はいくらになるか？

   (ii) 最終状態では最初の状態に比べてエントロピーはどれだけ増えているか？

   題意の本質を損なわない範囲で議論を簡単にするための適当な条件を設定し，(i)(ii) それぞれ導出の根拠を明解に論じて求めよ。小学生みたいな平均値の計算式などを書いただけでは不可。

3. 温度 T，圧力 P の理想気体の

   熱膨張率 β，等温圧縮率 κ，断熱圧縮率 κ_{ad}，ジュール-トムソン係数 μ

   を求めよ。ただしモル気体定数を R とし，比熱比 C_P/C_V は定数 γ であるとしてよい。

4. 流動性のない，熱伝導度 η（定数）の物質でできた半径 R の球体がある。球の内部の至る所で単位時間・単位体積あたり q のわりあいで一様な熱（正確には内部エネルギー）が生成されており，表面から熱放射することにより定常状態に達しているとする。定常状態における球全体（あるいは各部）のエネルギー収支を考察するとことにより，

   (1) 球体の表面温度 T を決定する式を求めよ。

   (2) 球の中心における温度 T_0 は，表面温度 T に比べてどれだけ高い（または低い）か？

［参考資料］すべてが必要な情報とは限らない。

$$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$$

Maxwell 関係式：$X\,dx + Y\,dy$ が全微分 $\Longleftrightarrow \left(\dfrac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\dfrac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

x, y, z の間に１つの関数関係があるとき，$\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$ ，$\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z^{-1}$ etc

これより $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z = -\left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)_x \Bigg/ \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y$ など

$\mu = \left(\dfrac{\partial T}{\partial P}\right)_H$ ，$\Delta S = -R\sum_i n_i \log x_i$ ，$J = \sigma T^4$ ，熱流 $j_q \propto -$[温度勾配]（比例定数が熱伝導度 η）

熱力学（冨田：月３）１９９９年度試験問題

※以下のうち３題について，解答用紙１枚の裏表の範囲内で要領よくまとめて答えよ。

1. それぞれの文章が正しければその根拠を，正しくなければ反例などをあげてその理由を，それぞれを 100 字程度以内で解説せよ。

   (1) 温度の異なる二つの物体を接触させ，全体を断熱壁で囲んで放置した場合には，熱は保存される。

   (2) 太陽熱利用では，どのように工夫しても，太陽の表面温度以上の高温の状態を作り出すことは不可能である。

   (3) ルームクーラーは低温（室内）から高温（室外）へ正の熱を移動させているから，全体としてエントロピーを減少させている。

   (4) 大きさが一定の断熱容器の中で仕切により別々に分けられていた２種類の気体を，仕切をとることにより混ぜ合わせた。この過程は外部から熱の出入りがないから等エントロピー変化である。

2. ボイルの法則のように状態方程式が「体積 = (圧力/絶対温度) の関数」の形で表される系では，その内部エネルギーは体積には依存しないことを示せ。

3. それぞれ温度が T_1, T_2，熱容量が定数で C_1, C_2 の水を混合した。外部との間に熱のやりとりがなければ，最終温度はいくらになるか？また，エントロピー変化量はどれだけか？それぞれ <u>計算の根拠を述べて</u> 求めよ。

4. 断面の周長が 10mm，長さ 1m の電熱線を，ほぼまっすぐに伸ばして電流を流し，定常に達したとき，消費電力が 2.5kW で温度がおよそ 1450K になった。（これでシュテファン-ボルツマン係数がわかるが，まだあわてて計算しない方がいいよ。）太陽の表面有効温度をおよそ 5800K，太陽－地球間の平均距離は太陽半径のおよそ 200 倍として，地球表面で太陽光に垂直な面に供給される太陽エネルギー流（$\mathrm{W/m^2}$）がおよそどれくらいであるかを計算せよ。有効数字２桁でよい。［電卓を使わなくても手で簡単に筆算できる数値にしてあります。］

［参考資料］これについては質問しないこと。すべてが必要な情報とは限らない。

$$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$$

Maxwell 関係式：$X\,dx + Y\,dy$ が全微分 $\iff \left(\dfrac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\dfrac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

$$\kappa = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T,\ \kappa_S = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_S,\ \alpha = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

x, y, z の間に１つの関数関係があるとき，$\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$, $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z^{-1}$ etc

混合エントロピー$\Delta S = -R\sum_i n_i \log x_i$　　熱放射の圧力 $P = \dfrac{U}{3V}$

物理学基礎通論２（冨田）１９９８年度試験問題

※以下の設問のうち３題について，解答用紙１枚の裏表の範囲内で要領よくまとめて答えよ。

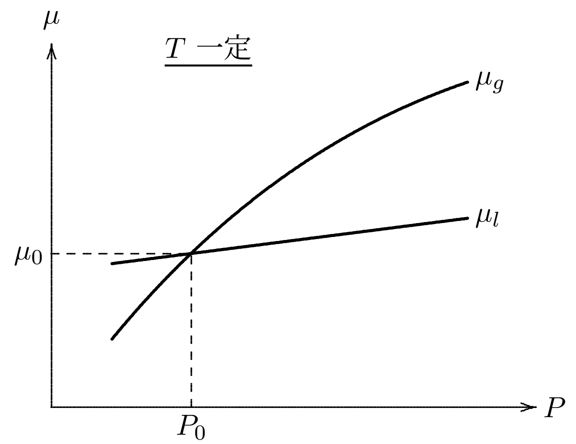
1. 通常の気圧のもとで水の沸点（＝液相と気相の共存温度）以下の気温であっても，水は蒸発し空気中には水蒸気が含まれている。水が十分に存在する場合に，与えられた温度 T，圧力 P のもとで平衡状態において空気中に含まれ得る最大の水蒸気のモル組成比（＝飽和水蒸気量）を与える表式を，適当な近似のもとに求めよ。［宿題にしてあった分です。］

（参考）図は，純粋な 水の液相，気相における (モルあたりの) 化学ポテンシャル μ_l および μ_g を表し，それぞれ温度 T 一定のもとで

$$\mu_l(T,P) = \mu_0 + v_0(P - P_0) \quad (v_0 = \text{定数})$$

$$\mu_g(T,P) = \mu_0 + RT\log(P/P_0)$$

と近似できる。



2. 一般に固体や液体の定積比熱 C_V は，定圧比熱 C_P に比べて測定しにくい量であるが，そのわけをひとこと説明した上で，等式 $C_P - C_V = TV\alpha^2/\kappa$ を導け。α は熱膨張率，κ は 等温 圧縮率。

3. 断面の周長が 10mm，長さ 1m の電熱線を，ほぼまっすぐに伸ばして電流を流し，定常に達したとき，消費電力が 2.5kW で温度がおよそ 1450K になった。太陽の表面有効温度をおよそ 5800K，太陽ー地球間の平均距離は太陽半径のおよそ 200 倍として，地球表面の $1\mathrm{m}^2$ あたりに供給される太陽エネルギー流がおよそどれくらいであるかを計算せよ。有効数字２桁でよい。［電卓を使わなくても筆算で簡単にできる数値にしてあります。］

4. ルームクーラーは，単にエネルギーを移動するだけの装置であるにもかかわらずエネルギーを消費するという意味では，贅沢な装置である。この（技術的ではなく）熱力学的なわけを 100 字程度 (※) で説明し，連続運転するために必要とする最小限の電力を，単位時間に室内から除去する熱量 Q，室内温度 T_1，室外温度 T_2 を用いて表せ。※「熱力学第二法則により」では，10 字にしかならない。

以下は参考資料

$$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$$

Maxwell 関係式：$X\,dx + Y\,dy$ が全微分 $\iff \left(\dfrac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\dfrac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

$$\kappa = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T,\ \kappa_S = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_S,\ \alpha = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

x, y, z の間に１つの関数関係があるとき，$\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z\left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x\left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$，$\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z^{-1}$ etc

混合エントロピー $\Delta S = -R\sum_i n_i \log x_i$，　　熱放射の圧力 $P = \dfrac{U}{3V}$

物 理 学 基 礎 通 論 ２（冨田）１９９７年度試験問題

※以下の設問について解答用紙１枚の裏表の範囲内で要領よくまとめて答えよ。

1. 理想気体の断熱自由膨張は非可逆変化であることを示せ。[理屈抜きで単にエントロピーの計算をしただけの解答は全く無効。]

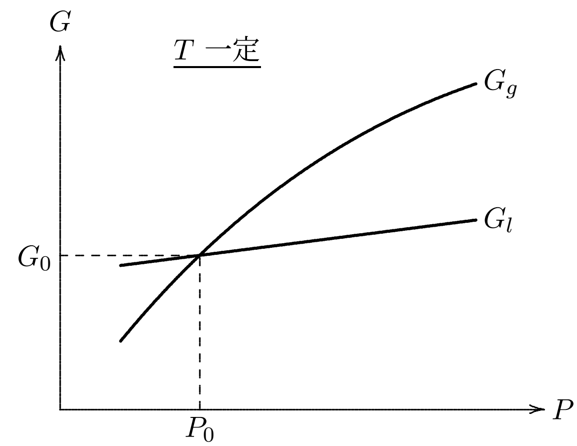
2. 与えられた系の定積比熱 C_V と定圧比熱 C_P の間には，一般に $C_V < C_P$ の関係があることを示せ。[理想気体に限らないので,「$C_V = 3R/2, C_P = 5R/2$ あるいは $C_P(T) = C_V(T) + R$ より $C_V < C_P$」は解答にならない。なお，必要ならば比熱や圧縮率は正の量であることを使ってもよい。]

3. 通常の気圧のもとで水の沸点（液体と気体の共存温度）以下の温度であっても，水は蒸発し空気中には水蒸気が含まれ得る。与えられた温度 T，圧力 P のもとで，水が十分存在する場合に平衡状態において空気中に含まれ得る水蒸気のモル組成比（飽和水蒸気量）を与える表式を，適当な近似のもとに求めよ。図は，純粋な水の液相，気相における１モルあたりのギブス自由エネルギー（化学ポテンシャル），G_l および G_g を表し，それぞれ温度 T 一定のもとで

$$G_l(T,P) = G_0 + v_0(P - P_0) \quad (v_0 = 一定)$$

$$G_g(T,P) = G_0 + RT\log(P/P_0)$$

と近似されるものとする。
[理屈抜きで作図法だけ示したものは解答として全く無効]



３題とも［...］を単なる嫌みとしてしか理解できない人は救いようがないです。嫌がらせではなく，それぞれ大きなヒントになっています。以下は単なる参考資料ですから，気に入らなければ使う必要はないので，説明不足であっても，たとえ間違っていても質問しないように。

$$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$$

Maxwell 関係式：$dL = Xdx + Ydy$ が全微分 $\iff \left(\frac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\frac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

$$\kappa_T = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T,\ \kappa_S = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_S,\ \beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P,\quad \Delta S = -R\sum_i n_i \log x_i$$

x, y, z の間に１つの関数関係があるとき, $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$, $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z^{-1}$ etc

物理学基礎通論２（冨田）１９９６年度試験問題

※以下の設問について解答用紙１枚の裏表の範囲内で要領よくまとめて解答せよ.

1. 以下の各々の表現は正しいか正しくないか，必要ならば実例または反例をあげるなど，必ず論拠を示して論じよ。

   (1) 全体としては断熱壁で囲まれた２つの系の間で熱のやりとりが行われるとき，系内の熱の総量は保存される。

   (2) １つの熱源から得られた正の熱を全部仕事に変えることは不可能である。

   (3) 有限温度の熱平衡状態のいくらでも近くに，その状態から断熱可逆変化では到達できない状態が必ず存在する。

   (4) エントロピーが増大する変化は不可逆である。

   (5) 太陽からの熱放射を利用する際に，外部から別に正のエネルギーを持ち込まない限り，いかに工夫しても太陽の表面温度より高い温度は得られない。

2. ルームクーラーは通常の熱機関とは逆の働きをするが，もちろん熱力学の諸法則が適用される。
   室外温度が 36 ℃のときに，電動型クーラーを連続運転して室内から 1 時間に 3600kcal の割合で熱を除去し室温を 27 ℃に保つには，熱力学の原理によれば最低どれだけの電力が必要か？ 仕事率（ワット）で示せ。ただし，1kcal=4160J，0 ℃=273K として計算せよ。（注：実際に使われているクーラーでは，ここで得られる値の 10 倍以上の電力を消費します。なお，念のために断っておきますが，この問題は決して「3600kcal/時 を W(ワット）に換算せよ。」という内容ではありません。）

3. 定積比熱 C_V，定圧比熱 C_P，等温圧縮率 K_T，断熱圧縮率 K_S について以下の問いに答えよ。

   (1) 等式 $C_P/C_V = K_T/K_S$ を導け。

   (2) 同じ温度に保たれ体積だけをやりとりできる２つの等温系の熱平衡の安定条件から，$K_T > 0$ を示せ。

   (3) 等式 $C_P - C_V = VT\beta^2/K_T$ （ β は熱膨張率）を導くことにより，一般に不等式 $C_P > C_V$ が成り立つことを示せ。

$$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$$

Maxwell 関係式：$dL = Xdx + Ydy$ が全微分 $\iff \left(\dfrac{\partial X}{\partial y}\right)_x = \left(\dfrac{\partial Y}{\partial x}\right)_y$

$$K_T = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T,\ K_S = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_S,\ \beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P,\ \sum_i \frac{q_i}{T_i} \le 0$$

x, y, z の間に１つの関数関係があるとき, $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\dfrac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$, $\left(\dfrac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \left(\dfrac{\partial y}{\partial x}\right)_z^{-1}$ etc

物理学基礎通論２（冨田）１９９４年度試験問題

・解答用紙１枚の裏表の範囲内で要領よくまとめて解答せよ．
・解答用紙に、履修登録してある受講時（３ または ４）を必ず記入しておくこと．
・熱力学関数：$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$
$\mathrm{d}S = (1/T)\mathrm{d}U + (P/T)\mathrm{d}V$

1. 理想気体に限らず，定積比熱 C_V と定圧比熱 C_P は，不等式 $C_\mathrm{P} > C_\mathrm{V}$ をみたす。このことを示すため，以下の問に答えよ。

1) 熱膨張率を $\beta = (1/V)(\partial V/\partial T)_P$ ，等温圧縮率を $\kappa_T = -(1/V)(\partial V/\partial P)_T$ として

$$C_\mathrm{P} - C_\mathrm{V} = VT\beta^2/\kappa_T \tag{A}$$

が成り立つことを導け。

2) $\kappa_T > 0$ であることを示せ。[等温で体積だけやりとりが行われる２つの系の平衡状態の安定条件を考えよ。]

3) 理想気体の場合，(A) 式の右辺は気体定数に等しいことを示せ。

2. １モルの理想気体（定積比熱が定数で C_V）を作業物質とし，$P-V$ 平面で図（省略）のような閉曲線で表される準静的サイクル

ア．A → B：温度 T_1 で体積２倍まで準静等温膨張

イ．B → C：定積冷却

ウ．C → D：温度 T_2 で体積半分まで準静等温圧縮

エ．D → A：定積加熱

について以下の問いに答えよ。

1) 各段階で出入りする熱を求めよ。

2) サイクル１周でする仕事を求めよ。

3) 過程イで放出した熱をそのまま過程エで気体に戻せるような構造に設計されているとき，サイクルの熱効率を求めよ。

物理学基礎通論２［後期］（冨田）１９９３年度試験問題

・２題について解答用紙１枚の裏表の範囲内で要領よくまとめて解答せよ．
・解答用紙に，履修登録してある講時（3 または 4）を必ず記入すること．
・熱力学関数：$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$
$\mathrm{d}S = (1/T)\mathrm{d}U + (P/T)\mathrm{d}V$
・マクスウェル関係式：$\mathrm{d}L = X\mathrm{d}x + Y\mathrm{d}y \ \rightarrow (\partial X/\partial y)_x = (\partial Y/\partial x)_y$

1 は必須，2,3,4 より１題選択し，２題について解答すること。

1. 理想気体について以下の問に答えよ。ただし，理想気体はボイルの法則「$PV = RT$」だけを要件とし，「$E = 3RT/2$」および「$C_{\mathrm{V}} = 3R/2$」は用いてはならない。R は気体定数である。

   1) 内部エネルギー U は体積 V にはよらない，すなわち，$(\partial U/\partial V)_T = 0$ であることを導け。
   2) 状態 (T, V) から状態 (T, V') まで準静等温膨張するときに気体が外部に対してする仕事を求めよ。
   3) 定積比熱 C_{V}，定圧比熱 C_{P} は，ともに温度 T だけの関数であることを示せ。また，この場合においても，$C_{\mathrm{P}}(T) - C_{\mathrm{V}}(T) = R$ は成り立つことを示せ。
   （このことから，比熱比 $\gamma(T) = C_{\mathrm{P}}(T)/C_{\mathrm{V}}(T)$ は必ずしも定数ではないことに注意せよ。）
   4) 状態 (T, V) から状態 (T', V') まで準静断熱変化をするとき，比 V'/V は圧力 P にはよらず，温度 T, T' だけで決まることを示せ。（ヒント：$T\mathrm{d}S = 0$ の式を，独立変数 T, V で表現せよ。）
   5) 「状態１→ (準静等温膨張) →状態２→ (準静断熱膨張) →状態３→ (準静等温圧縮) →状態４→ (準静断熱圧縮) →状態１」で元の状態へ戻るカルノーサイクルでは，等温変化の過程で高温の熱源から受け取る熱 Q と低温の熱源へわたす熱 Q' の比は，各熱源の温度 T, T' の比に等しいことを導け。
   6) このカルノーサイクルを表す閉曲線を，P-V 平面，および T-S 平面に概略図で示し，両閉曲線の囲む面積の間の大小関係を根拠を示して論じよ。（変数 V,S をそれぞれ横軸にとること。）

2. ヒートポンプ型のヒーターについて，室外温度が T_2，室内温度が $T_1(> T_2)$ のときの熱効率（＝室内に供給された熱／消費した電気エネルギー）の上限を熱力学の原理から求めよ。

3. 熱容量がともに定数 C で，温度がそれぞれ T_1，T_2 の２つの物体を断熱容器の中で接触させ十分長い時間放置すると，どうなるか？熱力学のなんとか法則となんとか法則を用いて正確に説明せよ。また，この過程が不可逆であることをエントロピー変化を計算して説明せよ。

4. 固体の定積比熱 C_{V} は定圧比熱 C_{P} と比較して一般に直接測定が困難である。なぜか？どうすれば得ることができるか？　［ヒント：熱膨張率 $\beta = (1/V)(\partial V/\partial T)_P$ ，等温圧縮率 $\kappa_T = -(1/V)(\partial V/\partial P)_T$］

物 理 学 基 礎 通 論 ２ [前期]（冨田）１９９３年度試験問題

・２題を選び，解答用紙１枚の裏表の範囲内で要領よくまとめて解答せよ．
・解答用紙に、履修登録してある受講時（12 または 34）を必ず記入しておくこと．
・熱力学関数：$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$
$\mathrm{d}S = (1/T)\mathrm{d}U + (P/T)\mathrm{d}V$

1. 理想気体について以下の問に答えよ。ただし，ここでは熱力学だけを前提とし，理想気体はボイルの法則（$PV = RT$）だけを要件とする。「定積比熱 $C_\mathrm{V} = 3R/2$」は用いてはならない。R は気体定数である。

   1) 内部エネルギー U は体積 V にはよらない，すなわち，$(\partial U/\partial V)_T = 0$ であることを導け。
   2) 状態 (T, V) から状態 (T, V') まで準静等温膨張するときに気体が外部に対してする仕事を求めよ。
   3) 定積比熱 C_V，定圧比熱 C_P は，ともに温度 T だけの関数であることを示せ。また，この場合においても，$C_\mathrm{P}(T) - C_\mathrm{V}(T) = R$ は成り立つことを示せ。
   （このことから，以下では比熱比 $\gamma(T) = C_\mathrm{P}(T)/C_\mathrm{V}(T)$ は，必ずしも定数ではないことに注意せよ。）
   4) 状態 (T, V) から状態 (T', V') まで準静断熱変化をするとき，比 V'/V は圧力 P にはよらず，温度 T, T' だけで決まることを示せ。（ヒント：$T\mathrm{d}S = 0$ の式を，独立変数 T, V で表現せよ。）
   5) 「状態１→ (準静等温膨張) →状態２→ (準静断熱膨張) →状態３→ (準静等温圧縮) →状態４→ (準静断熱圧縮) →状態１」で元の状態へ戻るカルノーサイクルでは，等温変化の過程で高温の熱源から受け取る熱 Q と低温の熱源へわたす熱 Q' の比は，各熱源の温度 T, T' の比に等しいことを導け。
   6) このカルノーサイクルを表す閉曲線を，P-V 平面，および T-S 平面に概略図で示し，両閉曲線の囲む面積の間の大小関係を根拠を示して論じよ。（変数 V,S をそれぞれ横軸にとること。）

2. 理想気体に限らず，定積比熱 C_V と定圧比熱 C_P は，不等式 $C_\mathrm{P} > C_\mathrm{V}$ をみたす。以下の問に答えよ。

   1) 熱膨張率を $\beta = (1/V)(\partial V/\partial T)_P$ ，等温圧縮率を $\kappa_T = -(1/V)(\partial V/\partial P)_T$ として
   $$C_\mathrm{P} - C_\mathrm{V} = VT\beta^2/\kappa_T \tag{A}$$
   が成り立つことを導け。
   2) $\kappa_T > 0$ であることを，熱平衡状態の安定性から簡潔に論じよ。
   3) 理想気体の場合，(A) 式の右辺は気体定数に等しいことを示せ。

3. ルームクーラーは熱機関とは逆の働きをするが，もちろん熱力学の法則が適用できる。以下の問に答えよ。

   1) ルームクーラーは，単にエネルギーを室内から室外に移すだけであるにもかかわらず，運転するには機械部の摩擦による消費以外に一定量の正の仕事が必要である。その理由を簡単に説明せよ。
   2) 室外の気温が T_2 のときに，クーラーを運転して室内から単位時間に Q の割合で熱を除去し，室温を T_1（ただし，$T_1 < T_2$）に保つには，熱力学の原理によれば最低どれだけの仕事率（電力）が必要か？

物 理 学 ４（冨田）１９９２年度前期試験問題

以下の３題について解答用紙１枚の裏表の範囲内で要領よくまとめて解答を作成せよ.
解答用紙に、履修登録してある受講時を必ず記入しておくこと.
熱力学関数：$\mathrm{d}U = T\mathrm{d}S - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}H = T\mathrm{d}S + V\mathrm{d}P,\ \mathrm{d}F = -S\mathrm{d}T - P\mathrm{d}V,\ \mathrm{d}G = -S\mathrm{d}T + V\mathrm{d}P$

1. 定積比熱 C_{V} と定圧比熱 C_{P} が異なるように、一般に比熱は系の温度を上げる際の条件によって異なる。
   1) 理想気体を $PV^{\alpha} =$ 一定 (α は定数) の条件のもとで変化させるときの比熱を、C_{V} と C_{P} を用いて表せ。
   2) 理想気体に限らず、一般に不等式 $C_{\mathrm{V}} < C_{\mathrm{P}}$ が成り立つことを示せ。　（「$C_{\mathrm{P}} = C_{\mathrm{V}} + R > C_{\mathrm{V}}$」では、小学生が「$5 = 3 + 2 > 3$」と言っているようなもので、皆さんに対してそんな失礼な質問をしたりしない。第二法則に基づいて示すこと。）

2. 以下の断熱過程が非可逆であることを、適当な準静過程を用いてエントロピー変化を計算することにより示せ。そもそも熱の出入りがないのにエントロピー変化があるというのだから、計算の際、どのような準静過程を仮定したか明記されていないものは解答として無効である。
   1) １モルの理想気体が断熱自由膨張して体積が２倍になったとき。
   2) 熱容量がともに定数 C で温度が T_1, T_2 の２つの物体を、断熱容器の中でいきなり接触させて平衡に達したとき。

3. 例えば石油の熱膨張現象を利用して決められた経験温度と、熱力学的絶対温度のそれぞれについて簡潔に解説し、自然科学で用いられる量としての両者の質的な差異を述べよ。