

JAERI-M

9238

水素同位体の熱力学的諸性質が深冷蒸留
塔の分離特性に及ぼす影響

1980年12月

木下 正弘・成瀬 雄二

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

水素同位体の熱力学的諸性質が深冷蒸留塔の分離特性に及ぼす影響

日本原子力研究所東海研究所核融合研究部

木下 正弘・成瀬 雄二

(1980年11月21日受理)

気液平衡関係や蒸発潜熱、気液の定圧比熱などの水素同位体の熱力学的諸性質が深冷蒸留塔の分離特性に及ぼす影響を及ぼすかについて調べた。

他の熱力学変数に比べ、水素同位体溶液がラウールの法則から若干ずれることの影響が比較的大きいことを推定した。特に、ラウールの法則を仮定して解析を行うと、留出および缶出流中の微量成分の推定量の誤差が大きくなる。

本報では、解析モデルの中に溶液の非理想性とトリチウムの崩壊熱を組み入れることの重要性、ならびに水素同位体の気液平衡関係に関する実験研究推進の必要性を指摘する。

Effects of Thermodynamic Properties of Hydrogen
Isotopes on Separation Characteristics of Cryogenic
Distillation Columns

Masahiro KINOSHITA and Yuji NARUSE

Division of Thermonuclear Fusion Research,

Tokai Research Establishment, JAERI

(Received November 21, 1980)

The principal objective of this report is to investigate the effects of thermodynamic properties of hydrogen isotopes such as the vapor-liquid equilibrium relation, the latent heat of vaporization, the specific heat of gas and liquid, and so on, on separation characteristics of cryogenic distillation columns.

It was revealed that Raoult's law deviation of the solutions of hydrogen isotopes has relatively large effects while the other thermodynamic variables have relatively minor effects. Simulation with the assumption of Raoult's law is expected to fail to make exact prediction of the quantity of the infinitesimal amount of element in the output streams.

This report points out the importance of incorporation of Raoult's law deviation and decay heat of tritium in the simulation model. In addition, the experimental studies for more accurate vapor-liquid equilibrium data are to be continued for the time being.

KEYWORDS : Hydrogen Isotope Separation, Cryogenic Distillation, Thermodynamic Property, Vapor-Liquid Equilibrium, Latent Heat of Vaporization, Specific Heat, Raoult's Law, Decay Heat of Tritium, Simulation Model, Solution

目 次

1. はじめに	1
2. 熱力学変数が塔の分離特性に及ぼす影響	4
3. 水素同位体の蒸発潜熱及び気液のエンタルピーの推定	6
3.1 気相のエンタルピー	6
3.2 蒸発潜熱及び液相のエンタルピー	7
4. 深冷蒸留塔の解析例	13
5. ラウールの法則からのずれが塔の分離特性に及ぼす影響	14
5.1 Souersによる気液平衡比の推定法	14
5.2 H_2-D_2 系の $x-y$ 線図(全圧力1 atm)の作成	16
5.3 ラウールの法則からのずれが塔の分離特性に及ぼす影響 H_2-HD-D_2 系	17
5.4 ラウールの法則からのずれが塔の分離特性に及ぼす影響 $H_2-HD-HT-D_2-DT-T_2$ 系	19
6. 今後の実験研究で収集が望まれる熱力学的データ	21
7. おわりに	21
謝 辞	22
参考文献	22
Appendix 1.	24
Appendix 2.	26
Appendix 3.	32
Appendix 4.	38

Contents

1.	Introduction	1
2.	Effects of Thermodynamic Variables on Column Performance..	4
3.	Estimation of Vapor Enthalpy, Latent Heat of Vaporization and Liquid Enthalpy of Hydrogen Isotopes	6
3.1	Vapor Enthalpy	6
3.2	Latent Heat of Vaporization and Liquid Enthalpy.....	7
4.	Example of Cryogenic Distillation Calculation	13
5.	Effects of Raoult's Law Deviation on Column Performance..	14
5.1	Estimation Procedure of Vapor-Liquid Equilibrium Ratio by Souers	14
5.2	x-y Diagram of H ₂ -D ₂ System at 1 atm.....	16
5.3	Effects of Raoult's Law Deviation on Column PerformanceH ₂ -HD-D ₂ System.....	17
5.4	Effects of Raoult's Law Deviation on Column PerformanceH ₂ -HD-HT-D ₂ -DT-T ₂ System.....	19
6.	Thermodynamic Data to be Obtained in Further Experimental Studies	21
7.	Conclusions	21
	Acknowledgement	22
	References	22
	Appendix 1.	24
	Appendix 2.	26
	Appendix 3.	32
	Appendix 4.	38

1. はじめに

著者らは、現在までに深冷蒸留塔（水素同位体分離用）の定常解析及び非定常解析用コードを開発し、核融合炉燃料給排気系及び主冷却系における深冷蒸留システムを対象とした詳細な解析を行ってきた^{(1),(2)}。

深冷蒸留塔の特性を完全に把握し、その設計法を確立するためには、次の6つのステップを並行して行うことが必要である。

- ① 深冷蒸留塔のシミュレーションモデルの検討
- ② モデル式系の導出
- ③ 数値解析手法及び最適化手法の選定・コンピューターコードの開発及び改良
- ④ 水素同位体の熱力学的物性値の調査及び推定・実験による測定
- ⑤ コンピューターによる詳細な特性解析
- ⑥ 深冷蒸留塔を試作しての基礎分離実験・工学データの集積

しかし、上記のうち、わが国ではステップ⑥が著しく遅れている。米国やフランスでは、以前から深冷蒸留塔による分離実験が行われており、工学データはある程度収集されているものと考えられるが、それらはほとんど報告されないため、わが国独自の実験研究を早急に開始する必要がある。

また、水素同位体の物性データも必ずしも充分ではなく、著者らが解析に用いた物性値も多少の不確定性を持っている。現在までの解析においては、次の仮定を設けていた。

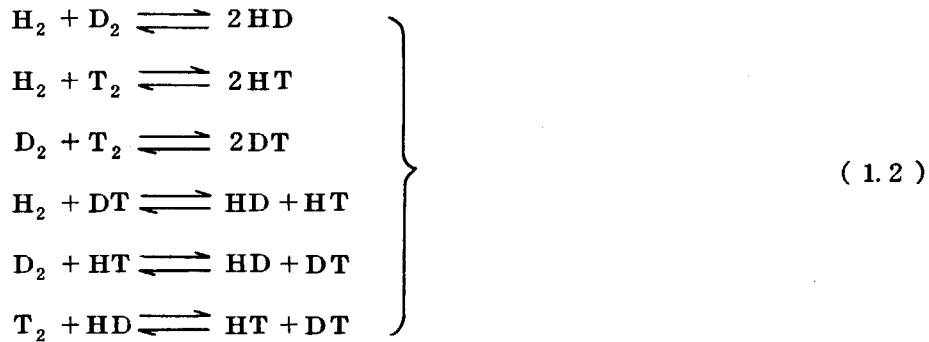
- (1) H_2 、 D_2 、 T_2 分子では、2つの陽子のスピンの結合の仕方に2通りがあり、両方のスピンの平行なオルト水素と反平行なパラ水素の2種の分子状態を考えなければならない。⁽³⁾そのため、例えば H_2 に対しては、 $o-H_2$ 、 $p-H_2$ 、 $o-H_2$ 、 $n-H_2$ の4通りが存在し得る。常温付近では、オルト形態の分子とパラ形態の分子は約3:1の割合で存在する（これをノーマルな状態と言い、 $n-H_2$ で表わす）。しかし、これを深冷する（20~25K）と、低温における平衡状態では、ほとんどの分子がパラ形態で存在するため、



の反応が起こる。しかも、これはかなりの発熱反応である。しかし、この反応速度はきわめて遅く⁽⁴⁾、20~25Kにおいてもノーマル形態で存在するものと仮定する。

- (2) (1)より、対象となる水素同位体は、 $n-H_2$ 、 HD 、 HT 、 $n-D_2$ 、 DT 、 $n-T_2$ の6成分系となる（ただし、核融合炉主冷却系のトリチウム回収プロセスにおける深冷蒸留システムの解析では、近似的に $n-H_2$ 、 HT 、 $n-T_2$ の3成分系としての取り扱いが可能である

ものと考えられる)。これらは、次に示すような同位体交換反応を起こし得る（以下で、 H_2 , D_2 , T_2 と示した場合は、各々 $n-H_2$, $n-D_2$, $n-T_2$ を表わすものとする）。



トリチウムの存在がなければ、 $H_2 + D_2 \rightleftharpoons 2HD$ なる反応の速度はきわめて遅く、貴金属触媒を用いない限り事実上反応は起こらないものと考えられることができる。しかし、トリチウムが存在する場合には、 β 線の影響により、特に液相において上記の反応が促進される可能性があるが、深冷蒸留計算においては上記の反応は全く起こらないものと仮定する。

(3) $n-H_2$, HD , HT , $n-D_2$, DT , $n-T_2$ の6成分系の気液平衡は、ラウールの法則によって記述できるものと仮定する。すなわち、気液平衡比 K_i は次式によって表わされる。

$$K_i = p_i^0 / P \quad (1.3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p_i^0: \text{純 } i \text{ 成分の蒸気圧} \\ P: \text{全圧力} \end{array} \right.$$

p_i^0 は、Mittelhauserら⁽⁵⁾により、温度の関数として与えられている ($n-H_2$, HD , $n-D_2$, $n-T_2$ に対しては実測値ときわめて良い一致を示す； HT , DT の蒸気圧の実測データは全く報告されていない)。

(4) 各成分の定圧比熱は、Jonesらにより、統計力学的に推算されている⁽⁶⁾。これらは、いずれも理想気体を仮定しており、多少の不確定性を持っている。しかし、これらの値が実在気体にも適用できるものと仮定し、気相のエンタルピー H_i^0 を計算する。

(5) 熱力学における Clausius-Clapeyron の式は、次式で表わされる。

$$\frac{d p_i^0}{dT} = \frac{\chi_i}{T(V_i^G - V_i^L)} \quad (1.4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T: \text{絶対温度} \\ \chi_i: \text{純 } i \text{ 成分の蒸発潜熱} \\ V_i^G: \text{純 } i \text{ 成分の気体のモル容積} \\ V_i^L: \text{純 } i \text{ 成分の液体のモル容積} \end{array} \right.$$

$V_i^G - V_i^L \approx V_i^G$ と近似し、 $p_i^0 V_i^G = z_i RT$ (z_i は圧縮係数) を用いると (1.4) 式は次のように変形される。

$$\frac{d \ln p_i^0}{dT} = \frac{\chi_i}{z_i RT^2} \quad (1.5)$$

によって、 $p_i^0 = p_i^0(T)$ 、 $z_i = z_i(T)$ が与えられていれば(1.5)式から $\chi_i = \chi_i(T)$ を推定することができる。しかし、各成分のPVTデータの詳細は見当たらなかったため、次のようにして $\chi_i(T)$ を推定した。Harmselら⁽⁷⁾が o-H_2 に対して実測した $\chi_i(T)$ (o-H_2 の蒸発潜熱は n-H_2 のそれと近似的に等しい)とMittelhauserらが与えた $p_i^0(T)$ から $z_i(T)$ を逆算し、他の成分(HD, HT, n-D_2 , DT, n-T_2)に対しても $z_i(T)$ は同一の値をとるものと仮定して他の成分の $\chi_i(T)$ を推定した。

上記5つの仮定のうち、(1)のオルト→パラ変換の問題と、(2)の同位体交換反応の問題は、トリチウムの存在による β 線の影響が心配されるが、かなりの低温(20~25K)のために両反応の速度は共に遅く⁽⁸⁾、(1)及び(2)の仮定は近似的に成立するものと考えられる。(4)及び(5)の仮定は、気液のエンタルピーの圧力依存性を無視しているために厳密には正しくない。しかし、後に示すように気相のエンタルピー $H_i^0(T)$ や液相のエンタルピー $h_i^0(T)$ の値そのものは蒸留計算の結果にほとんど関係しない。重要なものは両者の差である $\chi_i(T) (=H_i^0(T) - h_i^0(T))$ の値である。さらに(5)の仮定においては、各成分の $z_i(T)$ を同一と仮定しているため、成分間の $\chi_i(T)$ の値の差を過少評価していることになる。また、気液平衡比 K_i の値が蒸留計算に重要であることはよく知られている。(3)の仮定では K_i の値をラウールの法則から求めているが、水素同位体系がラウールの法則から若干ずれるという実験事実がある^{(8)~(10)}。そのため、上記5つの仮定のうち、再検討を要するものは(3)及び(5)の仮定である。

最近、P.C. Souers⁽¹¹⁾ (Lawrence Livermore Laboratory)により、水素同位体の低温物性に関する詳細な文献レビュー・整理に統計力学的及び熱力学的推定を加えたレポートが報告された。それには、各成分の気液のPVTデータの推定式が与えられており、従って(1.4)式から $\chi_i(T)$ を推定することができる。また、Souersは、各成分の K_i の値の推定法も提出している。それらは、いずれも n-H_2 、 n-D_2 以外の水素同位体に対しては推算の域を出ず(特にHT, DTに対しては実測値は事実上存在しない)、不確定性を伴うことは避けられないが、以前に比べると大きな前進であると言える。

本報告は主として5つの部分から構成されているが、各部の目的をまとめると以下のようになる。

- (1) 深冷蒸留計算の基礎となるモデル式に立ち戻り、水素同位体のいかなる物性が重要であるかを考える。
- (2) $\chi_i(T)$ をより正確に推定する。その際、Souersが提出している気液のPVTデータの推算式を用いる。
- (3) 新しい $\chi_i(T)$ をもとに深冷蒸留計算を行い、前の解析に使用した $\chi_i(T)$ を用いた場合の結果と比較する。両結果にほとんど差のないことが示される。
- (4) 各成分の K_i 値の推定法を整理する。実測データに基づいて信頼性の高い H_2 -HD-D₂系に対し、理想溶液を対象とした場合(ラウールの法則が成立)及び実在溶液を対象

とした場合の2ケースについて蒸留計算を行い、両結果を比較する。また、 $H_2-HD-HT-D_2-DT-T_2$ 系に対しても、同様の比較を行い、考察を加える。

(5) 以上の結果をふまえ、今後水素同位体の熱力学的物性の測定実験を行うにあたり、いかなるデータの収集が望まれるかについて考える。

なお、(4)においては、非理想溶液に対しても解析が行えるより、著者が以前に開発したコード「CRYDIS-2」を修正した。

2. 熱力学変数が塔の分離特性に及ぼす影響

任意の j 段 ($j \neq 1, N$) において熱収支をとると、次式が得られる (Appendix 1. 参照)。

$$\begin{aligned} & \sum_i F_j q_j h_i^0(T_{Fj}) z_{i,j}^L + \sum_i F_j (1-q_j) H_i^0(T_{Fj}) z_{i,j}^V \\ & + \sum_i L_{j-1} h_i^0(T_{j-1}) x_{i,j-1} + \sum_i V_{j+1} H_i^0(T_{j+1}) y_{i,j+1} \\ = & \sum_i (V_j + W_j) H_i^0(T_j) y_{i,j} + \sum_i (L_j + U_j) h_i^0(T_j) x_{i,j} \end{aligned} \quad (2.1)$$

{	F_j :	j 段目に供給されるフィードの流量	
	q_j :	"	の液化率
	T_{Fj} :	"	の供給温度
	$z_{i,j}^L$:	"	の液相中の i 成分のモル分率
	$z_{i,j}^V$:	"	の気相中の i 成分のモル分率
	L_j :	j 段目を去る液体の流量	
	$x_{i,j}$:	"	中の i 成分のモル分率
	V_j :	j 段目を去る気体の流量	
	$y_{i,j}$:	"	中の i 成分のモル分率
	U_j :	j 段目における液体のサイドカットの流量	
W_j :	j 段目における気体のサイドカットの流量		
T_j :	j 段目における気液の絶対温度		

ただし、トリチウムの崩壊熱による項及び塔壁を通しての熱移動による項は省略した。また、 i 成分についての物質収支式は次のようになる。

$$\begin{aligned} & F_j q_j z_{i,j}^L + F_j (1-q_j) z_{i,j}^V + L_{j-1} x_{i,j-1} + V_{j+1} y_{i,j+1} \\ = & (V_j + W_j) y_{i,j} + (L_j + U_j) x_{i,j} \end{aligned} \quad (2.2)$$

ところで、気体のエンタルピー $H_i^0(T)$ は、定圧比熱 $C_{pi}(T)$ から次式によって求められる。

$$H_i^0(T) = \int_{T_{si}}^T C_{pi}(T) dT + H_i^0(T_{si}) \quad (2.3)$$

ここで、 T_{si} は基準温度である。液体のエンタルピーは次式から求める。

$$h_i^0(T) = H_i^0(T) - \chi_i(T) \quad (2.4)$$

(2.1)式と(2.2)式より $(L_j + U_j) x_{i,j}$ を消去すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} & \sum_i F_j q_j z_{i,j}^L \{ h_i^0(T_{F_j}) - h_i^0(T_j) \} + \\ & \sum_i F_j (1 - q_j) z_{i,j}^V \{ H_i^0(T_{F_j}) - h_i^0(T_j) \} + \\ & \sum_i V_{j+1} y_{i,j+1} \{ H_i^0(T_{j+1}) - h_i^0(T_j) \} + \\ & \sum_i L_{j-1} x_{i,j-1} \{ h_i^0(T_{j-1}) - h_i^0(T_j) \} \\ & = \sum_i (V_j + W_j) y_{i,j} \{ H_i^0(T_j) - h_i^0(T_j) \} \end{aligned} \quad (2.5)$$

ところが、(2.3)式及び(2.4)式より、

$$\left. \begin{aligned} & h_i^0(T_{F_j}) - h_i^0(T_j) \\ & = \int_{T_j}^{T_{F_j}} C_{pi}(T) dT - \chi_i(T_{F_j}) + \chi_i(T_j) \\ & H_i^0(T_{F_j}) - h_i^0(T_j) \\ & = \int_{T_j}^{T_{F_j}} C_{pi}(T) dT + \chi_i(T_j) \\ & H_i^0(T_{j+1}) - h_i^0(T_j) = \int_{T_j}^{T_{j+1}} C_{pi}(T) dT + \chi_i(T_j) \\ & h_i^0(T_{j-1}) - h_i^0(T_j) \\ & = \int_{T_j}^{T_{j-1}} C_{pi}(T) dT - \chi_i(T_{j-1}) + \chi_i(T_j) \\ & H_i^0(T_j) - h_i^0(T_j) = \chi_i(T_j) \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

(2.5)式と(2.6)式から明らかなように、 T_{si} の値は任意でよく、しかも各成分によって異っていても差し支えない。(2.6)式を(2.5)式に代入すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} & \sum_i F_j q_j z_{i,j}^L \{ \int_{T_j}^{T_{F_j}} C_{pi}(T) dT + \chi_i(T_j) - \chi_i(T_{F_j}) \} + \\ & \sum_i F_j (1 - q_j) z_{i,j}^V \{ \int_{T_j}^{T_{F_j}} C_{pi}(T) dT + \chi_i(T_j) \} + \\ & \sum_i V_{j+1} y_{i,j+1} \{ \int_{T_j}^{T_{j+1}} C_{pi}(T) dT + \chi_i(T_j) \} + \\ & \sum_i L_{j-1} x_{i,j-1} \{ \int_{T_j}^{T_{j-1}} C_{pi}(T) dT + \chi_i(T_j) - \chi_i(T_{j-1}) \} \\ & = \sum_i (V_j + W_j) y_{i,j} \chi_i(T_j) \end{aligned} \quad (2.7)$$

上式において、著者の今までの解析結果によると、cal/g-molの単位で各量の概略の大きさは次の通りである。

$$\chi_i(T_j) \simeq O(10^2)$$

$$\left. \begin{aligned} \int_{T_j}^{T_{Fj}} C_{pi}(T) dT &\approx O(10^0) \\ \int_{T_j}^{T_{j+1}} C_{pi}(T) dT &\approx O(10^{-1}) \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

よって、熱収支において重要な変数は $\chi_i(T)$ であり、 $C_{pi}(T)$ （あるいは $H_i^0(T), h_i^0(T)$ ）はほとんど重要とはならない。

熱収支式、物質収支式と共に重要な基礎式は、次式で表わされる平衡関係式である。

$$y_{i,j} = K_{i,j} x_{i,j} \quad (2.9)$$

従って、蒸留計算において $K_{i,j}$ の値が重要であることは明らかであろう。

以上の考察より、熱力学変数の中で蒸留計算の結果に影響するものは、 χ_i と $K_{i,j}$ であると結論できる。各成分間の蒸発潜熱の違いを考慮すると、考慮しない場合に比べ、塔頂から塔底に向いほど気液の流量は減少するため、分離性能は若干低下する。しかし、著者らの解析結果⁽²⁾によると、 χ_i の値が蒸留計算の結果に与える影響は比較的小さい。塔内におけるトリチウムの濃度が高い場合におけるトリチウムの崩壊熱の影響や $K_{i,j}$ の値（より正確に表現すれば成分間の相対揮発度）の影響の方がより重要であるものと考えられる。

3. 水素同位体の蒸発潜熱及び気液のエントルピーの推定

3.1 気相のエントルピー

$n-H_2, HD, HT, n-D_2, DT, n-T_2$ の定圧比熱は、理想気体を仮定して統計力学的に計算されている^{(6), (12)~(14)}。まず、 $C_{pi}(T)$ から $H_i^0(T)$ を求めるために、10K~40Kにおいてラグランジュの補間法を用いて $C_{pi}(T)$ の計算値を補間する。それらをプロットするとFig. 3.1に示すようになる。次に、 $C_{pi}(T)$ の積分値をシンプソンの公式を用いて求める。

$$H_i^0(T) = \int_{10}^T C_{pi}(T) dT, \quad H_i^0(10) = 0 \quad (3.1)$$

ただし、 $T_{s1} = 10K$ とした。20K ≤ T ≤ 30Kにおいて、

$$H_i^0(T) = t_i + u_i T + v_i T^2 + w_i T^3 \quad (3.2)$$

でエントルピーを近似するために t_i, u_i, v_i, w_i の値を最小自乗法によって求める。すなわち、

$$\begin{bmatrix} t_i \\ u_i \\ v_i \\ w_i \end{bmatrix} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{b} \quad (3.3)$$

ここで、 \bar{A}^{-1} は行列 \bar{A} の逆行列(ガウスの掃き出し法によって求める)であり、 \bar{A} は次式で与えられる。

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} \theta & \sum_k T_k & \sum_k T_k^2 & \sum_k T_k^3 \\ \sum_k T_k & \sum_k T_k^2 & \sum_k T_k^3 & \sum_k T_k^4 \\ \sum_k T_k^2 & \sum_k T_k^3 & \sum_k T_k^4 & \sum_k T_k^5 \\ \sum_k T_k^3 & \sum_k T_k^4 & \sum_k T_k^5 & \sum_k T_k^6 \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

$$\begin{cases} \sum_k \equiv \sum_{k=1}^{\ell} \\ \theta : \text{データの個数} \end{cases}$$

また、列ベクトル b は次式で与えられる。

$$b = \begin{pmatrix} \sum_k H_{ik}^0 \\ \sum_k T_k H_{ik}^0 \\ \sum_k T_k^2 H_{ik}^0 \\ \sum_k T_k^3 H_{ik}^0 \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

求まった u_i, v_i, w_i の値をTable 3.1に示す($t_i \approx 0$ である)。

3.2 蒸発潜熱及び液相のエントルピー

Clausius-Clapeyronの式より、

$$\frac{dp_i^0}{dT} = \frac{\chi_i}{T(V_i^G - V_i^L)} \quad (3.6)$$

まず、飽和蒸気圧 p_i^0 については、Mittelhauserら⁽⁵⁾により、次式で与えられている。

$$\frac{\ln p_i^0}{2.303} = a_i + \frac{b_i}{T} + c_i \frac{\ln T}{2.303} + d_i \frac{p_i^0}{T^2} \quad (3.7)$$

よって、上式より、

$$\frac{d p_i^0}{dT} = \left(-\frac{b_i}{T^2} + \frac{c_i}{2.303 T} - 2 d_i \frac{p_i^0}{T^3} \right) / \left(\frac{1}{2.303 p_i^0} - \frac{d_i}{T^2} \right) \quad (3.8)$$

気体の圧縮係数 z_i は、Souers⁽¹¹⁾によって次式で与えられている。

$$\left. \begin{aligned} z_i &= p_i^0 V_i^G / RT = 1 + B_i \frac{1}{V_i^G} + C_i \frac{1}{V_i^{G^2}} \\ B_i &= B_{0i} T^{m_i} \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

各成分の B_{0i} , m_i , C_i の値を Table 3.2 に示す。

よって, V_i^G は, 次の 3 次方程式を解く (ニュートンの求解法を用いる) ことにより, 求めることができる。

$$\frac{C_i}{V_i^{G^3}} + \frac{B_i}{V_i^{G^2}} + \frac{1}{V_i^G} - \frac{p_i^0}{RT} = 0 \quad (3.10)$$

上式で, p_i^0 は (3.7) 式から求めても良いが, (3.7) 式は p_i^0 についての超越方程式となっているため, Misra ら⁽¹⁵⁾ が与えた次の近似式を用いる。

$$p_i^0 = c_{i1} + c_{i2} T + c_{i3} T^2 + c_{i4} T^3 + c_{i5} T^4 \quad (3.11)$$

$c_{i1} \sim c_{i5}$ の値を Table 3.3 に示す。

さらに, 液体の密度 ρ_i^L は, Souers に よって次式で与えられている。

$$\rho_i^L = 1 / V_i^L = A_i - B_i T^2 \quad (3.12)$$

A_i , B_i の値を Table 3.4 に示す。

以上より, (3.6) 式から $\chi_i(T)$ を推定した。次の近似式を用い, u_i'' , v_i'' , w_i'' の値を最小自乗法によって求めた (Fig. 3.2 に T 対 χ_i のグラフを示す)。

$$\chi_i(T) = u_i'' T + v_i'' T^2 + w_i'' T^3 \quad (3.13)$$

(3.2) 式及び (3.13) 式より, 液相のエンタルピー $h_i^0(T)$ の近似式を得ることができる。

$$\begin{aligned} h_i^0(T) &= H_i^0(T) - \chi_i(T) \\ &= u_i' T + v_i' T^2 + w_i' T^3 \end{aligned} \quad (3.14)$$

u_i' , v_i' , w_i' の値を Table 3.5 に示す ($20\text{K} \leq T \leq 30\text{K}$)。

なお, 以上の取り扱い, エンタルピーの圧力依存性を無視している (Appendix 1 参照)。

$n\text{-H}_2$, HD , HT , $n\text{-D}_2$, DT , $n\text{-T}_2$ の飽和線に沿った気液の熱力学的変数の値 (本研究において計算したものを) を Appendix 2 に示した。

Table 3.1 Fitting coefficients for vapor enthalpy H_i^o

Isotope	u (cal/g-molK)	v (cal/g-molK ²)	w (cal/g-molK ³)
H ₂	-1.19227	0.252352	-0.00341322
HD	-1.16205	0.235829	-0.00251483
HT	-1.43960	0.257231	-0.00276951
D ₂	-1.09613	0.243861	-0.00322562
DT	-2.70188	0.387612	-0.00507602
T ₂	-1.03513	0.236831	-0.00302009

$$H_i^o = u_i T + v_i T^2 + w_i T^3 \quad (\text{cal/g-mol})$$

Table 3.2

Second and third density-dependent virial coefficients of the hydrogen from 14 to 30 K. HT, DT, and T₂ are estimates. C is really for H₂, but is to be used for all.

Isotope ^a	B = B ₀ T ² (m ³ /mole)	
	B ₀ (m ³ /mole-K ²)	b
eH ₂	-0.0112	-1.44
nH ₂	-0.0113	
HD	-0.0159	-1.52
HT	-0.0196	-1.58
D ₂	-0.0250	-1.64
DT	-0.0310	-1.70
T ₂	-0.0395	-1.77

^aFor all isotopes, C = 1.8 × 10⁻⁹ m³/mole².

Table 3.3 Fitting coefficients for vapor pressure p_i° (mmHg)

Isotope	Fitting Coefficients				
	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5
H ₂	765.9677	-60.33137	-4.640048 X 10 ⁻¹	-5.739917 X 10 ⁻²	1.101835 X 10 ⁻²
HD	-3348.612	597.5073	-37.47318	7.909861 X 10 ⁻¹	2.763535 X 10 ⁻³
HT	-836.8202	192.7116	-12.59054	1.058304 X 10 ⁻¹	9.132107 X 10 ⁻³
D ₂	655.0951	-70.90902	5.194761	-4.188036 X 10 ⁻¹	1.410413 X 10 ⁻²
DT	-2210.739	376.6744	-20.12363	2.002574 X 10 ⁻¹	8.059631 X 10 ⁻³
T ₂	-6398.138	1030.710	-57.78316	1.156992	-1.492615 X 10 ⁻³

Table 3.4

Simple equations for liquid hydrogen densities, from the triple point to the upper temperature listed. HT and DT are estimates.

Isotope	$\rho_L = A - BT^2$			Calc at triple point	
	A (mole/m ³)	B (mole/m ³ -T ²)	Upper temp (K)	ρ_L (mole/m ³)	V (m ³ /mole)
eH ₂	40860	14.03	24	38180	26.19
nH ₂	41060	14.19	24	38300	26.11
HD	44690	13.93	25	40850	24.48
HT	46150	13.56	26	41900	23.87
D ₂	47780	13.15	28	43170	23.16
DT	49480	13.30	28	44270	22.59
T ₂	51050	13.45	28	45330	22.06

Table 3.5 Fitting coefficients for liquid enthalpy h_i^o

Isotope	u' (cal/g-molK)	v' (cal/g-molK ²)	w' (cal/g-molK ³)
H ₂	5.93744	-1.433168	0.0398411
HD	7.23354	-1.708151	0.0458515
HT	-33.66005	1.455066	-0.0150182
D ₂	-39.39113	1.741336	-0.0201158
DT	-45.05067	2.095047	-0.0253613
T ₂	-47.48155	2.158115	-0.0267332

$$h_i^o = u_i' T + v_i' T^2 + w_i' T^3 \quad (\text{cal/g-mol})$$

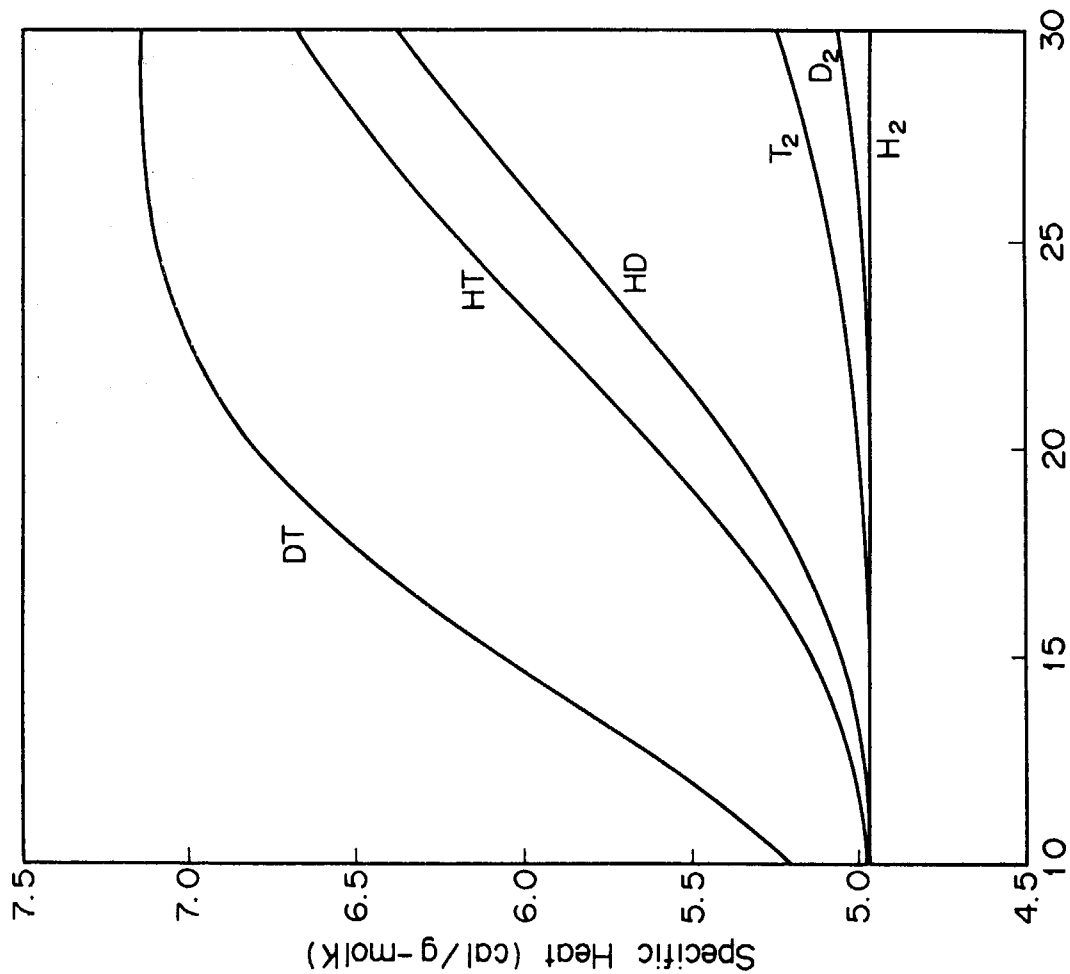


Fig. 3.1 Specific heat of hydrogen isotopes

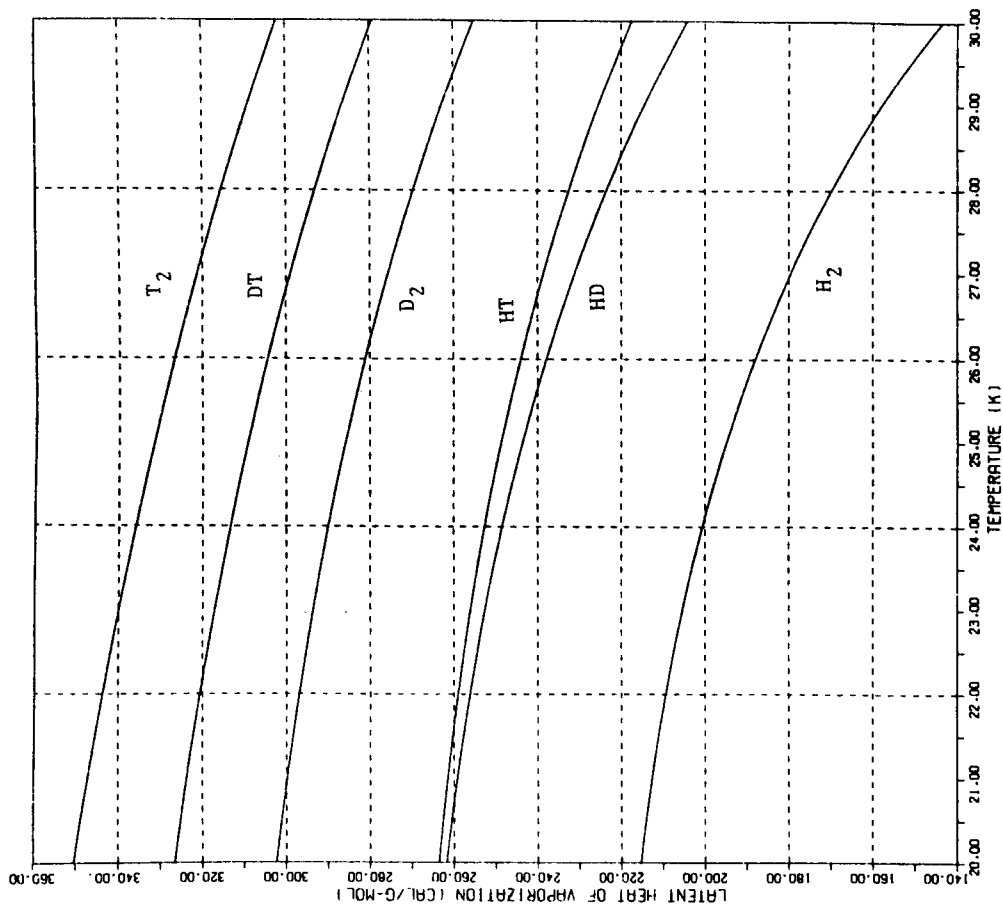


Fig. 3.2 Latent heat of vaporization of hydrogen isotopes

4. 新しい蒸発潜熱の値を用いた深冷蒸留塔の解析例

3.において、各成分のより正確な蒸発潜熱の値の推定が行われた。本章では、以前までの解析に用いた蒸発潜熱の値を使用した場合 (Case 1) 及び新しい蒸発潜熱の値を使用した場合 (Case 2) の2ケースに対し、同一の条件下で蒸留計算を行い、両結果を比較する。ただし、本章ではラウールの法則を仮定する。

核融合炉燃料給排気系の深冷蒸留システムにおける第1塔を想定し、次のように設定条件を定める。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{フィード供給量} = 100 \text{ g-mol/hr} \\ \text{フィード供給温度} = 24.303 \text{ K (飽和液体)} \\ \text{全理論段数} = 80 \\ \text{フィード供給段} = 40 \\ \text{留出量} = 25 \text{ g-mol/hr} \\ \text{還流比} = 24 \\ \text{塔内操作圧力} = 1 \text{ atm} \\ \text{トリチウムの崩壊熱及び圧力損失は考慮しない} \\ \text{コンデンサ} = \text{トータルコンデンサー} \\ \text{フィード組成: } H_2 = 0.13539 \times 10^{-3}, \quad HD = 0.10437 \times 10^{-1}, \\ \quad HT = 0.92920 \times 10^{-2}, \quad D_2 = 0.24757, \\ \quad DT = 0.48443, \quad T_2 = 0.24814 \end{array} \right.$$

解析の結果は次の通りである。

Case 1

留出組成

$$\begin{array}{ll} H_2 = 0.54170 \times 10^{-3} & HD = 0.41758 \times 10^{-1} \\ HT = 0.37174 \times 10^{-1} & D_2 = 0.91950 \\ DT = 0.10260 \times 10^{-2} & T_2 = 0.91830 \times 10^{-7} \end{array}$$

缶出組成

$$\begin{array}{ll} H_2 = 0.10937 \times 10^{-19} & HD = 0.23427 \times 10^{-10} \\ HT = 0.91279 \times 10^{-7} & D_2 = 0.23512 \times 10^{-1} \\ DT = 0.64560 & T_2 = 0.33089 \end{array}$$

Case 2

留出組成

$$\begin{array}{ll} H_2 = 0.54171 \times 10^{-3} & HD = 0.41758 \times 10^{-1} \\ HT = 0.37174 \times 10^{-1} & D_2 = 0.91944 \\ DT = 0.10907 \times 10^{-2} & T_2 = 0.97792 \times 10^{-7} \end{array}$$

缶出組成

$$\begin{aligned} H_2 &= 0.11741 \times 10^{-19} & HD &= 0.24848 \times 10^{-10} \\ HT &= 0.95687 \times 10^{-7} & D_2 &= 0.23534 \times 10^{-1} \\ DT &= 0.64558 & T_2 &= 0.33089 \end{aligned}$$

また、両ケースの塔内気液モル流量分布・温度分布・気液組成分布のアウトプットリストを Appendix 3. に示す。

今まで実施した解析においては、各成分間の蒸発潜熱の値の差を過少評価していたため、Case 1 に比べ、Case 2 では塔内の気液モル流量がやや減少している。しかし、留出組成及び缶出組成はほぼ一致しており、塔の分離特性に変わりはない。

本報においてより正確に蒸発潜熱が推定されたが、以前に行った解析結果はそのまま利用できるものと考えられ、改めて解析を行う必要はない。

5. ラウールの法則からのずれが塔の分離特性に及ぼす影響

5.1 Souersによる気液平衡比の推定法

水素同位体系は、近似的にはラウールの法則に従うものと考えられるが、同種分子間の相互作用ポテンシャルの絶対値が異種分子間のそれよりも大きいため、厳密にはラウールの法則からはずれ^{(8)~(10)}る。しかし、水素同位体の気液平衡に関する実験研究は始まったばかりであり、任意の条件に対して気液平衡比 K_i の値を計算できる状況には至っていない。

Souers⁽¹¹⁾ は、 K_i の推定式を半理論的に与えているが、まず、それについて述べる。

気相と液相が平衡にあるということは、熱力学的には両相の温度及び圧力、さらに i 成分のフガシティーが等しいことで表わされる。すなわち、

$$f_i^G = f_i^L \tag{5.1}$$

(f : フガシティー)

また、 f_i^G 及び f_i^L は各々次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} f_i^G &= y_i P \phi_i \\ f_i^L &= x_i f_i^{0L} \gamma_i \end{aligned} \right\} \tag{5.2}$$

$\left\{ \begin{array}{l} y_i : \text{気相における } i \text{ 成分のモル分率} \\ \phi_i : \text{フガシティー係数} \\ x_i : \text{液相における } i \text{ 成分のモル分率} \\ f_i^{0L} : \text{温度 } T \text{ において飽和線に沿った純 } i \text{ 成分のフガシティー} \\ \gamma_i : \text{活量係数} \end{array} \right.$

よって、(5.1) 式及び (5.2) 式より、

$$K_i = \frac{f_i^{0L} \gamma_i}{P \phi_i} \quad (5.3)$$

ϕ_i は近似的に次式で与えられる。

$$\phi_i \simeq \exp\left(\frac{B_i P}{RT}\right) \quad (5.4)$$

ここで、 B_i は第2 ビリアル係数で、(3.9)式の第2式で与えられる*¹⁾

また、 f_i^{0L} は、(5.1)式及び(5.2)式において $y_i = x_i = \gamma_i = 1$ 、 $P = p_i^0$ とおくことにより、次式で表わされることになる。

$$f_i^{0L} \simeq p_i^0 \exp\left(\frac{B_i p_i^0}{RT}\right) \quad (5.5)$$

さらに、 γ_i は、分子配過剰自由エネルギー $\Delta \bar{G}_i^E$ と次式で与えられる関係にある。

$$\gamma_i = \exp\left(\frac{\Delta \bar{G}_i^E}{RT}\right) \quad (5.6)$$

よって、(5.3)式～(5.6)式より、

$$\left. \begin{aligned} K_i &= \xi_i K_i^{\text{ideal}} \\ K_i^{\text{ideal}} &= p_i^0 / P \\ \xi_i &= \exp\left(\frac{\Delta \bar{G}_i^E}{RT}\right) \exp\left\{\frac{B_i (p_i^0 - P)}{RT}\right\} \end{aligned} \right\} \quad (5.7)$$

ξ_i は、ラウールの法則からのずれを考慮するための補正係数である。Souers²⁾は、過剰自由エネルギー $\Delta \bar{G}^E$ を2成分系混合パラメーター A_{ij} を用いて次式で表わした。

*1) Souers は、

$$PV_i^G \simeq RT + B_i P$$

なる近似式を用い、しかも B_i を圧力に依存しないものと仮定している。しかし、正しくは圧力に関する第2 ビリアル係数 B_i^* を用いなければならない。

すなわち、

$$PV_i^G \simeq RT + B_i^* P, \quad B_i^* \neq B_i$$

が成立する。

Souers²⁾は、次の近似を用いたのであろう。

$$\begin{aligned} \frac{PV_i^G}{RT} &= \frac{1}{1 - \frac{B_i^*}{V_i^G}} \\ &= 1 + \frac{B_i^*}{V_i^G} + \left(\frac{B_i^*}{V_i^G}\right)^2 + \dots \\ &\simeq 1 + \frac{B_i^*}{V_i^G} \end{aligned}$$

$$B_i^* \simeq B_i$$

$$\Delta G^E = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j x_i x_j A_{ij} \quad (5.8)$$

($i=j$ のときは $A_{ij}=0$)

(5.8)式より,

$$\Delta \bar{G}_i^E = \sum_j x_j A_{ij} - \Delta G^E \quad (5.9)$$

Souersは, H_2-D_2 系を基準とし, A_{ij} を成分 i の三重点 θ_i と成分 j のそれ θ_j の差を用いて次のように表わした。

$$\begin{aligned} A_{ij} &\simeq 1580 \left(\frac{\theta_i - \theta_j}{\theta_1 - \theta_4} \right)^{1.81} T^{-1.33} \\ &= A_{ij}^0 T^{-1.33} \end{aligned} \quad (5.10)$$

ただし, $H_2, HD, HT, D_2, DT, T_2$ を各々添字 1, 2, 3, 4, 5, 6で示した。このとき, A_{ij}^0 は次の値 ($J/g\text{-mol}$)となる。

$$\begin{aligned} A_{12}^0 &= 580, & A_{13}^0 &= 1060, & A_{14}^0 &= 1580, & A_{15}^0 &= 2320, \\ A_{16}^0 &= 2900, & A_{23}^0 &= 110, & A_{24}^0 &= 350, & A_{25}^0 &= 750, \\ A_{26}^0 &= 1120, & A_{34}^0 &= 90, & A_{35}^0 &= 350, & A_{36}^0 &= 620, & A_{45}^0 &= 120, \\ A_{46}^0 &= 300, & A_{56}^0 &= 60 \end{aligned} \quad (5.11)$$

これらは, H_2-D_2 系, $HD-D_2$ 系を除いては単なる推定に過ぎない。

以上より, ξ_i を P, T, x_i の関数として推定することができる。

(5.11)式によると, 非理想性の強さは,

$$\begin{aligned} H_2-T_2 &> H_2-DT > H_2-D_2 > HD-T_2 > H_2-HT > HD-DT > HT-T_2 \\ &> H_2-HD > HD-D_2 \simeq HT-DT > D_2-T_2 > D_2-DT > HD-HT > \\ &HT-D_2 > DT-T_2 \end{aligned} \quad (5.12)$$

の順で表わされ, H_2-T_2 系が最も強い非理想性を持ち, $DT-T_2$ 系は最も理想溶液に近い挙動を示すということになる。また, D_2-DT-T_2 系はラウールの法則からわずかなずれを示すのみであるという推定を与える。しかし, いくつかの実測データは, D_2-DT-T_2 系が H_2-HD-D_2 系と同程度の非理想性を持つことを示しており, Souersの K_i の推定法もやはり不確定性を持っている。 D_2-DT-T_2 系の既存のデータは誤差が大きいものと考えられる⁽⁸⁾ため, 今後さらに実験研究を推進する必要がある。

5.2 H_2-D_2 系の $x-y$ 線図 (全圧力 1 atm) の作成

5.1に示した推定法を用い, 試みに 1 atmにおける H_2-D_2 系の $x-y$ 線図を作成する。

この場合, (5.8)式及び(5.9)式より,

$$\Delta \bar{G}_1^E = x_4^2 A_{14}, \quad \Delta \bar{G}_4^E = x_1^2 A_{14} \quad (5.13)$$

関数 $g(T)$ を次式で定義する。

$$g(T) = \exp\left(\frac{x_4^2 A_{14}^0 T^{-1.33}}{RT}\right) \exp\left\{\frac{B_1^0 T^{m_1} (p_1^0 - P)}{RT}\right\} \frac{p_1^0}{P} x_1$$

$$+ \exp\left(\frac{x_1^2 A_{14}^0 T^{-1.33}}{RT}\right) \exp\left\{\frac{B_4^0 T^{m_4} (p_4^0 - P)}{RT}\right\} \frac{p_4^0}{P} x_4 - 1$$

(5.14)

このとき、

$$\frac{\partial g}{\partial T} = -2.33 \frac{A_{14}^0}{R} T^{-3.33} \{x_4^2 g_1(T) + x_1^2 g_2(T)\}$$

$$+ \frac{B_1^0}{R} g_1(T) \left\{ (m_1 - 1) T^{m_1 - 2} (p_1^0 - P) + T^{m_1 - 1} \frac{dp_1^0}{dT} \right\} +$$

$$\frac{B_4^0}{R} g_2(T) \left\{ (m_4 - 1) T^{m_4 - 2} (p_4^0 - P) + T^{m_4 - 1} \frac{dp_4^0}{dT} \right\} +$$

$$\frac{1}{P} \left\{ x_1 \frac{dp_1^0}{dT} g_1(T) + x_4 \frac{dp_4^0}{dT} g_2(T) \right\}$$

(5.15)

ただし、(5.14)式の右辺第1項を $g_1(T)$ 、右辺第2項を $g_2(T)$ とおいた。

次のようにして $x-y$ 線図を作成することができる。

- ① x_1 を与える。
- ② T の値を適当に仮定する ($=T_k$)。
- ③ $T_{k+1} = T_k - \eta g(T_k) / \left. \frac{\partial g}{\partial T} \right|_{T=T_k}$ より、 T_{k+1} を求める ($0 < \eta \leq 1$)。
- ④ $|T_{k+1} - T_k| / T_{k+1} < \epsilon$ ($0 < \epsilon \ll 1$) が成立するか否かを調べ、成立するなら次のステップに進む。成立しないならば T_k に T_{k+1} の値を入れてステップ③に戻る。
- ⑤ y_1 を求め、 (x_1, y_1) をプロットする。

Fig.5.1が作成された $x-y$ 線図である。

5.3 ラウールの法則からのずれが塔の分離特性に及ぼす影響 — H_2-HD-D_2 系 —

H_2-HD-D_2 系に対し、ラウールの法則を仮定した場合 (Case 1) と実在溶液を対象とした場合 (Case 2) について蒸留計算を行い、両結果を比較する。 ξ_i の計算は、Souersの方法によって行う。Case 2 については、次のアルゴリズムに従って計算を行う。

- ① $\xi_{i,j}$ (j 段目における i 成分についての補正係数) = 1 と仮定して塔内組成分布及び温度分布を求める。
 - ② 求めた分布に対し、 $\xi_{i,j}$ を計算する (これを $\xi'_{i,j}$ とおく)。
 - ③ $E = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^m |\xi_{i,j} - \xi'_{i,j}| / \xi'_{i,j}$ の値を求め、 $E \leq Nm\epsilon$ ($0 < \epsilon \ll 1$) か否かを判定する。
 $E \leq Nm\epsilon$ ならば計算を終了する。 $E > Nm\epsilon$ なら次のステップに進む。
 - ④ $\xi_{i,j}$ に $\xi'_{i,j}$ の値を入れて塔内組成分布及び温度分布を求め、ステップ②に戻る。
- 設定条件は次の通りである。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{フィード供給量} = 100 \text{ g-mol/hr} \end{array} \right.$$

フィード供給温度 = 213.21 K (飽和液体)
 全理論段数 = 60
 フィード供給段 = 30
 留出量 = 75 g-mol/hr
 還流比 = 4
 塔内操作圧力 = 1 atm (圧力損失は無視小)
 コンデンサー = トータルコンデンサー
 フィード組成: $H_2 = 0.25$, $HD = 0.5$, $D_2 = 0.25$

両ケースに対して得られた結果は次の通りである。

Case 1

留出組成

$$H_2 = 0.33335 \quad HD = 0.66660$$

$$D_2 = 0.54808 \times 10^{-4}$$

缶出組成

$$H_2 = 0.33299 \times 10^{-10} \quad HD = 0.10519 \times 10^{-3}$$

$$D_2 = 0.99990$$

Hの未回収率

$$2.63 \times 10^{-3} \%$$

Case 2

留出組成

$$H_2 = 0.33335 \quad HD = 0.66645$$

$$D_2 = 0.19964 \times 10^{-3}$$

缶出組成

$$H_2 = 0.46097 \times 10^{-10} \quad HD = 0.58219 \times 10^{-3}$$

$$D_2 = 0.99942$$

Hの未回収率

$$1.46 \times 10^{-2} \%$$

両ケースの結果を比較すると次のことが明らかとなる。

- ① ラウールの法則からはずれることは、塔の分離性能低下につながる。
- ② ラウールの法則を仮定して蒸留計算を行った場合、一般に微量成分の量を過少に評価することになる。
- ③ 成分間の蒸発潜熱の値の相違が塔の分離特性に及ぼす影響に比べると、ラウールの法則からはずれることがそれに及ぼす影響の方が大きい。
- ④ H_2 -HT- T_2 系に対しては、③の効果はより大きくなるものと考えられる。トリチウムの分離を行う場合、Tの未回収率の値が重要となるが、ラウールの法則を仮定してその値を求めると、実際よりかなり小さな値となるであろう。これは、必要な還流比・全理論段数

を過少に見積もることになる。

- ⑤ しかし、先に示した結果から考えても、ラウールの法則からはずれることの影響はそれほど大きいものではなく、④の問題も適切な設計余裕によって十分に解決できるものと考えられる。すなわち、概略の特性を把握するためには、ラウールの法則を仮定して計算を行っても差し支えない。

5.4 ラウールの法則からのずれが塔の分離特性に及ぼす影響 —— H_2 -HD-HT- D_2 -DT- T_2 系 ——

H_2 -HD-HT- D_2 -DT- T_2 系に対し、ラウールの法則を仮定した場合 (Case 1) と実在溶液を対象とした場合 (Case 2) について蒸留計算を行い、両結果を比較する。 ξ_i の値は, Souersの方法によって推定するが、先にも述べたように、実測値に基づいていないために不確実性が大きく、前節の H_2 -HD- D_2 系の結果と同等の信頼性をもつとは限らないことを付記しておく。設定条件は4章に示したものと同一とする。また、4章のCase 2が本章のCase 1となる (気・液のエンタルピーは本研究によって推定した新しい値を用いる)。

結果は以下に示す通りである。

Case 1

4章のCase 2 参照。

Case 2

留出組成

$$\begin{array}{ll} H_2 = 0.54175 \times 10^{-3} & HD = 0.41760 \times 10^{-1} \\ HT = 0.37175 \times 10^{-1} & D_2 = 0.91748 \\ DT = 0.30429 \times 10^{-2} & T_2 = 0.73174 \times 10^{-6} \end{array}$$

缶出組成

$$\begin{array}{ll} H_2 = 0.91040 \times 10^{-21} & HD = 0.22991 \times 10^{-10} \\ HT = 0.12021 \times 10^{-6} & D_2 = 0.24201 \times 10^{-1} \\ DT = 0.64491 & T_2 = 0.33089 \end{array}$$

Case 2 に対して得られた塔内気液モル流量分布・温度分布・気液組成分布のアウトプットリストをAppendix4.に示す。

Hは留出側に、Tは缶出側に回収されるが、Hの未回収率及びTの未回収率は、Case 1では各々 $3.59 \times 10^{-4} \%$ 、 $9.66 \times 10^{-1} \%$ 、Case 2では各々 $4.51 \times 10^{-4} \%$ 、 1.02% である。やはり、分離性能は低下しているが、低下の割合は小さい。Case 2では、Case 1に比較すると、HT、 D_2 、DT、 T_2 の未回収率が増加している一方、 H_2 、HDのそれが減少しているのが興味深い。

各成分の各段における ξ_i の値をTable 5.1に示す。

Table 5.1 Coefficients for taking into account Raoult's law deviation (Case 2)

Stage	H ₂	HD	HT	D ₂	DT	T ₂
1	1.0363	0.9913	0.9916	1.0023	1.0270	1.0544
10	1.0385	0.9917	0.9908	1.0002	1.0236	1.0500
20	1.0393	0.9919	0.9907	0.9997	1.0225	1.0485
30	1.0429	0.9927	0.9903	0.9980	1.0181	1.0426
40	1.0541	0.9963	0.9905	0.9943	1.0072	1.0272
50	1.0567	0.9973	0.9908	0.9938	1.0052	1.0244
60	1.0610	0.9991	0.9916	0.9933	1.0024	1.0203
70	1.0657	1.0012	0.9926	0.9931	0.9998	1.0162
80	1.0708	1.0035	0.9935	0.9925	0.9966	1.0109

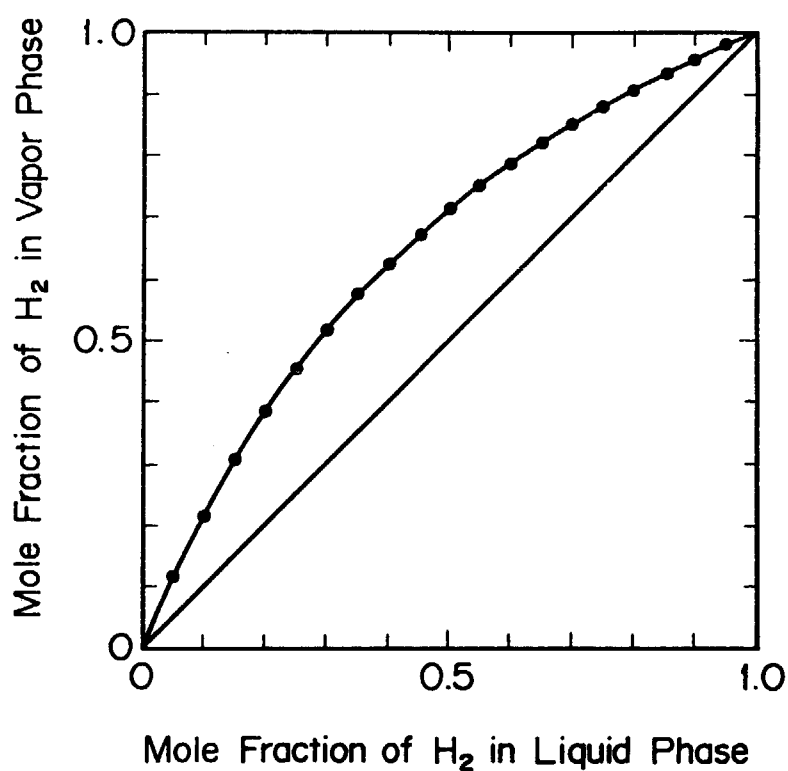


Fig. 5.1 Calculated x-y diagram of H₂-D₂ system

6. 今後の実験研究で収集が望まれる熱力学的データ

前章までの結果から、以下に示すような結論が得られる。

- (1) 気液のエンタルピー（または定圧比熱）が深冷蒸留塔の分離特性に及ぼす影響は無視小であり、蒸発潜熱のそれも比較的小さい。
- (2) ラウールの法則からのずれが塔の分離特性に及ぼす影響はそれほど大きいものではない。しかし、留出流あるいは缶出流中の微量成分のモル分率を正しく推定するためには、実在溶液の気液平衡データに基づいた計算が必要であり、ラウールの法則を仮定して計算を行うとかなり誤差が大きくなる。

以上の知見から、今後の実験研究においていかなる熱力学的データの収集が望まれるかが明らかとなる。水素同位体の気液の定圧比熱や蒸発潜熱などについては、現在のデータ（あるいは統計熱力学的推定値）で充分であるものと考えられる。最も重要なものは気液平衡データであり、特に H_2-HT-T_2 系、 D_2-DT-T_2 系の気液平衡に関する実験研究の推進が望まれる。その理由は、トリチウムを含んだ系に対するそのような研究が遅れていること、深冷蒸留塔の留出液中に微量に含まれるトリチウムの量を正しく推定することが重要であること、 H_2-HT-T_2 系はラウールの法則から最も大きくはずれることが予想されることなどである。

7. おわりに

本研究では、最近報告された P. C. Souers⁽¹¹⁾ のレポート（水素同位体の低温物性に関する詳細な文献レビューに統計熱力学的な推定を加えたもの）を参考にして、特に深冷蒸留計算に必要な物性に焦点を合わせ、 $n-H_2$, HD , HT , $n-D_2$, DT , $n-T_2$ の気液のエンタルピーを熱力学の関係式を用いてより正確に推定する近似式を作成した。

また、水素同位体の熱力学的諸性質が塔の分離特性に及ぼす影響について調べた。その結果、水素同位体系がラウールの法則からはずれるという性質を持つことの重要性が指摘され、水素同位体系（特に H_2-HT-T_2 系、 D_2-DT-T_2 系）の気液平衡に関する実験研究を推進することが強く望まれることが示された。そのほか、水素同位体の低温物性に関しては、1. にあげたような多くの不確定性を残しているが、深冷蒸留計算を対象とする限り、現存のデータ（あるいは統計熱力学的推定値）で充分であるものと考えられる。

深冷蒸留塔の分離特性を解析するに当たり、計算プロセスが複雑となるのを避けるため、各成分のエンタルピー・蒸発潜熱の違い及びトリチウムの崩壊熱を無視し、さらにラウールの法則を仮定して解析が行われた例がある⁽¹⁵⁾。しかし、条件によっては、これら3つのファクターの影響が重なって、計算結果に相当大きな誤差を生ずる可能性がある。著者の開発したコード

「CRYDIS-2」では、各成分のエンタルピー・蒸発潜熱の違い、トリチウムの崩壊熱を考慮でき、さらに今回非理想溶液に対しても解析が行えるように改良したため、上記のことについ

て近く調べる予定である。

なお、本報告においては、水素同位体の熱力学的物性についてのみ、その重要性を指摘したが、HETPやフラッシング速度、充填塔内における液ホールドアップ、塔を円滑に操作・制御するために最少限必要なコンデンサー及びリボイラーにおける液ホールドアップ量などの工学データの収集及び水素同位体の分析技術の開発が何にも増して重要であり、早急に実験研究を開始する必要があることを最後に強調しておきたい。

謝 辞

本研究を実施するに当たっては、小幡行雄氏（核融合研究部長）・田中吉左右氏（核融合研究部）の御指導をいただいた。吉田浩氏（トリチウム技術研究室）には、御助言していただいた。

本報を作成するに当たり、これらの諸氏に深い謝意を表します。

参考文献

- (1) Kinoshita, M., et al. : A Computer Analysis on Steady State Separation Characteristics of Hydrogen Isotope Separation System by Cryogenic Distillation, J. Nucl. Sci. Technol., To be published.
- (2) Kinoshita, M., Naruse, Y. : A Parameter Setting Method for Control System of Cryogenic Distillation Column, J. Nucl. Sci. Technol., To be published.
- (3) 広池和夫：統計力学（サイエンス社）
- (4) 市村 浩：統計力学（裳華房）
- (5) Mittelhauser, H.M., et al. : Vapor Pressure Relationships up to the Critical Point of Hydrogen, Deuterium, and Tritium, and their Diatomic Combinations, Cryogenics, 4, 368, (1964)
- (6) Guizouarn, L. : CEA-BIB-87, (1967)
- (7) Harmsel, H.T., et al. : The Heat of Vaporization of Equilibrium Hydrogen, Physica, 33, 503, (1967)
- (8) Souers, P.C., et al. : Raoult's Law for Liquid D-T and H-T, Trans. Am. Nucl. Soc., 28, 202, (1978)
- (9) Newman, R.B., Jackson, L.C. : The P, T, x Relationships of H₂+HD and H₂+D₂ Mixtures between 18° and 28°K, Trans. Faraday Soc., 54, 1481, (1958)
- (10) Sherman, R.H., et al. : Relative Volatilities for the Isotopic System Deuterium-Deuterium Tritide-Tritium, Cryogenics, 16, 611, (1976)
- (11) Souers, P.C. : Cryogenic Hydrogen Data Pertinent to Magnetic Fusion Energy, UCRL-52628, (1979)
- (12) Johnston, H.L., Long, E.A. : J. Chem. Phys., 2, 389, (1934)

- (13) Jones, W.M. : J. Chem. Phys., 16, 1077, (1948)
- (14) Jones, W.M. : J. Chem. Phys., 17, 1062, (1949)
- (15) Misra, B., Maroni, V. : Isotopic Enrichment of Plasma Exhausts from Controlled Thermonuclear Reactors by Cryogenic Distillation, Nucl. Technol., 35, 40, (1977)

Appendix 1. 混合物のエンタルピー

<気相>

$T_{si}K, P_{si} atm$ の純気体を基準状態と考えた場合、 $TK, P atm$ における m 成分の混合気体のエンタルピー H_i は、次の各過程におけるエンタルピー変化の和で与えられる。

$T_{si}K, P_{si} atm$ の純 i 気体 y_i モル ($i=1, \dots, m, \sum_{i=1}^m y_i = 1$) $\xrightarrow{\textcircled{1}}$ $T_{si}K, P' atm$ の純 i 気体 y_i モル ($P' \rightarrow 0$) $\xrightarrow{\textcircled{2}}$ $TK, P' atm$ の純 i 気体 y_i モル $\xrightarrow[\text{(i=1, \dots, m)}]{\text{Mixing}}$ $TK, P' atm$ の混合気体 1 モル $\xrightarrow{\textcircled{3}}$ $TK, P atm$ の混合気体 1 モル

各過程におけるエンタルピー変化 ΔH は次式で与えられる。

$$\Delta H_{\textcircled{1},i} = y_i \lim_{P' \rightarrow 0} \int_{P_{si}}^{P'} \left\{ V_i - T_{si} \left(\frac{\partial V_i}{\partial T} \right)_P \right\} dP \quad (i=1, \dots, m)$$

$$\Delta H_{\textcircled{2},i} = y_i \int_{T_{si}}^T C_{Pi}(T) dT \quad (i=1, \dots, m)$$

$$\Delta H_{\text{Mix.}} \approx 0$$

$$\Delta H_{\textcircled{3}} = \lim_{P' \rightarrow 0} \int_{P'}^P \left\{ V - T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \right\} dP$$

ここで、エンタルピーの圧力依存性を無視すると、 $\Delta H_{\textcircled{1},i} = 0$ 、 $\Delta H_{\textcircled{3}} = 0$ となり、 H_i は次式で与えられることになる。

$$\begin{aligned} H_i &= \sum_{i=1}^m (\Delta H_{\textcircled{1},i} + \Delta H_{\textcircled{2},i}) + \Delta H_{\text{Mix.}} + \Delta H_{\textcircled{3}} \\ &= \sum_{i=1}^m y_i \int_{T_{si}}^T C_{Pi}(T) dT \\ &= \sum_{i=1}^m y_i H_i(T) \end{aligned}$$

<液相>

$TK, p_{0i} atm$ における各成分の蒸発潜熱 $\lambda_i(T)$ ($i=1, \dots, m$) 及び $T_m K$ における混合エンタルピー ΔH_m が与えられているものと仮定する。このとき、 $TK, P atm$ における m 成分の混合物のエンタルピー h_i は、次の各過程におけるエンタルピー変化の和で与えられる。

$T_{si}K, P_{si} atm$ の純 i 気体 x_i モル ($i=1, \dots, m, \sum_{i=1}^m x_i = 1$) $\xrightarrow{\textcircled{1}}$ $TK, p_{0i} atm$ の純 i 気体 x_i モル $\xrightarrow{\textcircled{2}}$ $TK, p_{0i} atm$ の純 i 液体 x_i モル $\xrightarrow{\textcircled{3}}$ $T_m K, p_{0i} atm$ の純 i 液体 x_i モル $\xrightarrow{\textcircled{4}}$ $T_m K, P atm$ の純 i 液体 x_i モル $\xrightarrow[\text{(i=1, \dots, m)}]{\text{Mixing}}$ $T_m K, P atm$ の混合液体 1 モル $\xrightarrow{\textcircled{5}}$ $TK, P atm$ の混合液体 1 モル

各過程におけるエンタルピー変化 ΔH は次式で与えられる。

$$\Delta H_{\ominus,i} \simeq x_i \int_{T_{s,i}}^T C_{p,i}(T) dT \quad ((8.1) \text{式より})$$

$$\Delta H_{\ominus,i} = -x_i \lambda_i(T)$$

$$\Delta H_{\oplus,i} = x_i \int_T^{T_m} c_{p,i}(T) dT$$

$$\Delta H_{\oplus,i} = x_i \int_{p_{0,i}}^P \left\{ v_i - T_m \left(\frac{\partial v_i}{\partial T} \right)_p \right\} dP$$

$$\Delta H_{\text{Mix.}} = \Delta H_m$$

$$\Delta H_{\ominus} = \int_{T_m}^T c_{p,m}(T) dT$$

ここで、やはりエンタルピーの圧力依存性を無視し、さらに $\Delta H_m \simeq 0$ 、 $c_{p,m} \simeq \sum_{i=1}^m x_i c_{p,i}$ と近似すると、 h_i は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} h_i &= \sum_{i=1}^m (\Delta H_{\ominus,i} + \Delta H_{\oplus,i} + \Delta H_{\oplus,i} + \Delta H_{\oplus,i}) + \Delta H_{\text{Mix.}} + \Delta H_{\ominus} \\ &\simeq \sum_{i=1}^m x_i \left\{ \int_{T_{s,i}}^T C_{p,i}(T) dT - \lambda_i(T) \right\} \\ &= \sum_{i=1}^m x_i h_i(T) \end{aligned} \quad (8.2)$$

ただし、

$$h_i(T) = H_i(T) - \lambda_i(T) \quad (8.3)$$

以上の熱力学的考察から明らかなように、(2.1)式は厳密に成立する式ではない。すなわち、エンタルピーの圧力依存性や混合エンタルピーを無視するなどの仮定が含まれている。しかし、これらの仮定は近似的には妥当であるものと考えられる。水素同位体系はラウールの法則に対して正のずれ (positive deviation) を示す。従って、 $\Delta H_m > 0$ である。ラウールの法則からのずれを考慮して $\Delta H_m = 0$ とおいている 5.3, 5.4 における取扱いは、熱力学的には矛盾している。しかし、本文において証明されているように、水素同位体分離に対する蒸留計算においては、熱収支式に比べると平衡関係式の方がはるかに重要性が大きい。よって、深冷蒸留計算を行う場合には、そのような取扱いで充分であるものと考えられる。

Appendix 2. Saturated Properties of Hydrogen Isotopes
 (n-H₂, HD, HT, n-D₂, DT, n-T₂),
 Liquid-Vapor

T (K) = Absolute Temperature

ρ_G (g-mol/l) = Vapor Density

ρ_L (g-mol/l) = Liquid Density

z (-) = Compressibility Factor

P° (mmHg) = Vapor Pressure

χ (cal/g-mol) = Latent Heat of Vaporization

T	n-H ₂				
	ρ_G	ρ_L	z	P°	χ
20.000	0.59661	35.284	0.91042	677.50	215.32
20.200	0.62968	35.270	0.90885	719.37	214.82
20.400	0.66407	35.155	0.90320	763.08	214.32
20.600	0.69901	35.038	0.89947	808.68	213.79
20.800	0.73693	34.921	0.89566	856.20	213.24
21.000	0.77546	34.802	0.89178	905.69	212.66
21.200	0.81544	34.682	0.88781	957.18	212.06
21.400	0.85690	34.562	0.88377	1010.7	211.43
21.600	0.89909	34.440	0.87968	1066.3	210.77
21.800	0.94443	34.316	0.87546	1124.1	210.09
22.000	0.99050	34.192	0.87118	1184.0	209.38
22.200	1.0384	34.067	0.86683	1246.2	208.64
22.400	1.0879	33.940	0.86240	1310.6	207.87
22.600	1.1391	33.812	0.85788	1377.4	207.07
22.800	1.1921	33.683	0.85329	1446.4	206.24
23.000	1.2470	33.553	0.84861	1517.9	205.38
23.200	1.3038	33.422	0.84385	1591.8	204.49
23.400	1.3625	33.290	0.83900	1668.3	203.56
23.600	1.4233	33.157	0.83407	1747.2	202.60
23.800	1.4861	33.022	0.82905	1828.7	201.60
24.000	1.5511	32.887	0.82394	1912.9	200.57
24.200	1.6183	32.750	0.81874	1999.8	199.49
24.400	1.6879	32.612	0.81345	2089.3	198.38
24.600	1.7590	32.473	0.80806	2181.7	197.23
24.800	1.8322	32.333	0.80258	2276.8	196.04
25.000	1.9112	32.191	0.79700	2374.9	194.80
25.200	1.9908	32.049	0.79131	2475.9	193.52
25.400	2.0732	31.905	0.78553	2579.8	192.20
25.600	2.1585	31.760	0.77963	2686.8	190.82
25.800	2.2468	31.615	0.77363	2796.8	189.40
26.000	2.3382	31.468	0.76751	2910.0	187.92
26.200	2.4329	31.319	0.76128	3026.3	186.39
26.400	2.5310	31.170	0.75492	3145.9	184.81
26.600	2.6327	31.020	0.74845	3268.8	183.17
26.800	2.7381	30.868	0.74184	3395.0	181.47
27.000	2.8474	30.715	0.73510	3524.6	179.71
27.200	2.9609	30.562	0.72822	3657.7	177.88
27.400	3.0787	30.407	0.72120	3794.2	175.99
27.600	3.2011	30.251	0.71403	3934.2	174.03
27.800	3.3283	30.093	0.70670	4078.0	171.99
28.000	3.4607	29.935	0.69920	4225.4	169.88
28.200	3.5985	29.776	0.69154	4376.5	167.69
28.400	3.7421	29.615	0.68389	4531.4	165.41
28.600	3.8918	29.453	0.67615	4690.1	163.05
28.800	4.0482	29.290	0.66841	4852.3	160.59
29.000	4.2116	29.126	0.66059	5019.3	158.03
29.200	4.3828	28.961	0.65268	5191.9	155.37
29.400	4.5618	28.795	0.64437	5364.8	152.61
29.600	4.7499	28.627	0.63529	5543.4	149.72
29.800	4.9478	28.459	0.62574	5726.3	146.71
30.000	5.1562	28.289	0.61599	5913.6	143.57

HD

T	ρ_G	ρ_L	z	p°	X
20.000	0.32409	39.118	0.94893	382.38	261.76
20.200	0.34528	39.006	0.94827	410.30	261.28
20.400	0.36735	38.893	0.94756	439.59	260.78
20.600	0.39036	38.779	0.94679	470.30	260.26
20.800	0.41432	38.663	0.94595	502.50	259.72
21.000	0.43928	38.547	0.94505	536.22	259.17
21.200	0.46528	38.429	0.92409	571.52	258.60
21.400	0.49228	38.311	0.92807	608.43	258.02
21.600	0.52039	38.191	0.92298	647.02	257.41
21.800	0.54962	38.070	0.91982	687.33	256.78
22.000	0.57999	37.948	0.91659	729.40	256.13
22.200	0.61156	37.825	0.91330	773.31	255.47
22.400	0.64438	37.700	0.90992	819.08	254.78
22.600	0.67840	37.575	0.90650	866.78	254.06
22.800	0.71373	37.449	0.90300	916.43	253.33
23.000	0.75040	37.321	0.89942	968.11	252.57
23.200	0.78844	37.192	0.89577	1021.9	251.79
23.400	0.82787	37.062	0.89205	1077.7	250.98
23.600	0.86875	36.932	0.88826	1135.8	250.14
23.800	0.91114	36.799	0.88439	1196.0	249.28
24.000	0.95504	36.666	0.88044	1258.6	248.40
24.200	1.0005	36.532	0.87642	1323.4	247.48
24.400	1.0476	36.397	0.87233	1390.7	246.53
24.600	1.0964	36.260	0.86815	1460.3	245.56
24.800	1.1469	36.122	0.86390	1532.4	244.55
25.000	1.1992	35.984	0.85956	1607.1	243.52
25.200	1.2533	35.844	0.85515	1684.3	242.45
25.400	1.3092	35.703	0.85066	1764.2	241.35
25.600	1.3671	35.561	0.84608	1846.7	240.21
25.800	1.4270	35.418	0.84142	1932.0	239.04
26.000	1.4890	35.273	0.83668	2020.1	237.83
26.200	1.5531	35.128	0.83185	2111.0	236.59
26.400	1.6193	34.981	0.82693	2204.7	235.30
26.600	1.6879	34.834	0.82193	2301.5	233.96
26.800	1.7587	34.685	0.81684	2401.1	232.62
27.000	1.8320	34.535	0.81166	2503.9	231.21
27.200	1.9078	34.384	0.80638	2609.7	229.76
27.400	1.9862	34.232	0.80102	2718.7	228.27
27.600	2.0675	34.079	0.79558	2830.9	226.73
27.800	2.1512	33.924	0.79000	2946.4	225.14
28.000	2.2379	33.769	0.78434	3065.1	223.51
28.200	2.3276	33.612	0.77858	3187.2	221.83
28.400	2.4205	33.455	0.77272	3312.7	220.09
28.600	2.5165	33.298	0.76678	3441.7	218.30
28.800	2.6156	33.136	0.76069	3574.2	216.46
29.000	2.7189	32.975	0.75452	3710.2	214.56
29.200	2.8254	32.813	0.74824	3849.9	212.60
29.400	2.9358	32.649	0.74184	3993.3	210.58
29.600	3.0502	32.485	0.73532	4140.4	208.50
29.800	3.1687	32.320	0.72869	4291.3	206.36
30.000	3.2915	32.153	0.72195	4446.0	204.15

HT

T	ρ_G	ρ_L	z	p°	X
20.000	0.24157	40.726	0.95845	288.80	263.60
20.200	0.25823	40.517	0.95629	311.09	263.21
20.400	0.27572	40.307	0.95406	334.68	262.80
20.600	0.29409	40.396	0.95176	359.60	262.38
20.800	0.31334	40.283	0.94939	385.89	261.94
21.000	0.33350	40.170	0.94696	413.61	261.49
21.200	0.35459	40.056	0.94446	442.79	261.02
21.400	0.37664	39.940	0.94189	473.46	260.54
21.600	0.39966	39.823	0.93926	505.68	260.04
21.800	0.42369	39.706	0.93656	539.49	259.52
22.000	0.44873	39.587	0.93380	574.92	258.98
22.200	0.47483	39.467	0.93097	612.04	258.43
22.400	0.50201	39.346	0.92808	650.86	257.88
22.600	0.53028	39.224	0.92512	691.45	257.27
22.800	0.55969	39.101	0.92210	733.84	256.66
23.000	0.59024	38.977	0.91901	778.08	256.03
23.200	0.62199	38.851	0.91586	824.23	255.39
23.400	0.65495	38.725	0.91265	872.31	254.72
23.600	0.68915	38.598	0.90937	922.37	254.03
23.800	0.72462	38.469	0.90602	974.47	253.32
24.000	0.76140	38.339	0.90261	1028.7	252.59
24.200	0.79952	38.209	0.89914	1085.0	251.84
24.400	0.83901	38.077	0.89560	1143.4	251.08
24.600	0.87991	37.944	0.89199	1204.2	250.28
24.800	0.92226	37.810	0.88832	1267.1	249.44
25.000	0.96609	37.675	0.88459	1332.4	248.59
25.200	1.0114	37.539	0.88079	1400.1	247.72
25.400	1.0583	37.402	0.87692	1470.2	246.82
25.600	1.1069	37.263	0.87299	1542.7	245.90
25.800	1.1570	37.124	0.86899	1617.8	244.95
26.000	1.2089	36.983	0.86492	1695.4	243.97
26.200	1.2625	36.842	0.86078	1775.8	242.98
26.400	1.3178	36.699	0.85658	1858.5	241.93
26.600	1.3750	36.555	0.85231	1944.2	240.86
26.800	1.4341	36.411	0.84797	2032.8	239.77
27.000	1.4952	36.265	0.84356	2123.5	238.64
27.200	1.5582	36.118	0.83907	2217.9	237.48
27.400	1.6233	35.970	0.83452	2314.9	236.29
27.600	1.6905	35.821	0.82990	2414.9	235.07
27.800	1.7599	35.670	0.82521	2517.9	233.81
28.000	1.8316	35.519	0.82044	2624.0	232.51
28.200	1.9055	35.367	0.81560	2733.3	231.18
28.400	1.9819	35.213	0.81069	2845.8	229.82
28.600	2.0607	35.058	0.80571	2961.5	228.41
28.800	2.1421	34.903	0.80064	3080.5	226.97
29.000	2.2251	34.748	0.79551	3202.8	225.49
29.200	2.3128	34.588	0.79030	3328.6	223.97
29.400	2.4024	34.429	0.78501	3457.9	222.40
29.600	2.4948	34.269	0.77965	3590.7	220.80
29.800	2.5903	34.108	0.77421	3727.0	219.15
30.000	2.6888	33.948	0.76869	3867.0	217.45

n-D₂

T	ρ_G	ρ_L	z	p°	x
20.000	0.18841	42.520	0.96836	221.07	302.33
20.200	0.19820	42.414	0.96455	228.77	301.85
20.400	0.21033	42.307	0.96266	237.61	301.37
20.600	0.22494	42.200	0.96071	247.63	300.87
20.800	0.24032	42.091	0.95869	258.87	300.36
21.000	0.25651	41.981	0.95661	271.36	299.83
21.200	0.27351	41.870	0.95445	285.15	299.28
21.400	0.29135	41.758	0.95224	300.27	298.72
21.600	0.31003	41.645	0.94998	316.74	298.15
21.800	0.32955	41.531	0.94761	334.62	297.56
22.000	0.35003	41.415	0.94521	353.95	296.95
22.200	0.37159	41.299	0.94274	374.75	296.33
22.400	0.39427	41.182	0.94021	397.07	295.70
22.600	0.41801	41.064	0.93762	550.90	295.04
22.800	0.44112	40.944	0.93496	586.45	294.37
23.000	0.46632	40.824	0.93225	623.53	293.68
23.200	0.49254	40.702	0.92948	662.40	292.98
23.400	0.51981	40.580	0.92665	702.94	292.25
23.600	0.54814	40.456	0.92376	745.25	291.51
23.800	0.57756	40.331	0.92081	789.38	290.75
24.000	0.60810	40.206	0.91780	835.37	289.97
24.200	0.63978	40.079	0.91473	883.26	289.18
24.400	0.67264	39.951	0.91161	933.10	288.36
24.600	0.70670	39.822	0.90842	984.93	287.52
24.800	0.74200	39.692	0.90517	1038.8	286.66
25.000	0.77855	39.561	0.90187	1094.8	285.78
25.200	0.81641	39.429	0.89850	1152.9	284.88
25.400	0.85559	39.296	0.89508	1213.1	283.95
25.600	0.89612	39.162	0.89160	1275.6	283.01
25.800	0.93807	39.027	0.88805	1340.4	282.04
26.000	0.98144	38.891	0.88445	1407.5	281.04
26.200	1.0262	38.755	0.88078	1477.0	280.02
26.400	1.0726	38.615	0.87705	1548.9	278.98
26.600	1.1206	38.476	0.87327	1623.3	277.91
26.800	1.1701	38.335	0.86942	1700.3	276.81
27.000	1.2212	38.194	0.86550	1779.8	275.69
27.200	1.2740	38.051	0.86152	1861.9	274.54
27.400	1.3286	37.908	0.85749	1946.8	273.36
27.600	1.3849	37.765	0.85339	2034.4	272.15
27.800	1.4431	37.617	0.84922	2124.8	270.91
28.000	1.5032	37.470	0.84499	2218.0	269.64
28.200	1.5652	37.323	0.84069	2314.2	268.34
28.400	1.6292	37.174	0.83633	2413.5	267.01
28.600	1.6952	37.024	0.83190	2515.4	265.64
28.800	1.7634	36.873	0.82741	2620.6	264.24
29.000	1.8337	36.721	0.82284	2729.0	262.80
29.200	1.9064	36.568	0.81821	2840.5	261.33
29.400	1.9813	36.414	0.81351	2955.3	259.83
29.600	2.0586	36.258	0.80875	3073.4	258.28
29.800	2.1384	36.102	0.80394	3194.9	256.70
30.000	2.2208	35.945	0.79908	3319.8	255.08

DT

T	ρ_G	ρ_L	z	p°	X
20.000	0.13557	44.160	0.97422	164.74	326.56
20.200	0.14623	44.055	0.97267	179.18	326.02
20.400	0.15748	43.945	0.97106	194.56	325.46
20.600	0.16936	43.830	0.96939	210.92	324.90
20.800	0.18188	43.726	0.96767	228.31	324.32
21.000	0.19506	43.615	0.96589	246.75	323.74
21.200	0.20893	43.502	0.96405	266.31	323.14
21.400	0.22350	43.389	0.96216	287.01	322.52
21.600	0.23881	43.275	0.96021	308.90	321.90
21.800	0.25486	43.159	0.95821	332.02	321.26
22.000	0.27169	43.043	0.95615	356.42	320.61
22.200	0.28931	42.925	0.95403	382.14	319.94
22.400	0.30775	42.807	0.95185	409.23	319.26
22.600	0.32704	42.687	0.94961	437.72	318.57
22.800	0.34718	42.566	0.94732	467.66	317.86
23.000	0.36821	42.444	0.94497	499.10	317.14
23.200	0.39016	42.321	0.94256	532.09	316.40
23.400	0.41304	42.197	0.94009	566.66	315.65
23.600	0.43686	42.072	0.93757	602.86	314.88
23.800	0.46170	41.946	0.93499	640.75	314.09
24.000	0.48752	41.819	0.93235	680.35	313.29
24.200	0.51439	41.691	0.92965	721.73	312.47
24.400	0.54232	41.562	0.92690	764.93	311.64
24.600	0.57133	41.431	0.92409	810.00	310.78
24.800	0.60146	41.300	0.92122	856.97	309.91
25.000	0.63274	41.168	0.91829	905.91	309.02
25.200	0.66518	41.034	0.91530	956.87	308.11
25.400	0.69882	40.899	0.91226	1009.9	307.18
25.600	0.73370	40.764	0.90916	1065.0	306.23
25.800	0.76985	40.627	0.90600	1122.3	305.26
26.000	0.80726	40.489	0.90279	1181.7	304.28
26.200	0.84601	40.350	0.89952	1243.5	303.25
26.400	0.88612	40.210	0.89619	1307.5	302.22
26.600	0.92762	40.069	0.89280	1373.9	301.16
26.800	0.97055	39.927	0.88935	1442.7	300.08
27.000	1.0149	39.784	0.88585	1513.9	298.96
27.200	1.0608	39.640	0.88229	1587.7	297.83
27.400	1.1082	39.495	0.87867	1664.6	296.70
27.600	1.1573	39.349	0.87499	1742.9	295.52
27.800	1.2079	39.201	0.87125	1824.5	294.32
28.000	1.2601	39.053	0.86746	1908.3	293.09
28.200	1.3141	38.903	0.86361	1995.9	291.84
28.400	1.3698	38.753	0.85970	2085.6	290.55
28.600	1.4274	38.601	0.85573	2178.6	289.24
28.800	1.4867	38.448	0.85171	2274.3	287.91
29.000	1.5479	38.295	0.84762	2373.0	286.54
29.200	1.6111	38.140	0.84348	2474.7	285.14
29.400	1.6763	37.984	0.83928	2579.6	283.72
29.600	1.7435	37.827	0.83503	2687.5	282.26
29.800	1.8126	37.669	0.83071	2798.7	280.77
30.000	1.8842	37.510	0.82634	2913.1	279.25

n-T₂

T	ρ_G	ρ_L	z	p°	x
20.000	0.980732-01	45.670	0.98073	119.97	350.41
20.200	0.10724	45.562	0.97930	132.31	349.77
20.400	0.11631	45.453	0.97784	145.32	349.13
20.600	0.12684	45.342	0.97635	159.10	348.48
20.800	0.13733	45.231	0.97483	173.67	347.82
21.000	0.14833	45.119	0.97328	189.00	347.15
21.200	0.15960	45.005	0.97169	205.37	346.48
21.400	0.17195	44.890	0.97005	222.62	345.79
21.600	0.18463	44.775	0.96837	240.85	345.10
21.800	0.19793	44.658	0.96665	260.13	344.40
22.000	0.21167	44.540	0.96488	280.48	343.69
22.200	0.22649	44.421	0.96306	302.00	342.96
22.400	0.24160	44.301	0.96119	324.60	342.23
22.600	0.25764	44.180	0.95927	348.61	341.48
22.800	0.27462	44.058	0.95730	373.62	340.72
23.000	0.29220	43.935	0.95528	400.39	339.94
23.200	0.31056	43.811	0.95320	428.32	339.16
23.400	0.32976	43.685	0.95107	457.69	338.36
23.600	0.34961	43.559	0.94889	488.55	337.55
23.800	0.37075	43.431	0.94665	520.95	336.72
24.000	0.39257	43.303	0.94436	554.90	335.88
24.200	0.41523	43.173	0.94201	590.49	335.02
24.400	0.43906	43.042	0.93961	627.77	334.15
24.600	0.46374	42.911	0.93716	666.76	333.26
24.800	0.48946	42.778	0.93464	707.56	332.36
25.000	0.51620	42.644	0.93208	750.16	331.44
25.200	0.54396	42.509	0.92948	794.62	330.50
25.400	0.57264	42.373	0.92679	841.00	329.55
25.600	0.60224	42.235	0.92406	889.38	328.57
25.800	0.63295	42.097	0.92127	939.74	327.56
26.000	0.66462	41.958	0.91844	992.10	326.53
26.200	0.69760	41.817	0.91555	1046.7	325.55
26.400	0.73197	41.675	0.91261	1103.4	324.51
26.600	0.76780	41.533	0.90961	1162.4	323.45
26.800	0.80514	41.390	0.90656	1223.5	322.36
27.000	0.84400	41.245	0.90346	1287.0	321.26
27.200	0.88430	41.099	0.90031	1352.9	320.14
27.400	0.92605	40.952	0.89711	1421.1	319.00
27.600	0.96936	40.804	0.89385	1491.0	317.83
27.800	1.01426	40.655	0.89055	1564.9	316.65
28.000	1.06076	40.505	0.88720	1640.7	315.44
28.200	1.10894	40.354	0.88379	1719.0	314.22
28.400	1.15774	40.202	0.88034	1799.9	312.97
28.600	1.20712	40.048	0.87684	1883.0	311.69
28.800	1.25704	39.894	0.87329	1969.9	310.40
29.000	1.30751	39.739	0.86970	2059.1	309.08
29.200	1.35859	39.582	0.86606	2151.1	307.74
29.400	1.41024	39.424	0.86237	2245.9	306.37
29.600	1.46250	39.266	0.85864	2343.7	304.98
29.800	1.51536	39.106	0.85486	2444.4	303.56
30.000	1.56873	38.945	0.85104	2548.2	302.12

Appendix 3. Distribution of Vapor Stream Flow Rate,
Liquid Stream Flow Rate, Temperature,
Vapor Composition and Liquid Composition
..... Case 1 and Case 2

(Case 1)

***** VAPOR FLOW RATE *****

1	0.0	2	625.000	3	624.442	4	624.067	5	623.811
6	623.632	7	623.503	8	623.406	9	623.325	10	623.262
11	623.201	12	623.141	13	623.076	14	623.010	15	622.933
16	622.845	17	622.744	18	622.626	19	622.488	20	622.327
21	622.139	22	621.919	23	621.662	24	621.362	25	621.014
26	620.612	27	620.140	28	619.516	29	619.008	30	618.317
31	617.527	32	616.862	33	615.687	34	614.608	35	613.424
36	612.133	37	610.737	38	609.241	39	607.650	40	605.975
41	605.644	42	605.437	43	605.229	44	605.012	45	604.784
46	604.542	47	604.284	48	604.009	49	603.716	50	603.403
51	603.072	52	602.721	53	602.354	54	601.969	55	601.569
56	601.156	57	600.731	58	600.250	59	599.859	60	599.416
61	598.972	62	598.531	63	598.092	64	597.660	65	597.235
66	596.819	67	596.411	68	596.010	69	595.615	70	595.222
71	594.827	72	594.424	73	594.007	74	593.564	75	593.085
76	592.555	77	591.959	78	591.280	79	590.496	80	589.595

***** LIQUID FLOW RATE *****

1	600.000	2	599.442	3	599.067	4	598.811	5	598.632
6	598.503	7	598.406	8	598.329	9	598.262	10	598.201
11	598.141	12	598.076	13	598.010	14	597.933	15	597.845
16	597.744	17	597.626	18	597.488	19	597.327	20	597.139
21	596.919	22	596.662	23	596.362	24	596.014	25	595.612
26	595.145	27	594.616	28	594.008	29	593.317	30	592.537
31	591.662	32	590.607	33	589.600	34	588.424	35	587.133
36	585.727	37	584.241	38	582.650	39	580.975	40	680.644
41	680.427	42	680.229	43	680.012	44	679.784	45	679.542
46	679.234	47	679.009	48	678.716	49	678.403	50	678.072
51	677.721	52	677.354	53	676.969	54	676.569	55	676.156
56	675.721	57	675.298	58	674.859	59	674.416	60	673.972
61	673.531	62	673.092	63	672.660	64	672.235	65	671.819
66	671.411	67	671.010	68	670.615	69	670.222	70	669.827
71	669.424	72	669.007	73	668.564	74	668.085	75	667.555
76	666.959	77	666.280	78	665.496	79	664.595	80	75.0000

***** TEMPERATURE *****

1	23.5612	2	23.5924	3	23.6134	4	23.6277	5	23.6375
6	23.6443	7	23.6492	8	23.6528	9	23.6555	10	23.6577
11	23.6596	12	23.6614	13	23.6631	14	23.6649	15	23.6668
16	23.6689	17	23.6713	18	23.6740	19	23.6772	20	23.6809
21	23.6853	22	23.6904	23	23.6962	24	23.7022	25	23.7112
26	23.7205	27	23.7312	28	23.7436	29	23.7573	30	23.7741
31	23.7926	32	23.8134	33	23.8269	34	23.8331	35	23.8922
36	23.9243	37	23.9555	38	23.9979	39	24.0393	40	24.0837
41	24.0904	42	24.0966	43	24.1027	44	24.1089	45	24.1153
46	24.1220	47	24.1291	48	24.1366	49	24.1446	50	24.1532
51	24.1522	52	24.1719	53	24.1819	54	24.1926	55	24.2037
56	24.2152	57	24.2271	58	24.2393	59	24.2516	60	24.2644
61	24.2772	62	24.2900	63	24.3028	64	24.3155	65	24.3281
66	24.3405	67	24.3528	68	24.3649	69	24.3770	70	24.3891
71	24.4014	72	24.4140	73	24.4271	74	24.4411	75	24.4564
76	24.4732	77	24.4923	78	24.5145	79	24.5399	80	24.5694

JAERI-M 9238

***** COMPOSITION (VAFOR) *****

1	0.123424E-02	0.617742E-01	0.446305E-01	0.891553	0.304312E-03	0.582942E-07
2	0.541680E-03	0.417563E-01	0.271716E-01	0.919499	0.102613E-02	0.918244E-07
3	0.248271E-03	0.285476E-01	0.309523E-01	0.928968	0.128582E-02	0.141138E-06
4	0.125047E-03	0.194461E-01	0.258802E-01	0.952454	0.159074E-02	0.213515E-06
5	0.725912E-04	0.142936E-01	0.213032E-01	0.961779	0.194984E-02	0.319661E-06
6	0.521750E-04	0.100295E-01	0.185870E-01	0.968182	0.227268E-02	0.475252E-06
7	0.432858E-04	0.855064E-02	0.158889E-01	0.972540	0.267477E-02	0.703227E-06
8	0.395933E-04	0.789700E-02	0.139639E-01	0.975424	0.346783E-02	0.103719E-05
9	0.380583E-04	0.617114E-02	0.123768E-01	0.977244	0.417021E-02	0.152621E-05
10	0.374173E-04	0.580197E-02	0.111310E-01	0.979241	0.500232E-02	0.224205E-05
11	0.371471E-04	0.520702E-02	0.101955E-01	0.978604	0.598817E-02	0.328950E-05
12	0.370212E-04	0.496931E-02	0.989215E-02	0.978439	0.715610E-02	0.432176E-05
13	0.369793E-04	0.481509E-02	0.879483E-02	0.977806	0.853920E-02	0.706192E-05
14	0.369544E-04	0.471184E-02	0.882732E-02	0.978730	0.101769E-01	0.103355E-04
15	0.369405E-04	0.465589E-02	0.796093E-02	0.975216	0.121127E-01	0.151152E-04
16	0.369310E-04	0.461504E-02	0.787222E-02	0.973249	0.144014E-01	0.220921E-04
17	0.369232E-04	0.458791E-02	0.744860E-02	0.970792	0.171037E-01	0.322647E-04
18	0.369155E-04	0.4560927E-02	0.726714E-02	0.9687789	0.202901E-01	0.470826E-04
19	0.369074E-04	0.455581E-02	0.712400E-02	0.964173	0.240422E-01	0.686427E-04
20	0.368984E-04	0.454588E-02	0.700254E-02	0.959858	0.284528E-01	0.999706E-04
21	0.368918E-04	0.453648E-02	0.691397E-02	0.954741	0.336256E-01	0.145416E-03
22	0.368853E-04	0.452824E-02	0.683490E-02	0.948709	0.396788E-01	0.211219E-03
23	0.368827E-04	0.451938E-02	0.676699E-02	0.941623	0.467410E-01	0.306303E-03
24	0.368867E-04	0.451118E-02	0.670870E-02	0.933346	0.549523E-01	0.443325E-03
25	0.368823E-04	0.450150E-02	0.665123E-02	0.923706	0.644624E-01	0.640231E-03
26	0.368871E-04	0.449385E-02	0.659820E-02	0.912829	0.754250E-01	0.922179E-03
27	0.368828E-04	0.447929E-02	0.654554E-02	0.899620	0.879924E-01	0.132427E-02
28	0.368754E-04	0.446424E-02	0.649165E-02	0.884808	0.102209	0.189504E-02
29	0.3687215E-04	0.444820E-02	0.643504E-02	0.867897	0.118495	0.270110E-02
30	0.368640E-04	0.442996E-02	0.637443E-02	0.848688	0.136839	0.328323E-02
31	0.368614E-04	0.440930E-02	0.630838E-02	0.827086	0.156773	0.340897E-02
32	0.3685930E-04	0.438808E-02	0.623732E-02	0.802899	0.170824	0.758892E-02
33	0.3685384E-04	0.436600E-02	0.615924E-02	0.776125	0.202743	0.105759E-01
34	0.368471E-04	0.433110E-02	0.607414E-02	0.748753	0.221150	0.146282E-01
35	0.368402E-04	0.429922E-02	0.598172E-02	0.714856	0.254784	0.200643E-01
36	0.368342E-04	0.426440E-02	0.588202E-02	0.680615	0.281940	0.272655E-01
37	0.3682817E-04	0.422883E-02	0.577519E-02	0.644298	0.308990	0.365739E-01
38	0.368221E-04	0.419300E-02	0.566177E-02	0.608264	0.335352	0.487806E-01
39	0.3681632E-04	0.414279E-02	0.554247E-02	0.567037	0.359142	0.641012E-01
40	0.368116E-04	0.409715E-02	0.541925E-02	0.527107	0.380204	0.821377E-01
41	0.368080E-04	0.404727E-02	0.529915E-02	0.523532	0.398560	0.836613E-01
42	0.3680478E-04	0.400392E-02	0.525653E-02	0.519010	0.391283	0.842304E-01
43	0.3680104E-04	0.395716E-02	0.520851E-02	0.512619	0.397499	0.847961E-01
44	0.3679748E-04	0.391074E-02	0.523098E-02	0.507406	0.404076	0.853931E-01
45	0.3679374E-04	0.382240E-02	0.518801E-02	0.500336	0.411182	0.860274E-01
46	0.3678974E-04	0.384443E-02	0.515402E-02	0.492562	0.418174	0.867075E-01
47	0.3678477E-04	0.387830E-02	0.512170E-02	0.483932	0.427192	0.874235E-01
48	0.3677776E-04	0.389900E-02	0.507887E-02	0.474480	0.436178	0.882224E-01
49	0.3676979E-04	0.3977247E-04	0.502373E-03	0.464197	0.445653	0.890678E-01
50	0.3682299E-03	0.389743E-04	0.625016E-03	0.452085	0.4456251	0.899752E-01
51	0.3680934E-03	0.417932E-04	0.448392E-03	0.441138	0.467873	0.909482E-01
52	0.164150E-03	0.272427E-04	0.396490E-03	0.421371	0.479222	0.919841E-01
53	0.705901E-03	0.177157E-04	0.314842E-03	0.414604	0.491784	0.920342E-01
54	0.302903E-03	0.114932E-04	0.249038E-03	0.400465	0.505028	0.924282E-01
55	0.129681E-03	0.743676E-05	0.196866E-03	0.383404	0.518914	0.954775E-01
56	0.582899E-10	0.479910E-05	0.154707E-03	0.369691	0.333392	0.967703E-01
57	0.225991E-10	0.208529E-05	0.121399E-03	0.253267	0.548385	0.981241E-01
58	0.100292E-10	0.198163E-05	0.949576E-04	0.336552	0.563512	0.995418E-01
59	0.425114E-11	0.128778E-05	0.740557E-04	0.219233	0.579576	0.101019
60	0.179716E-11	0.808529E-06	0.575613E-04	0.301817	0.595563	0.102562
61	0.757704E-12	0.514194E-06	0.445926E-04	0.284123	0.611660	0.104173
62	0.318589E-12	0.325959E-06	0.344204E-04	0.266265	0.627735	0.105886
63	0.123591E-12	0.205993E-06	0.264944E-04	0.245666	0.643657	0.107655
64	0.558855E-13	0.129777E-06	0.203182E-04	0.221140	0.659280	0.109563
65	0.232989E-13	0.815094E-07	0.155284E-04	0.213900	0.674457	0.111626
66	0.959099E-14	0.510374E-07	0.118269E-04	0.197050	0.689039	0.113911
67	0.402024E-14	0.318605E-07	0.897625E-05	0.180680	0.702663	0.116448
68	0.166342E-14	0.198292E-07	0.678872E-05	0.164870	0.715759	0.119366
69	0.686489E-15	0.123742E-07	0.511548E-05	0.149687	0.727538	0.122772
70	0.282586E-15	0.761152E-08	0.383993E-05	0.135161	0.727998	0.126929
71	0.116025E-15	0.469277E-08	0.287066E-05	0.121290	0.746866	0.131743
72	0.475137E-16	0.288487E-08	0.213644E-05	0.106238	0.753879	0.137778
73	0.194051E-16	0.176661E-08	0.153195E-05	0.960368E-01	0.758666	0.145277
74	0.790248E-17	0.107726E-08	0.116446E-05	0.844874E-01	0.760856	0.156657
75	0.320785E-17	0.653551E-09	0.651013E-06	0.736817E-01	0.755875	0.166439
76	0.129717E-17	0.392873E-09	0.516294E-06	0.636054E-01	0.755125	0.181265
77	0.521848E-18	0.235232E-09	0.441221E-06	0.542407E-01	0.745874	0.199883
78	0.208263E-18	0.138639E-09	0.311110E-06	0.455663E-01	0.731259	0.223168
79	0.818963E-19	0.800529E-10	0.214624E-06	0.375624E-01	0.710248	0.252094
80	0.311856E-19	0.446735E-10	0.142467E-06	0.302140E-01	0.682118	0.287663

***** COMPOSITION (LIQUID) *****

1	0.541704E-03	0.417378E-01	0.371738E-01	0.919501	0.102603E-02	0.918302E-07
2	0.225944E-02	0.279979E-01	0.306945E-01	0.929775	0.129650E-02	0.142196E-06
3	0.107665E-02	0.190367E-01	0.254103E-01	0.953331	0.161412E-02	0.218601E-06
4	0.540507E-04	0.122117E-01	0.211626E-01	0.963542	0.193819E-02	0.329185E-06
5	0.317376E-04	0.953330E-02	0.177506E-01	0.970219	0.242970E-02	0.491254E-06
6	0.224692E-04	0.718285E-02	0.151049E-01	0.974756	0.295167E-02	0.728794E-06
7	0.165181E-04	0.564922E-02	0.129970E-01	0.977765	0.356946E-02	0.107673E-05
8	0.170159E-04	0.468441E-02	0.113413E-01	0.979655	0.430110E-02	0.158620E-05
9	0.163458E-04	0.407037E-02	0.100422E-01	0.980700	0.516791E-02	0.232020E-05
10	0.150524E-04	0.357953E-02	0.902577E-02	0.981079	0.619488E-02	0.342223E-05
11	0.159395E-04	0.343079E-02	0.823135E-02	0.980905	0.741151E-02	0.501906E-05
12	0.155535E-04	0.327205E-02	0.760855E-02	0.980244	0.885228E-02	0.735356E-05
13	0.153194E-04	0.311733E-02	0.712169E-02	0.979124	0.105576E-01	0.107641E-04
14	0.153279E-04	0.310421E-02	0.673983E-02	0.977549	0.125750E-01	0.157450E-04
15	0.152251E-04	0.308006E-02	0.643998E-02	0.975590	0.149592E-01	0.230130E-04
16	0.153134E-04	0.302351E-02	0.620357E-02	0.972939	0.177743E-01	0.336116E-04
17	0.158014E-04	0.301379E-02	0.601634E-02	0.969811	0.210938E-01	0.490502E-04
18	0.157751E-04	0.299941E-02	0.586690E-02	0.965644	0.250027E-01	0.715138E-04
19	0.157731E-04	0.298811E-02	0.574525E-02	0.961548	0.295954E-01	0.104152E-03
20	0.157559E-04	0.297335E-02	0.564734E-02	0.956220	0.349369E-01	0.151500E-03
21	0.157359E-04	0.295920E-02	0.556445E-02	0.949927	0.412925E-01	0.220063E-03
22	0.157126E-04	0.295995E-02	0.549020E-02	0.942560	0.486517E-01	0.219136E-03
23	0.156856E-04	0.295022E-02	0.542678E-02	0.934935	0.572077E-01	0.461923E-03
24	0.156342E-04	0.293903E-02	0.537124E-02	0.923990	0.671170E-01	0.667090E-03
25	0.156179E-04	0.292867E-02	0.531511E-02	0.912241	0.785403E-01	0.960892E-03
26	0.155757E-04	0.291261E-02	0.528927E-02	0.899795	0.916371E-01	0.127992E-02
27	0.155272E-04	0.289264E-02	0.520193E-02	0.883354	0.108257	0.197476E-02
28	0.154715E-04	0.287022E-02	0.514160E-02	0.865723	0.123427	0.281474E-02
29	0.154078E-04	0.285713E-02	0.507694E-02	0.845717	0.142340	0.392257E-02
30	0.153354E-04	0.283800E-02	0.500665E-02	0.823179	0.163329	0.563692E-02
31	0.152555E-04	0.282322E-02	0.493039E-02	0.797957	0.186352	0.750916E-02
32	0.151614E-04	0.277743E-02	0.484656E-02	0.770074	0.211263	0.102232E-01
33	0.150587E-04	0.274445E-02	0.475573E-02	0.729444	0.237792	0.152432E-01
34	0.149445E-04	0.270306E-02	0.465874E-02	0.700176	0.265525	0.209163E-01
35	0.148194E-04	0.266321E-02	0.454935E-02	0.670460	0.292881	0.284262E-01
36	0.146823E-04	0.262501E-02	0.442931E-02	0.633570	0.322115	0.362395E-01
37	0.145337E-04	0.257852E-02	0.4301359E-02	0.592900	0.359326	0.505673E-01
38	0.143739E-04	0.252916E-02	0.416545E-02	0.551922	0.374489	0.668505E-01
39	0.142034E-04	0.247595E-02	0.402822E-02	0.510225	0.396504	0.867129E-01
40	0.140233E-04	0.242099E-02	0.389144E-02	0.468457	0.414275	0.110917
41	0.613555E-05	0.195177E-02	0.371257E-02	0.464416	0.419255	0.111414
42	0.266172E-05	0.106427E-02	0.256711E-02	0.459607	0.424822	0.111926
43	0.117329E-05	0.710339E-03	0.207389E-02	0.454052	0.430892	0.112466
44	0.510117E-06	0.404775E-03	0.162752E-02	0.447801	0.437022	0.113029
45	0.222130E-06	0.206412E-03	0.124697E-02	0.440823	0.443370	0.113552
46	0.765035E-07	0.201744E-03	0.102875E-02	0.433128	0.451277	0.114313
47	0.418763E-07	0.128389E-03	0.385757E-03	0.424698	0.459278	0.115022
48	0.181542E-07	0.869300E-04	0.695959E-03	0.415524	0.467857	0.115787
49	0.784775E-08	0.569051E-04	0.585957E-03	0.405629	0.477154	0.116504
50	0.338309E-08	0.371731E-04	0.442802E-03	0.394982	0.487056	0.117481
51	0.149589E-08	0.242295E-04	0.282642E-03	0.383606	0.497501	0.118416
52	0.627761E-09	0.157860E-04	0.279832E-03	0.371510	0.508779	0.119408
53	0.269255E-09	0.102237E-04	0.221471E-03	0.358744	0.520564	0.120463
54	0.115311E-09	0.661296E-05	0.174800E-03	0.345329	0.532221	0.121569
55	0.492473E-10	0.426714E-05	0.127569E-03	0.331225	0.545759	0.122723
56	0.209110E-10	0.274579E-05	0.107945E-03	0.316300	0.559126	0.123953
57	0.891367E-11	0.176174E-05	0.844387E-04	0.301829	0.572656	0.125228
58	0.377894E-11	0.112701E-05	0.656425E-04	0.288501	0.586873	0.126553
59	0.159742E-11	0.713790E-06	0.511756E-04	0.270912	0.601089	0.127946
60	0.673436E-12	0.457032E-06	0.398451E-04	0.256164	0.615298	0.129297
61	0.283135E-12	0.289702E-06	0.306104E-04	0.239365	0.629588	0.130917
62	0.118715E-12	0.182067E-06	0.235553E-04	0.223618	0.643856	0.132522
63	0.496418E-13	0.118225E-06	0.180956E-04	0.208020	0.657716	0.134234
64	0.207014E-13	0.724281E-07	0.135050E-04	0.192697	0.671203	0.135086
65	0.860992E-14	0.452488E-07	0.105180E-04	0.177713	0.684156	0.138121
66	0.357151E-14	0.283983E-07	0.796504E-05	0.163158	0.696425	0.140400
67	0.147765E-14	0.176132E-07	0.604105E-05	0.149103	0.707837	0.143004
68	0.609779E-15	0.109324E-07	0.455431E-05	0.135606	0.718347	0.146042
69	0.250992E-15	0.676343E-08	0.342101E-05	0.122712	0.727626	0.149656
70	0.103046E-15	0.417149E-08	0.255985E-05	0.110455	0.735504	0.154038
71	0.421964E-16	0.256468E-08	0.190763E-05	0.988567E-01	0.741729	0.159412
72	0.172329E-16	0.157144E-08	0.141509E-05	0.879267E-01	0.745991	0.166081
73	0.701798E-17	0.959195E-09	0.104424E-05	0.776650E-01	0.747912	0.174422
74	0.254929E-17	0.582399E-09	0.765957E-06	0.680653E-01	0.747036	0.184898
75	0.115279E-17	0.352306E-09	0.557494E-06	0.591146E-01	0.742811	0.196074
76	0.464447E-18	0.211445E-09	0.402027E-06	0.507968E-01	0.734589	0.214614
77	0.186072E-18	0.125689E-09	0.266414E-06	0.430937E-01	0.721611	0.235295
78	0.739071E-19	0.736816E-10	0.200764E-06	0.259878E-01	0.703041	0.260971
79	0.289036E-19	0.422820E-10	0.137600E-06	0.294642E-01	0.677991	0.292545
80	0.109366E-19	0.234265E-10	0.912790E-07	0.235120E-01	0.645598	0.330890

(Case 2)

***** VAPOR FLOW RATE *****

1	0.0	2	622.549	3	622.549	4	622.545	5	621.842
6	621.542	7	620.977	8	620.704	9	620.494	10	620.324
11	620.182	12	620.056	13	619.937	14	619.818	15	619.694
16	619.581	17	619.431	18	619.243	19	619.051	20	618.828
21	618.576	22	618.271	23	617.926	24	617.515	25	617.044
26	618.499	27	618.076	28	617.151	29	614.326	30	613.388
31	616.327	32	611.122	33	609.799	34	608.317	35	606.883
36	604.899	37	602.542	38	601.846	39	598.595	40	596.202
41	595.742	42	595.299	43	595.018	44	594.644	45	594.273
46	593.887	47	593.491	48	593.056	49	592.604	50	592.126
51	591.822	52	591.031	53	591.531	54	589.947	55	589.339
56	588.709	57	588.151	58	587.397	59	586.721	60	586.036
61	585.347	62	584.851	63	583.989	64	583.286	65	582.610
66	581.544	67	581.086	68	580.626	69	579.992	70	579.350
71	578.702	72	578.341	73	577.351	74	576.622	75	575.833
76	574.960	77	574.571	78	573.855	79	571.562	80	570.662

***** LIQUID FLOW RATE *****

1	600.000	2	597.549	3	597.545	4	596.842	5	596.342
6	595.976	7	595.714	8	595.494	9	595.324	10	595.182
11	595.056	12	594.937	13	594.818	14	594.694	15	594.560
16	594.911	17	594.843	18	594.651	19	593.828	20	593.570
21	593.270	22	592.926	23	592.515	24	592.044	25	591.499
26	590.872	27	590.151	28	589.326	29	588.288	30	587.327
31	588.123	32	584.799	33	583.317	34	581.683	35	579.894
36	577.948	37	575.846	38	573.595	39	571.202	40	670.742
41	670.309	42	670.018	43	669.644	44	669.273	45	668.887
46	668.483	47	668.056	48	667.604	49	667.126	50	666.622
51	666.090	52	665.531	53	664.947	54	664.339	55	663.709
56	663.061	57	662.397	58	661.721	59	661.036	60	660.347
61	659.853	62	657.397	63	655.286	64	653.610	65	652.944
66	656.285	67	655.036	68	654.992	69	654.250	70	653.702
71	653.041	72	652.351	73	651.622	74	650.833	75	649.960
76	648.578	77	647.038	78	645.382	79	645.062	80	75.0000

***** TEMPERATURE *****

1	23.5612	2	23.6324	3	23.6135	4	23.6278	5	23.6376
6	23.6444	7	23.6497	8	23.6525	9	23.6557	10	23.6586
11	23.6599	12	23.6617	13	23.6635	14	23.6653	15	23.6673
16	23.6695	17	23.6712	18	23.6730	19	23.6753	20	23.6822
21	23.6868	22	23.6901	23	23.6953	24	23.7026	25	23.7140
26	23.7237	27	23.7149	28	23.7478	29	23.7925	30	23.7793
31	23.7883	32	23.8197	33	23.8457	34	23.8703	35	23.8998
36	23.9222	37	23.9578	38	24.0059	39	24.0471	40	24.0912
41	24.1301	42	24.1697	43	24.1106	44	24.1169	45	24.1233
46	24.1301	47	24.1371	48	24.1458	49	24.1526	50	24.1613
51	24.1712	52	24.1797	53	24.1898	54	24.2003	55	24.2112
56	24.2223	57	24.2341	58	24.2460	59	24.2581	60	24.2705
61	24.2629	62	24.2750	63	24.2877	64	24.3000	65	24.3122
66	24.3242	67	24.3361	68	24.3480	69	24.3798	70	24.3916
71	24.4025	72	24.4150	73	24.4286	74	24.4424	75	24.4574
76	24.4741	77	24.4925	78	24.5148	79	24.5400	80	24.5694

***** COMPOSITION (LIQUID) *****

Table with 10 columns of numerical data representing composition values for elements 1 through 51. The table is organized into two main sections, one for elements 1-51 and another for elements 52-80.

Table with 10 columns of numerical data representing composition values for elements 52 through 80. This section continues the data from the previous table.

***** COMPOSITION (VAPOX) *****

1	0.123432E-02	0.617770E-01	0.446334E-01	0.891499	0.254651E-03	0.620713E-07
2	0.241709E-03	0.417579E-01	0.371736E-01	0.919493	0.109066E-02	0.977728E-07
3	0.248297E-03	0.255440E-01	0.309537E-01	0.938880	0.136655E-02	0.150267E-06
4	0.125101E-03	0.199990E-01	0.258821E-01	0.952351	0.159053E-02	0.227316E-06
5	0.755149E-04	0.148988E-01	0.218068E-01	0.961645	0.207197E-02	0.334287E-06
6	0.222398E-04	0.115587E-01	0.153820E-01	0.9768025	0.252207E-02	0.505828E-06
7	0.434184E-04	0.788992E-02	0.159960E-01	0.972241	0.305464E-02	0.748338E-06
8	0.297289E-04	0.710988E-02	0.139752E-01	0.975187	0.368347E-02	0.110347E-05
9	0.382148E-04	0.618582E-02	0.123884E-01	0.975957	0.442870E-02	0.162341E-05
10	0.375215E-04	0.595222E-02	0.111447E-01	0.977901	0.531126E-02	0.238427E-05
11	0.374175E-04	0.582488E-02	0.101713E-01	0.978207	0.635661E-02	0.349730E-05
12	0.372883E-04	0.493090E-02	0.940968E-02	0.977986	0.759442E-02	0.512473E-05
13	0.371582E-04	0.443546E-02	0.881390E-02	0.977245	0.905969E-02	0.750325E-05
14	0.371362E-04	0.478588E-02	0.834788E-02	0.976072	0.107923E-01	0.109777E-04
15	0.371242E-04	0.495789E-02	0.792232E-02	0.974443	0.128428E-01	0.160695E-04
16	0.371173E-04	0.448397E-02	0.755544E-02	0.972343	0.152829E-01	0.234475E-04
17	0.371125E-04	0.460090E-02	0.746959E-02	0.969728	0.181205E-01	0.342290E-04
18	0.371057E-04	0.459041E-02	0.729578E-02	0.966542	0.214868E-01	0.499252E-04
19	0.371007E-04	0.437714E-02	0.714773E-02	0.962716	0.254475E-01	0.727476E-04
20	0.370948E-04	0.438881E-02	0.703243E-02	0.958161	0.300988E-01	0.105833E-03
21	0.370889E-04	0.438881E-02	0.693788E-02	0.952762	0.355489E-01	0.153917E-03
22	0.370830E-04	0.438881E-02	0.685386E-02	0.945412	0.419186E-01	0.223901E-03
23	0.370771E-04	0.434170E-02	0.679447E-02	0.938963	0.493410E-01	0.323894E-03
24	0.370712E-04	0.438881E-02	0.672984E-02	0.933072	0.579561E-01	0.468066E-03
25	0.370653E-04	0.438881E-02	0.667398E-02	0.928016	0.679249E-01	0.675244E-03
26	0.370594E-04	0.431230E-02	0.662824E-02	0.922477	0.793827E-01	0.971472E-03
27	0.370535E-04	0.430057E-02	0.658388E-02	0.917007	0.924931E-01	0.139325E-02
28	0.370476E-04	0.430057E-02	0.654040E-02	0.911798	0.107398	0.199087E-02
29	0.370417E-04	0.434712E-02	0.649868E-02	0.906201	0.124185	0.283293E-02
30	0.370358E-04	0.438881E-02	0.645888E-02	0.900214	0.142951	0.401207E-02
31	0.370299E-04	0.443851E-02	0.642072E-02	0.893959	0.163995	0.565094E-02
32	0.370240E-04	0.444111E-02	0.638592E-02	0.887926	0.186380	0.791085E-02
33	0.370181E-04	0.443882E-02	0.635376E-02	0.882163	0.210767	0.109982E-01
34	0.370122E-04	0.443874E-02	0.632412E-02	0.876771	0.236627	0.151721E-01
35	0.370063E-04	0.443882E-02	0.629748E-02	0.871560	0.263997	0.205238E-01
36	0.370004E-04	0.442982E-02	0.627348E-02	0.866520	0.290794	0.281203E-01
37	0.369945E-04	0.443881E-02	0.625197E-02	0.861643	0.317771	0.377097E-01
38	0.369886E-04	0.442342E-02	0.623289E-02	0.856949	0.346549	0.500020E-01
39	0.369827E-04	0.443881E-02	0.621585E-02	0.852544	0.387142	0.655000E-01
40	0.369768E-04	0.443881E-02	0.620088E-02	0.848423	0.437509	0.858666E-01
41	0.369709E-04	0.442342E-02	0.618778E-02	0.844571	0.495182	0.115871E-01
42	0.369650E-04	0.442342E-02	0.617681E-02	0.840978	0.559986	0.168580E-01
43	0.369591E-04	0.442342E-02	0.616796E-02	0.837623	0.635196	0.234847E-01
44	0.369532E-04	0.439788E-02	0.616119E-02	0.834478	0.719790	0.317777E-01
45	0.369473E-04	0.439788E-02	0.615652E-02	0.831462	0.813050	0.419050
46	0.369414E-04	0.439788E-02	0.615292E-02	0.828576	0.914614	0.545228E-01
47	0.369355E-04	0.439788E-02	0.615038E-02	0.825814	1.022968	0.692142E-01
48	0.369296E-04	0.439788E-02	0.614788E-02	0.823178	1.137613	0.860304E-01
49	0.369237E-04	0.439788E-02	0.614542E-02	0.820668	1.258049	0.1049050E-01
50	0.369178E-04	0.439788E-02	0.614300E-02	0.818283	1.384766	0.139399E-01
51	0.369119E-04	0.442236E-04	0.614062E-02	0.815993	1.517263	0.185275E-01
52	0.369060E-04	0.442236E-04	0.613828E-02	0.813787	1.656041	0.244160E-01
53	0.369001E-04	0.442236E-04	0.613598E-02	0.811655	1.800699	0.316765E-01
54	0.368942E-04	0.442236E-04	0.613372E-02	0.809586	1.951847	0.404675E-01
55	0.368883E-04	0.442236E-04	0.613150E-02	0.807570	2.109185	0.509485E-01
56	0.368824E-04	0.442236E-04	0.612932E-02	0.805606	2.273423	0.633700E-01
57	0.368765E-04	0.442236E-04	0.612718E-02	0.803694	2.445271	0.779825E-01
58	0.368706E-04	0.442236E-04	0.612508E-02	0.801833	2.625439	0.950460E-01
59	0.368647E-04	0.442236E-04	0.612302E-02	0.800023	2.813727	0.115063E-01
60	0.368588E-04	0.442236E-04	0.612099E-02	0.798263	3.010035	0.139646E-01
61	0.368529E-04	0.442236E-04	0.611900E-02	0.796553	3.214273	0.170899E-01
62	0.368470E-04	0.442236E-04	0.611704E-02	0.794893	3.426451	0.208420E-01
63	0.368411E-04	0.442236E-04	0.611511E-02	0.793283	3.646479	0.252921E-01
64	0.368352E-04	0.442236E-04	0.611322E-02	0.791723	3.874257	0.305002E-01
65	0.368293E-04	0.442236E-04	0.611136E-02	0.790213	4.109685	0.365363E-01
66	0.368234E-04	0.442236E-04	0.610953E-02	0.788753	4.352663	0.434704E-01
67	0.368175E-04	0.442236E-04	0.610774E-02	0.787343	4.603091	0.513725E-01
68	0.368116E-04	0.442236E-04	0.610598E-02	0.785983	4.860869	0.603226E-01
69	0.368057E-04	0.442236E-04	0.610425E-02	0.784673	5.125897	0.704107E-01
70	0.368000E-04	0.442236E-04	0.610255E-02	0.783413	5.398075	0.817168E-01
71	0.367943E-04	0.442236E-04	0.610088E-02	0.782203	5.677303	0.943109E-01
72	0.367886E-04	0.442236E-04	0.609924E-02	0.781043	5.963581	0.108121E-01
73	0.367829E-04	0.442236E-04	0.609762E-02	0.780000	6.256919	0.128103E-01
74	0.367772E-04	0.442236E-04	0.609602E-02	0.779000	6.557317	0.153065E-01
75	0.367715E-04	0.442236E-04	0.609444E-02	0.778050	6.864765	0.182907E-01
76	0.367658E-04	0.442236E-04	0.609288E-02	0.777150	7.179263	0.216529E-01
77	0.367601E-04	0.442236E-04	0.609134E-02	0.776300	7.500811	0.253931E-01
78	0.367544E-04	0.442236E-04	0.608982E-02	0.775450	7.829409	0.295113E-01
79	0.367487E-04	0.442236E-04	0.608832E-02	0.774650	8.165057	0.340175E-01
80	0.367430E-04	0.442236E-04	0.608684E-02	0.773850	8.507755	0.389117E-01

Appendix 4. Distribution of Vapor Stream Flow Rate,
Liquid Stream Flow Rate, Temperature,
Vapor Composition and Liquid Composition
..... Case 2

***** VAPOR FLOW RATE *****

1	0.0	2	625.000	3	623.579	4	622.581	5	621.866
6	621.343	7	620.948	8	620.639	9	620.388	10	620.173
11	619.979	12	619.794	13	619.610	14	619.421	15	619.219
16	618.999	17	618.756	18	618.483	19	618.177	20	617.831
21	617.440	22	616.998	23	616.499	24	615.926	25	615.304
26	614.596	27	613.806	28	612.926	29	611.952	30	610.882
31	609.708	32	608.427	33	607.038	34	605.540	35	603.932
36	602.215	37	600.392	38	598.464	39	596.427	40	594.318
41	593.843	42	593.479	43	593.128	44	592.777	45	592.425
46	592.061	47	591.682	48	591.286	49	590.871	50	590.436
51	589.979	52	589.500	53	589.000	54	588.479	55	587.939
56	587.383	57	586.809	58	586.224	59	585.626	60	585.021
61	584.410	62	583.797	63	583.183	64	582.571	65	581.961
66	581.356	67	580.754	68	580.155	69	579.556	70	578.952
71	578.339	72	577.707	73	577.047	74	576.344	75	575.583
76	574.744	77	573.802	78	572.731	79	571.504	80	570.091

***** LIQUID FLOW RATE *****

1	600.000	2	598.579	3	597.581	4	596.866	5	596.343
6	595.948	7	595.639	8	595.388	9	595.173	10	594.979
11	594.794	12	594.610	13	594.421	14	594.219	15	593.999
16	593.756	17	593.483	18	593.177	19	592.831	20	592.440
21	591.998	22	591.499	23	590.936	24	590.304	25	589.596
26	588.806	27	587.926	28	586.953	29	585.882	30	584.708
31	583.427	32	582.038	33	580.540	34	578.932	35	577.215
36	575.392	37	573.464	38	571.437	39	569.318	40	668.843
41	668.479	42	668.128	43	667.777	44	667.425	45	667.061
46	666.683	47	666.236	48	665.871	49	665.436	50	664.979
51	664.500	52	664.000	53	663.479	54	662.929	55	662.383
56	661.809	57	661.224	58	660.626	59	660.021	60	659.410
61	658.797	62	658.183	63	657.571	64	656.961	65	656.356
66	655.754	67	655.155	68	654.556	69	653.952	70	653.339
71	652.707	72	652.047	73	651.344	74	650.583	75	649.744
76	648.802	77	647.731	78	646.504	79	645.091	80	75.0000

***** TEMPERATURE *****

1	23.5582	2	23.5902	3	23.6121	4	23.6272	5	23.6378
6	23.6453	7	23.6509	8	23.6552	9	23.6587	10	23.6617
11	23.6645	12	23.6671	13	23.6699	14	23.6728	15	23.6759
16	23.6794	17	23.6823	18	23.6877	19	23.6927	20	23.6984
21	23.7049	22	23.7122	23	23.7205	24	23.7299	25	23.7405
26	23.7525	27	23.7659	28	23.7809	29	23.7975	30	23.8159
31	23.8363	32	23.8586	33	23.8829	34	23.9092	35	23.9379
36	23.9687	37	24.0016	38	24.0367	39	24.0738	40	24.1130
41	24.1200	42	24.1264	43	24.1326	44	24.1388	45	24.1451
46	24.1516	47	24.1582	48	24.1655	49	24.1730	50	24.1809
51	24.1892	52	24.1980	53	24.2072	54	24.2165	55	24.2267
56	24.2370	57	24.2476	58	24.2585	59	24.2696	60	24.2809
61	24.2922	62	24.3037	63	24.3152	64	24.3266	65	24.3381
66	24.3494	67	24.3608	68	24.3721	69	24.3834	70	24.3948
71	24.4065	72	24.4185	73	24.4212	74	24.4447	75	24.4594
76	24.4756	77	24.4939	78	24.5148	79	24.5389	80	24.5667

***** COMPOSITION (VAPOR) *****

1	0.127836E-02	0.611949E-01	0.442236E-01	0.890860	0.244724E-02	0.489315E-06
2	0.541742E-03	0.417602E-01	0.371754E-01	0.917479	0.304286E-02	0.731739E-06
3	0.240339E-03	0.287990E-01	0.312308E-01	0.936008	0.372197E-02	0.107027E-05
4	0.118206E-03	0.202737E-01	0.263292E-01	0.948779	0.449897E-02	0.154244E-05
5	0.690374E-04	0.147179E-01	0.223473E-01	0.957472	0.539068E-02	0.220061E-05
6	0.493250E-04	0.111195E-01	0.191441E-01	0.963266	0.641648E-02	0.311767E-05
7	0.414415E-04	0.879822E-02	0.165842E-01	0.966973	0.759849E-02	0.439532E-05
8	0.382916E-04	0.720504E-02	0.145475E-01	0.969135	0.896187E-02	0.617444E-05
9	0.370222E-04	0.624609E-02	0.129321E-01	0.970142	0.105355E-01	0.865126E-05
10	0.365267E-04	0.572066E-02	0.116531E-01	0.970210	0.123518E-01	0.120973E-04
11	0.363221E-04	0.533579E-02	0.106418E-01	0.969518	0.144481E-01	0.168896E-04
12	0.362372E-04	0.508215E-02	0.984244E-02	0.968144	0.166662E-01	0.235497E-04
13	0.362007E-04	0.491855E-02	0.921061E-02	0.966153	0.196541E-01	0.327996E-04
14	0.361827E-04	0.481315E-02	0.871057E-02	0.963531	0.228647E-01	0.456344E-04
15	0.361721E-04	0.474410E-02	0.831413E-02	0.960230	0.265581E-01	0.634263E-04
16	0.361641E-04	0.469828E-02	0.799597E-02	0.956374	0.308014E-01	0.880654E-04
17	0.361565E-04	0.466703E-02	0.774718E-02	0.951752	0.356680E-01	0.122139E-03
18	0.361488E-04	0.464484E-02	0.754476E-02	0.946260	0.412393E-01	0.169195E-03
19	0.361404E-04	0.462817E-02	0.738048E-02	0.940116	0.476036E-01	0.234077E-03
20	0.361309E-04	0.461458E-02	0.724539E-02	0.932923	0.548545E-01	0.323267E-03
21	0.361200E-04	0.460261E-02	0.713242E-02	0.924686	0.630919E-01	0.445956E-03
22	0.361077E-04	0.459122E-02	0.703591E-02	0.915299	0.724190E-01	0.613963E-03
23	0.360935E-04	0.457972E-02	0.695126E-02	0.904641	0.829392E-01	0.843465E-03
24	0.360774E-04	0.456757E-02	0.687483E-02	0.892605	0.947533E-01	0.115601E-02
25	0.360589E-04	0.455440E-02	0.680362E-02	0.879062	0.107955	0.158024E-02
26	0.360381E-04	0.453997E-02	0.673524E-02	0.863902	0.122624	0.215377E-02
27	0.360146E-04	0.452407E-02	0.666774E-02	0.847023	0.138819	0.292578E-02
28	0.359882E-04	0.450643E-02	0.659949E-02	0.828326	0.156568	0.395984E-02
29	0.359586E-04	0.448703E-02	0.652920E-02	0.807747	0.175660	0.532744E-02
30	0.359254E-04	0.446560E-02	0.645588E-02	0.785244	0.196632	0.716164E-02
31	0.358885E-04	0.444212E-02	0.637874E-02	0.760217	0.218758	0.956129E-02
32	0.358480E-04	0.441650E-02	0.629727E-02	0.734505	0.242044	0.126952E-01
33	0.358036E-04	0.438872E-02	0.621112E-02	0.706400	0.266207	0.167545E-01
34	0.357553E-04	0.435980E-02	0.612017E-02	0.676635	0.290880	0.219682E-01
35	0.357031E-04	0.432678E-02	0.602444E-02	0.645410	0.315599	0.286001E-01
36	0.356474E-04	0.429275E-02	0.592417E-02	0.612978	0.339818	0.369503E-01
37	0.355882E-04	0.425685E-02	0.581975E-02	0.579630	0.362907	0.473474E-01
38	0.355262E-04	0.421927E-02	0.571176E-02	0.545715	0.384181	0.601378E-01
39	0.354615E-04	0.418021E-02	0.560081E-02	0.511603	0.402915	0.756687E-01
40	0.353947E-04	0.413990E-02	0.548767E-02	0.477676	0.419393	0.942669E-01
41	0.353251E-04	0.409765E-02	0.537317E-02	0.443904	0.423950	0.943702E-01
42	0.352519E-05	0.405295E-02	0.525966E-02	0.409293	0.429781	0.954680E-01
43	0.249850E-05	0.120310E-02	0.295655E-02	0.463898	0.435862	0.960752E-01
44	0.102937E-05	0.794323E-03	0.239779E-02	0.457795	0.442304	0.967060E-01
45	0.423454E-06	0.522618E-03	0.194152E-02	0.451005	0.449164	0.973657E-01
46	0.173266E-06	0.344615E-03	0.156951E-02	0.443537	0.456484	0.980622E-01
47	0.713225E-07	0.226429E-03	0.126664E-02	0.435401	0.464301	0.988028E-01
48	0.291982E-07	0.148518E-03	0.102042E-02	0.426598	0.472643	0.995898E-01
49	0.119320E-07	0.972368E-04	0.820524E-03	0.417127	0.481525	0.100428
50	0.486697E-08	0.635405E-04	0.656459E-03	0.406996	0.490964	0.101316
51	0.198128E-08	0.414373E-04	0.527377E-03	0.396211	0.500961	0.102259
52	0.804670E-09	0.269652E-04	0.421443E-03	0.394784	0.511508	0.103258
53	0.326255E-09	0.175092E-04	0.336019E-03	0.372739	0.522593	0.104314
54	0.131945E-09	0.112412E-04	0.252676E-03	0.350105	0.534195	0.105424
55	0.522235E-10	0.732841E-05	0.212049E-03	0.346917	0.546276	0.106591
56	0.214238E-10	0.472331E-05	0.167799E-03	0.333222	0.558789	0.107814
57	0.859979E-11	0.303626E-05	0.132424E-03	0.319077	0.571691	0.109097
58	0.344291E-11	0.194647E-05	0.104215E-03	0.304545	0.584910	0.110441
59	0.137462E-11	0.124437E-05	0.817783E-04	0.295699	0.598373	0.111847
60	0.547215E-12	0.793251E-05	0.639835E-04	0.274618	0.612001	0.113319
61	0.217304E-12	0.504218E-05	0.499104E-04	0.259283	0.625702	0.114867
62	0.860333E-13	0.319560E-05	0.388136E-04	0.244082	0.639276	0.116505
63	0.339646E-13	0.201925E-05	0.300905E-04	0.228804	0.652920	0.118249
64	0.133704E-13	0.127230E-05	0.232545E-04	0.213632	0.666219	0.120129
65	0.524840E-14	0.799247E-07	0.179142E-04	0.198649	0.679152	0.122192
66	0.205437E-14	0.500605E-07	0.137557E-04	0.183936	0.691595	0.124456
67	0.801880E-15	0.312631E-07	0.105275E-04	0.169564	0.703404	0.127020
68	0.312126E-15	0.194665E-07	0.802950E-05	0.155597	0.714430	0.129964
69	0.121157E-15	0.120852E-07	0.610257E-05	0.142091	0.724502	0.133404
70	0.468996E-16	0.748002E-08	0.462064E-05	0.129091	0.733416	0.137484
71	0.181038E-16	0.461522E-08	0.348443E-05	0.116634	0.740957	0.142409
72	0.696866E-17	0.293809E-08	0.261583E-05	0.104745	0.746844	0.148407
73	0.267465E-17	0.173884E-08	0.195375E-05	0.934430E-01	0.750764	0.155796
74	0.102340E-17	0.106082E-08	0.145052E-05	0.827357E-01	0.752313	0.164948
75	0.390266E-18	0.643835E-09	0.106912E-05	0.726269E-01	0.751029	0.176346
76	0.148239E-18	0.388146E-09	0.780873E-06	0.631122E-01	0.746332	0.190549
77	0.560209E-19	0.231861E-09	0.563705E-06	0.541865E-01	0.737568	0.208243
78	0.210069E-19	0.136658E-09	0.400606E-06	0.458401E-01	0.723950	0.230207
79	0.776465E-20	0.788848E-10	0.278561E-06	0.380648E-01	0.704604	0.257333
80	0.277840E-20	0.439753E-10	0.187621E-06	0.308528E-01	0.678575	0.290569

JAERI-M 9238

***** COMPOSITION (LIQUID) *****

Table with 8 columns and 80 rows of scientific data, including values like 0.541748E-03, 0.417602E-01, etc.