



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και
Τεχνολογίας

Πτυχιακή εργασία

**Θεωρητικός υπολογισμός της πίεσης ισορροπίας συνύπαρξης
συμπυκνωμένης και αέριας φάσης σε προκαθορισμένη
θερμοκρασία για εφαρμογή σε συστήματα αέριων
αντιδράσεων πολλαπλών στοιχειακών συστατικών με σκοπό
τον αυθόρμητο αναγκαστικό ισόχωρο ισόθερμο ομοιογενή
σηματισμό του CZTS**

Όνομα φοιτητή: Λουκάς Ζάκου

Λεμεσός, Μάιος 2025

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

Πτυχιακή εργασία

Θεωρητικός υπολογισμός της πίεσης ισορροπίας συνύπαρξης
συμπυκνωμένης και αέριας φάσης σε προκαθορισμένη
θερμοκρασία για εφαρμογή σε συστήματα αέριων αντιδράσεων
τεσσάρων στοιχειακών συστατικών με σκοπό τον αυθόρμητο
αναγκαστικό ισόχωρο ισόθερμο ομοιογενή σχηματισμό του
CZTS

Όνομα φοιτητή: Λουκάς Ζάκου

Επιβλέπων καθηγητής

Δρ. Νίκος Αγκαστινιώτης

Λεμεσός, Μάιος 2025

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Λουκάς Ζάκου, 2025

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής από το τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Επιστήμης και Μηχανικής Υλικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του τμήματος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή μου Δρ. Νίκο Αγκαστινιώτης για την πολύτιμη βοήθεια του και την σωστή καθοδήγηση που μου έδειξε για να κάνω την πτυχιακή μου. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω και για τον χρόνο που αφιέρωσε σε μένα και για τις συμβουλές του για να ολοκληρώσω την προσπάθεια μου. Η αφοσίωση του και η εμπειρία του μου πρόσφεραν την στήριξη που χρειαζόμουν και ολοκλήρωσα την πτυχιακή μου επιτυχώς. Η ενθάρρυνση που μου έδινε με προωθούσε σε νέες προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν επιτυχώς. Έτσι είμαι ευγνώμων που συνεργάστηκα με τον Δρ. Νίκο Αγκαστινιώτης και αυτή η εμπειρία θα μου μείνει αξέχαστη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ενώ μεταβάλλεται η πίεση ισορροπίας συνύπαρξης συμπυκνωμένης φάσης και ατμού ανά dT , σε σταθερό όγκο στην εξίσωση Clausius-Clapeyron, ο ατμός διέρχεται μεταβολή της κατάστασης του άρα ανά dT η πίεση ισορροπίας συνύπαρξης ατμού και συμπυκνωμένης φάσης μεταβάλλεται. Ως εκ τούτου ανά dT , η εκάστοτε κατάσταση ισορροπίας συνύπαρξης και η θερμοχωρητικότητα του ατμού C_p ως ιδιότητα σε σταθερή πίεση, μεταβάλλονται αφού μεταβάλλεται η πίεση.

Η τιμή της θερμοχωρητικότητας σε σταθερή πίεση ορίζεται ως $\left(\frac{dH}{dT}\right)_p$. Άρα σε μια δεδομένη κατάσταση ισορροπίας η θερμότητα που απαιτείται για τη μεταβολή της θερμοκρασίας του ατμού σε σταθερή πίεση μπορεί να καθοριστεί από το C_p της κατάστασης. Η μεταβολή της ενθαλπίας dH και όπως αυτή προκύπτει σε σταθερή πίεση ισούται με τη θερμότητα που απορροφά ο ατμός. Η θερμότητα τούτη μπορεί να υπολογιστεί από το C_p .

Η καμπύλη του νόμου του Kirchhoff που αναφέρεται στην αέρια φάση όταν εξετάζεται η διαφορά της ενθαλπίας του αερίου και της συμπυκνωμένης φάσης που συνυπάρχουν σε ισορροπία ανά dT θεωρεί το H ως συνάρτηση του T ενώ το H θεωρείται ότι αναφέρεται σε μεταβολή σε σταθερή πίεση παρότι η πίεση ανά dT μεταβάλλεται. Παραδόξως αλλά αποδεδειγμένα, με βάση τη φυσική κατανόηση των συσχετισμών των όρων της εξίσωσης που καθορίζει τη θερμοχωρητικότητα, η μεταβολή του H ανά dT διατελεί ανεξάρτητη του μεγέθους της πίεσης του C_p πράγμα που επιτρέπει στην καμπύλη του αερίου στο νόμο του Kirchhoff να καθορίζεται ανεξάρτητα από τη πίεση του C_p ανά εκάστοτε κατάσταση ενώ η κατάσταση του ατμού κινείται ανά dT επί της καμπύλης του Kirchhoff.

ABSTRACT

While the equilibrium pressure of coexistence between the condensed phase and vapor changes with respect to dT at constant volume in the Clausius-Clapeyron equation, the vapor undergoes a change of state; thus, for each dT , the equilibrium pressure of coexistence between vapor and condensed phase varies. As a result, for each dT , or each equilibrium state of coexistence, the heat capacity of the vapor at constant pressure, C_p , as a property, also changes since the pressure itself changes.

The value of the heat capacity at constant pressure is defined as $(dH/dT)_p$. Therefore, in a given equilibrium state, the heat required to change the temperature of the vapor at constant pressure can be determined by the C_p of that state. The change in enthalpy, dH , which arises at constant pressure, equals the heat absorbed by the vapor. This heat can be calculated using C_p .

The curve described by Kirchhoff's law, which pertains to the gas phase when examining the enthalpy difference between the gas and the condensed phase that coexist in equilibrium as a function of dT , considers H as a function of T , even though H is assumed to refer to a change at constant pressure, despite the fact that the pressure varies with dT . Paradoxically, but demonstrably, based on the physical understanding of the relationships among the terms in the equation defining heat capacity, the change in H with respect to dT remains independent of the magnitude of the pressure at C_p . This allows the gas-phase curve in Kirchhoff's law to be defined independently of the pressure for C_p at each state, while the state of the vapor moves along dT along the Kirchhoff curve.

While the equilibrium pressure of coexistence between the condensed phase and vapor changes with dT at constant volume in the Clausius-Clapeyron equation, the vapor undergoes a state change; hence, the equilibrium pressure of coexistence changes accordingly with dT . Consequently, for each dT or for each coexistence equilibrium state, the heat capacity of the vapor at constant pressure, C_p , changes because the pressure changes.

The value of the heat capacity at constant pressure is defined as $(dH/dT)_p$. Thus, in a given equilibrium state, the heat needed to change the vapor's temperature at constant

pressure can be determined from the state's C_p . The enthalpy change, dH , which occurs at constant pressure, equals the heat absorbed by the vapor and can be calculated from C_p .

The Kirchhoff law curve, when applied to the gas phase and the enthalpy difference between the coexisting gas and condensed phase at equilibrium as a function of dT , considers H as a function of T , and assumes that H corresponds to a process at constant pressure, even though pressure varies with dT . Surprisingly yet verifiably, based on the physical interpretation of the terms in the equation that defines heat capacity, the variation of H with dT is independent of the pressure at C_p . This allows the gas curve in Kirchhoff's law to be determined independently of the pressure at C_p for each state, while the vapor state moves with dT along Kirchhoff's curve.