



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ

Ομάδα συγγραφής αναφοράς :

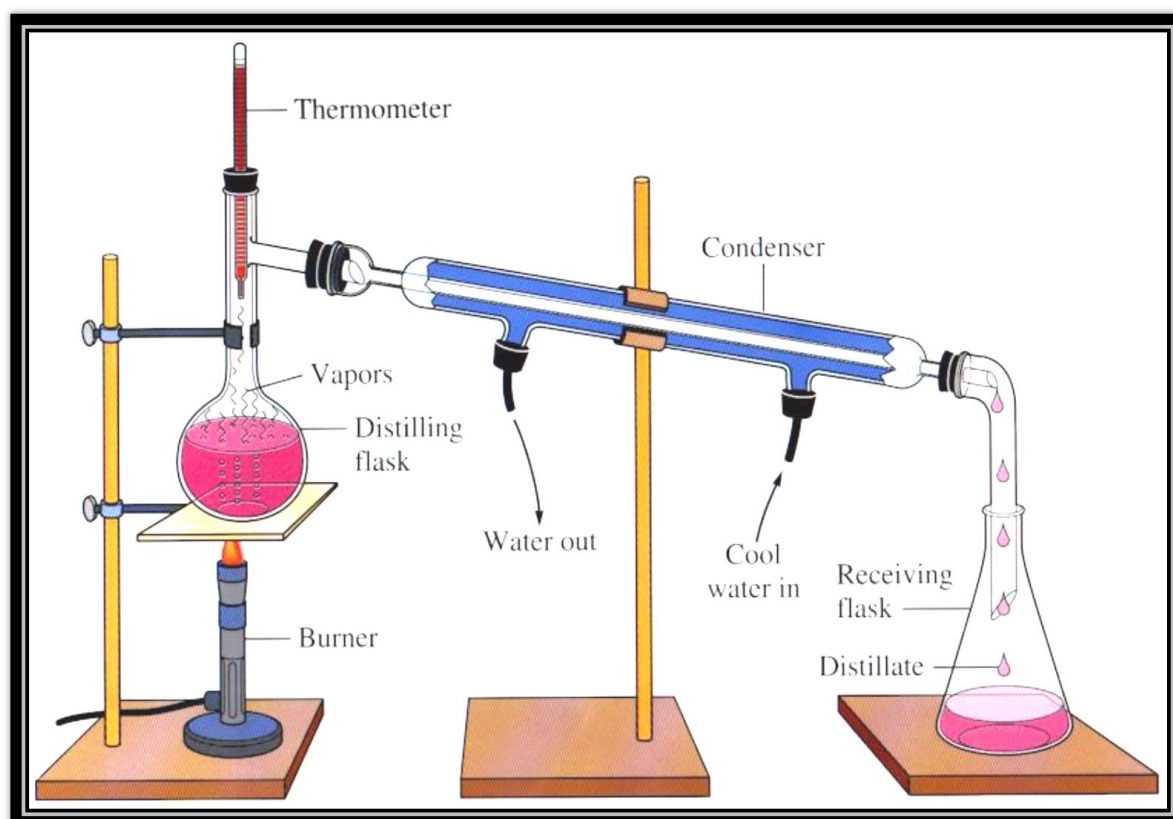
Παντής Άγγελος 2018050055

Κυριακή Θεοχάρη 2018050043

Σιγαλός Δημήτριος 2018050024

Τίτλος Άσκησης

<<ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 2^ο – ΑΠΟΣΤΑΞΗ>>



Περίληψη

Στο πείραμα γίνεται διαφορική απόσταξη υδατικού διαλύματος αιθυλικής αλκοόλης. Βάση των δεδομένων που δόθηκαν (περιεκτικότητα v/v και δείκτης διάθλασης) κατασκευάζεται η καμπύλη βαθμονόμησης του διαθλασίμετρου, και μέσω αυτής υπολογίζεται η συγκέντρωση της αιθανόλης σε καθένα από τα δεκαπέντε αποστάγματα. Μετά από κατάλληλη επεξεργασία, τα αποτελέσματα της οποίας συγκεντρώνονται στον Πίνακα 1, βρίσκεται η γραμμομοριακή σύσταση της αλκοόλης στη υγρή (x) και στην αέρια (y) φάση. Κατασκευάζεται η καμπύλη βρασμού με τα πειραματικά και τα βιβλιογραφικά δεδομένα. Γίνεται λόγος για τις διαφορές που εμφανίζουν στο διάγραμμα.

Εισαγωγή

Η **απόσταξη** αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες τεχνικές διαχωρισμού συστατικών ενός υγρού μίγματος. Χρησιμοποιείται το φαινόμενο του βρασμού, καθώς ως μέθοδος στηρίζεται στη διαφορετική θερμοκρασία υγροποίησης των συστατικών του μίγματος. Βασίζεται δηλαδή στη διαφορετική κατανομή των συστατικών του μίγματος στην υγρή του φάση και στη φάση των ατμών του.

Εφαρμόζεται στις περιπτώσεις εκείνες που όλα τα συστατικά του μίγματος είναι παρόντα και στις δύο φάσεις (ατμού και υγρού).

Στο πείραμα πραγματοποιείται **διαφορική απόσταξη** (differential distillation). Περιλαμβάνει γέμισμα ενός δοχείου βρασμού με ορισμένη ποσότητα μίγματος και στη συνέχεια θέρμανση του μίγματος και συνεχή απαγωγή και συμπύκνωση των παραγόμενων ατμών. Η θερμοκρασία του συστήματος αυξάνεται συνεχώς λόγω παροχής θερμότητας και μεταβολής της σύστασης του υγρού, ενώ η πίεση παραμένει σταθερή. Η διαφορική απόσταξη αποτελεί ένα παράδειγμα ασυνεχούς διεργασίας (batch process), καθώς δεν υπάρχει συνεχές ρεύμα τροφοδοσίας.

Για τέλεια υγρά μίγματα ισχύει ο κανόνας του Lewis – Randall: $f_i^L = x_i f_i^O$

, όπου :

f_i^L η τάση διαφυγής του i στο μίγμα και

f_i^O : η τάση διαφυγής του καθαρού i και στην T και P του μίγματος

Σε χαμηλές πιέσεις (συνήθως <10 bar) ο παραπάνω κανόνας συμπίπτει με τον νόμο του

Raoult: $P_i = x_i P_i^O$

, όπου:

P_i η μερική πίεση του i από την επιφάνεια του μίγματος

P_i^O η τάση ατμών (ή πίεση κορεσμού) του καθαρού i στην T του μίγματος

x_i το γραμμομοριακό κλάσμα του i στην υγρή φάση.

Δείκτης Διάθλασης

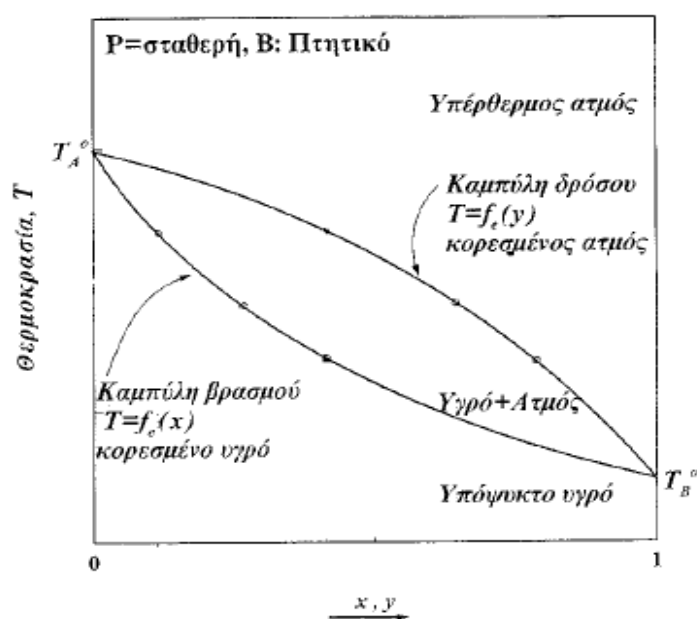
Ο δείκτης διάθλασης μιας ουσίας, n, ορίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό (c_v) ως προς την ταχύτητά του διαμέσου της ουσίας (c_m)

$$n = \frac{c_v}{c_m} = \frac{\sin(\varphi_{\pi\rho.})}{\sin(\varphi_{\delta.})}$$

, όπου $\varphi_{\pi\rho}$ είναι η γωνία πρόσπτωσης και φ_{δ} η γωνία διάθλασης.
 Το n χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της καθαρότητας του αποστάγματος και προσδιορίζεται από το διαθλασίμετρο.

Διάγραμμα σημείου ζέσεως – σύστασης (ή Διάγραμμα Βρασμού)

Είναι καμπύλες θερμοκρασίας συναρτήσεϊ γραμμομοριακού κλάσματος της υγρής και της αέριας φάσης. Αν η πίεση μπορεί να θεωρηθεί σταθερή μεταβλητή, τότε αναζητούνται οι τιμές θερμοκρασίας και σύστασης στις οποίες η ολική πίεση των ατμών έχει ορισμένη τιμή. Δίνουν το σημείο ζέσεως (βρασμού) του υγρού μίγματος συναρτήσεϊ της σύστασης στην υγρή φάση (x) και του σημείου δρόσου των ατμών συναρτήσεϊ της σύστασης στη φάση ατμών (y), υπό την επιλεγμένη πίεση. Οι καμπύλες αυτές προσδιορίζονται συνήθως πειραματικά.



Εικόνα 1

Στην Εικόνα 1 φαίνεται το διάγραμμα θερμοκρασίας – σύστασης ($T - x, y$), υπό σταθερή πίεση, για **ιδανικά μίγματα**.

T_A είναι η θερμοκρασία ζέσεως του συστατικού A και T_B το σημείο ζέσεως του B.

Ένα μίγμα μπορεί να εμφανίζει μη ιδανική συμπεριφορά, δηλαδή να μην ακολουθεί τον νόμο Raoult. Οι αποκλίσεις είτε μεγάλες, είτε μικρές, μπορεί να είναι θετικές ή αρνητικές.

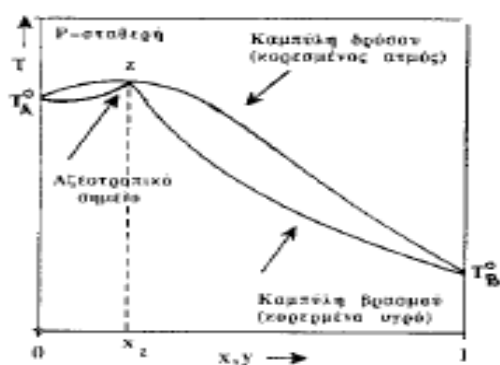
- Οι θετικές αποκλίσεις από τον νόμο του Raoult οδηγούν σε ολικό

ελάχιστο στο διάγραμμα σημείων ζέσεως – σύνθεσης (Εικόνα 2)

- Οι αρνητικές αποκλίσεις οδηγούν αντίστοιχα σε ολικό μέγιστο (Εικόνα 3).



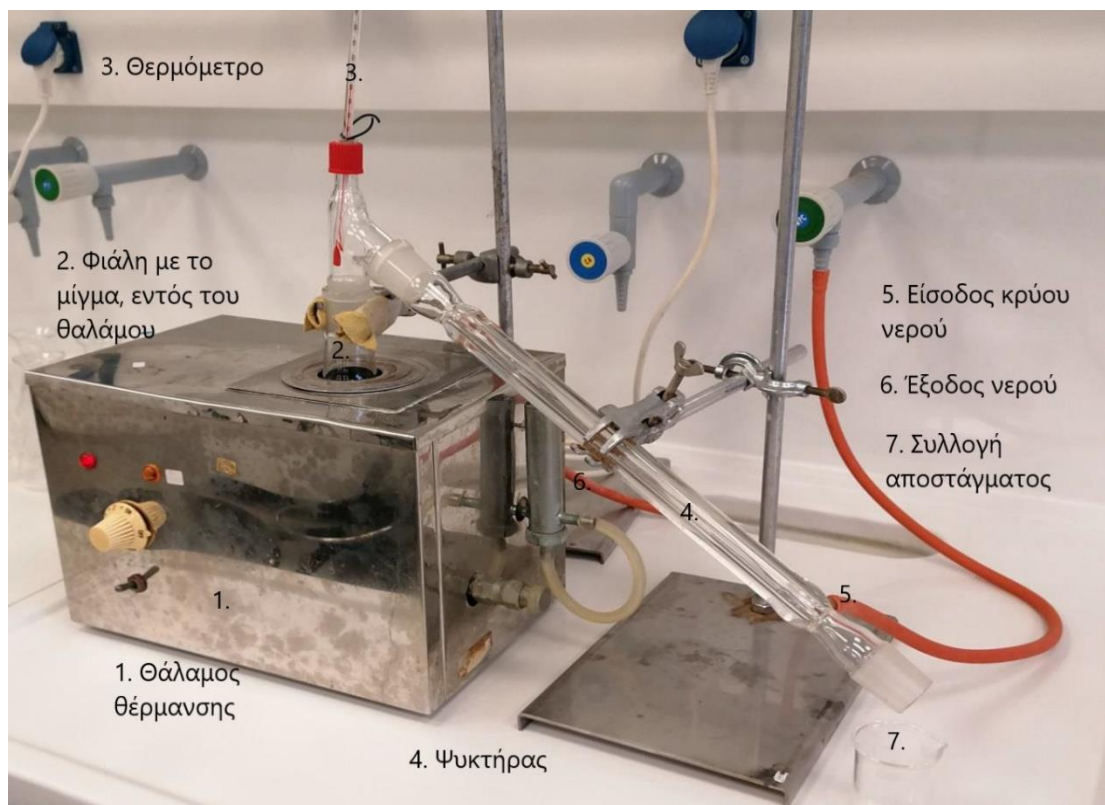
Εικόνα 2



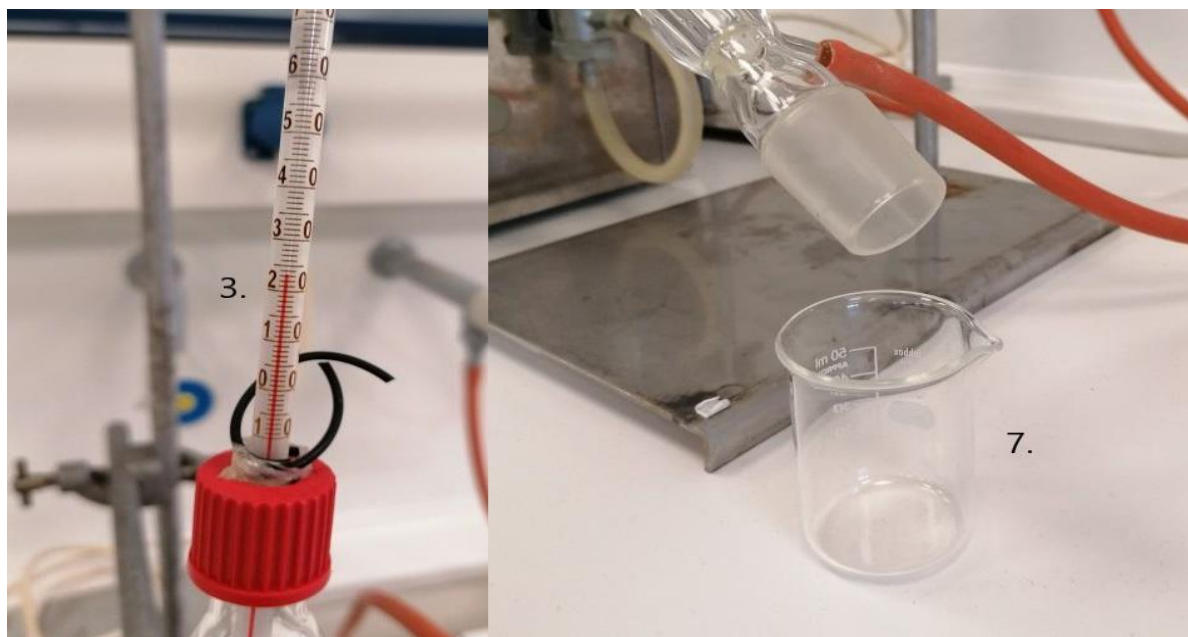
Εικόνα 3

Τα ολικά ακρότατα έχουν κοινές συντεταγμένες θερμοκρασίας και γραμμομοριακού κλάσματος στις καμπύλες συναρτήσεως της υγρής ή της αέριας φάσης. Αυτά τα σημεία λέγονται **αζεοτροπικά**, διότι η σύσταση του μίγματος δεν αλλοιώνεται με τον βρασμό. Συνεπώς, το μίγμα σε αυτή τη συγκέντρωση δεν αλλάζει σύσταση καθώς εξατμίζεται, συμπεριφερόμενο σαν καθαρή ουσία. Διαλύματα που εμφανίζουν τέτοια συμπεριφορά ονομάζονται αζεοτροπικά.

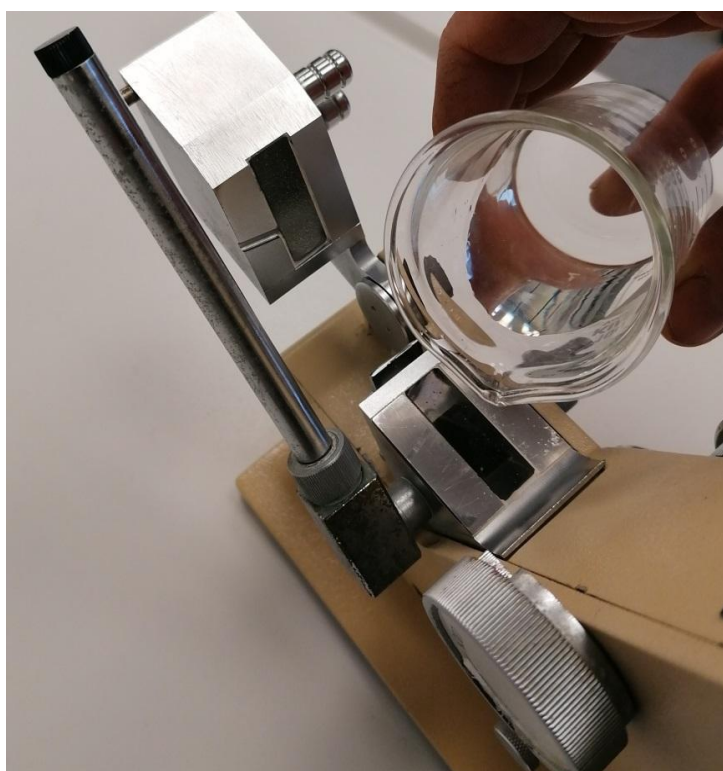
Πειραματική Διάταξη και Διαδικασία



Εικόνα 4



Εικόνα 5



Εικόνα 6 : Διαθλασίμετρο

Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν:

- Σύστημα απλής απόσταξης
- Διαθλασίμετρο
- Ποτήρια ζέσεως
- Αιθανόλη
- Ογκομετρικές φιάλες
- Σιφόνια
- Θερμόμετρο

Στις εικόνες 4 και 5 φαίνεται η διάταξη του πειράματος.

Αρχικά, γίνεται παρασκευή διαλυμάτων αλκοόλης (σε νερό όγκου 10 ml) συγκεντρώσεων 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 95 % v/v. Για τα παραπάνω γίνεται χρήση σιφωνίων και ογκομετρικών φιαλών.

Με το διαθλασίμετρο μετράται ο δείκτης διάθλασης των διαλυμάτων, καθώς και της καθαρής αλκοόλης και του νερού.

Για την μέτρηση του δείκτη διάθλασης (n) τοποθετείται μικρή ποσότητα κάθε υγρού δείγματος πάνω στον κρύσταλλο του οργάνου και κλείνεται το κάλυμμα ώστε να εισέρχεται φως στο δείγμα μόνο από ένα άνοιγμα. Γίνεται οπτική παρατήρηση από τον προσοφθάλμιο φακό (αυτός επιδέχεται ρύθμιση για βελτίωση της ευκρίνειας με σωστή εστίαση) και αναζητείται με περιστροφή του κάτω τροχού η εμφάνιση έντονης αλλαγής φωτεινότητας στο κυκλικό πεδίο.

Γίνεται ρύθμιση με τον πάνω τροχό ώστε η διαχωριστική γραμμή των περιοχών να είναι άχρωμη, στενή και σαφής. Με τον κάτω τροχό φέρεται η διαχωριστική γραμμή ακριβώς στο κέντρο του κυκλικού πεδίου και τότε λαμβάνεται η μέτρηση του n από την κλίμακα με 4 δεκαδικά ψηφία. Από τα παραπάνω δεδομένα (συγκέντρωση αιθανόλης και δείκτης διάθλασης) κατασκευάζεται η καμπύλη βαθμονόμησης του διαθλασίμετρου.

Κατόπιν αναμιγνύονται 100 ml νερό και 100 ml αιθανόλης στην φιάλη της συσκευής ώστε να προκύψει διάλυμα αλκοόλης – νερού 200 ml , 50% v/v. Τοποθετείται στη φιάλη βρασμού της αποστακτικής συσκευής μαζί με τεμάχια πορσελάνης. Η τοποθέτηση πορσελάνης θα αποτρέψει πιθανά προβλήματα υπερθέρμανσης. Το υδατόλουτρο τίθεται σε λειτουργία.

Όταν ξεκινήσει ο βρασμός σημειώνεται η θερμοκρασία των ατμών (από το θερμόμετρο που είναι τοποθετημένο ακριβώς πάνω από την φιάλη) και τίθεται σε λειτουργία ο ψυκτήρας της συσκευής. Σημειώνεται ότι νωρίτερα δεν έχει χρησιμοποιηθεί νερό για το πλύσιμο των εξαρτημάτων της διάταξης. Ο ψυκτήρας έχει διπλά τοιχώματα που επιτρέπουν τη ροή κρύου νερού (εξωτερικά) παράλληλα με τη ροή του μίγματος ατμών (εσωτερικά). Η παροχή νερού με την οποία τροφοδοτείται είναι πολύ μικρή.

Δίνεται προσοχή ώστε ο βρασμός να συνεχίζεται με ομαλό τρόπο καθ' όλη τη διάρκεια της απόσταξης.

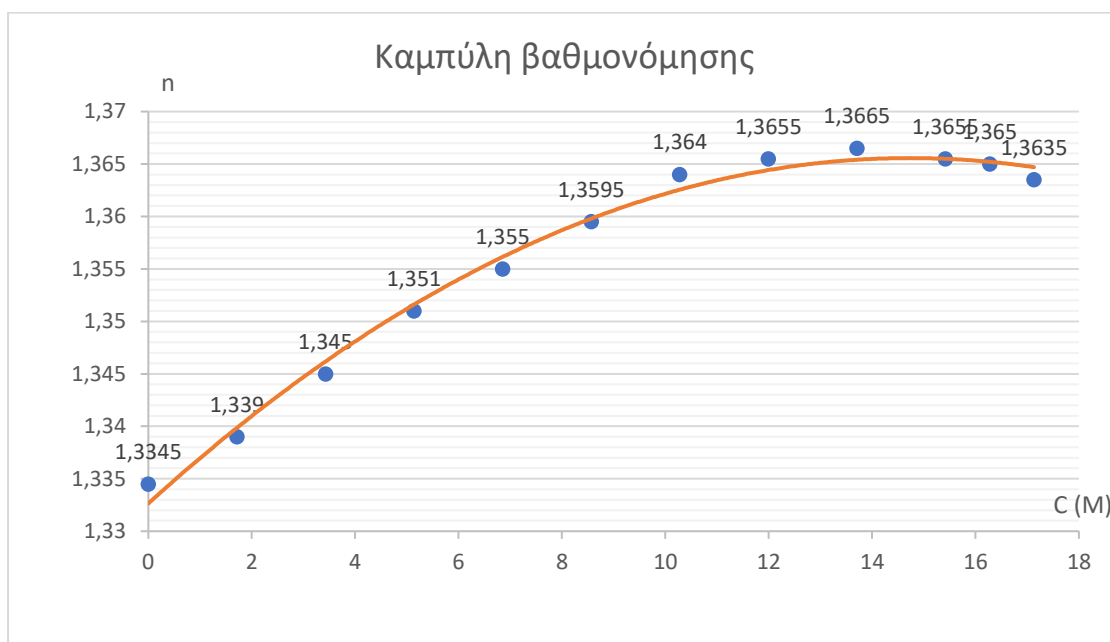
Κατά την διαδικασία της απόσταξης μόρια του υγρού μεταβαίνουν στην αέρια φάση σχηματίζοντας ατμούς. Οι ατμοί μεταφέρονται από την στον ψυκτήρα, με αποτέλεσμα να υγροποιούνται και να εξάγεται το απόσταγμα.

Συλλέγονται συνολικά 15 αποστάγματα των 10 ml. Η θερμοκρασία των ατμών του κάθε αποστάγματος καταγράφεται επί τόπου κατά τη συλλογή του σε ποτήρι ζέσεως. Τα αποστάγματα μεταφέρονται στο διαθλασίμετρο, όπου γίνεται μέτρηση του δείκτη διάθλασης. Ακολουθεί επεξεργασία των δεδομένων με σκοπό τη κατασκευή του διαγράμματος βρασμού. Η πίεση θεωρείται σταθερή και ίση με 1bar.

Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Πειραματικά δεδομένα

v/v	n	C
0	1,3345	0
10	1,339	1,713
20	1,345	3,426
30	1,351	5,139
40	1,355	6,852
50	1,3595	8,565
60	1,364	10,278
70	1,3655	11,991
80	1,3665	13,704
90	1,3655	15,417
95	1,365	16,274
100	1,3635	17,130



Για τη κατασκευή της καμπύλης βαθμονόμησης χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης διάθλασης (άξονας y) και η γραμμομοριακή συγκέντρωση της αλκοόλης (άξονας x) του κάθε αποστάγματος. Επιλέχθηκε στο Excel διάγραμμα διασποράς μαζί με την καμπύλη (2^{ου} βαθμού) που προσεγγίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια τη διακύμανση των μετρήσεων.

Η συγκέντρωση της αιθανόλης σε κάθε απόσταγμα βρέθηκε από τη μετατροπή των συγκεντρώσεων v/v. Η μετατροπή έγινε με κατάλληλες πράξεις κελιών σε περιβάλλον Excel. Ενδεικτικά για το διάλυμα σύστασης 10% v/v :

$$C_{αιθ} = \frac{n_{αιθ.}}{V_{\frac{\delta}{\tau\omicron\varsigma}}} = \frac{\frac{m_{αιθ.}}{Mr}}{V_{\frac{\delta}{\tau\omicron\varsigma}}} = \frac{d_{αιθ.} * V_{αιθ.}}{Mr * V_{\frac{\delta}{\tau\omicron\varsigma}}} = \frac{0,788 \frac{g}{ml} * 1ml}{46 \frac{g}{mol} * 10ml} = 0,001713 \frac{mol}{ml} = 1,713M$$

Πειραματικά Δεδομένα

Αριθμός Αποστάγματος	θ (°C)	nD
1	74	1,3650
2	83	1,3655
3	84	1,3650
4	84	1,3650
5	85	1,3645
6	86	1,3645
7	86	1,3640
8	87	1,3630
9	87	1,3625
10	87	1,3615
11	88	1,3605
12	89	1,3600
13	90	1,3590
14	90	1,3570
15	90	1,3545

Πίνακας 1α

A/A	θ (°C)	nD	C _{αιθ.}	n _{αιθ.ατμ.}	V _{αιθ.ατμ.}	V _{H2O ατμ.}	n _{H2O ατμ.}	γ _{αιθ.}
1	74	1,3650	12,70	0,127	7,414	2,586	0,144	0,469
2	83	1,3655	14,10	0,141	8,231	1,769	0,098	0,589
3	84	1,3650	12,70	0,127	7,414	2,586	0,144	0,469
4	84	1,3650	12,70	0,127	7,414	2,586	0,144	0,469
5	85	1,3645	12,10	0,121	7,063	2,936	0,163	0,426
6	86	1,3645	12,10	0,121	7,063	2,936	0,163	0,426
7	86	1,3640	11,60	0,116	6,772	3,228	0,179	0,393
8	87	1,3630	10,70	0,107	6,246	3,754	0,208	0,339
9	87	1,3625	10,25	0,1025	5,984	4,016	0,223	0,315
10	87	1,3615	9,45	0,0945	5,516	4,484	0,249	0,275
11	88	1,3605	9,00	0,09	5,254	4,746	0,264	0,254
12	89	1,3600	8,75	0,0875	5,108	4,892	0,272	0,244
13	90	1,3590	8,25	0,0825	4,816	5,184	0,288	0,223
14	90	1,3570	7,44	0,0744	4,343	5,657	0,314	0,191
15	90	1,3545	6,10	0,061	3,561	6,439	0,358	0,146

Πίνακας 1β

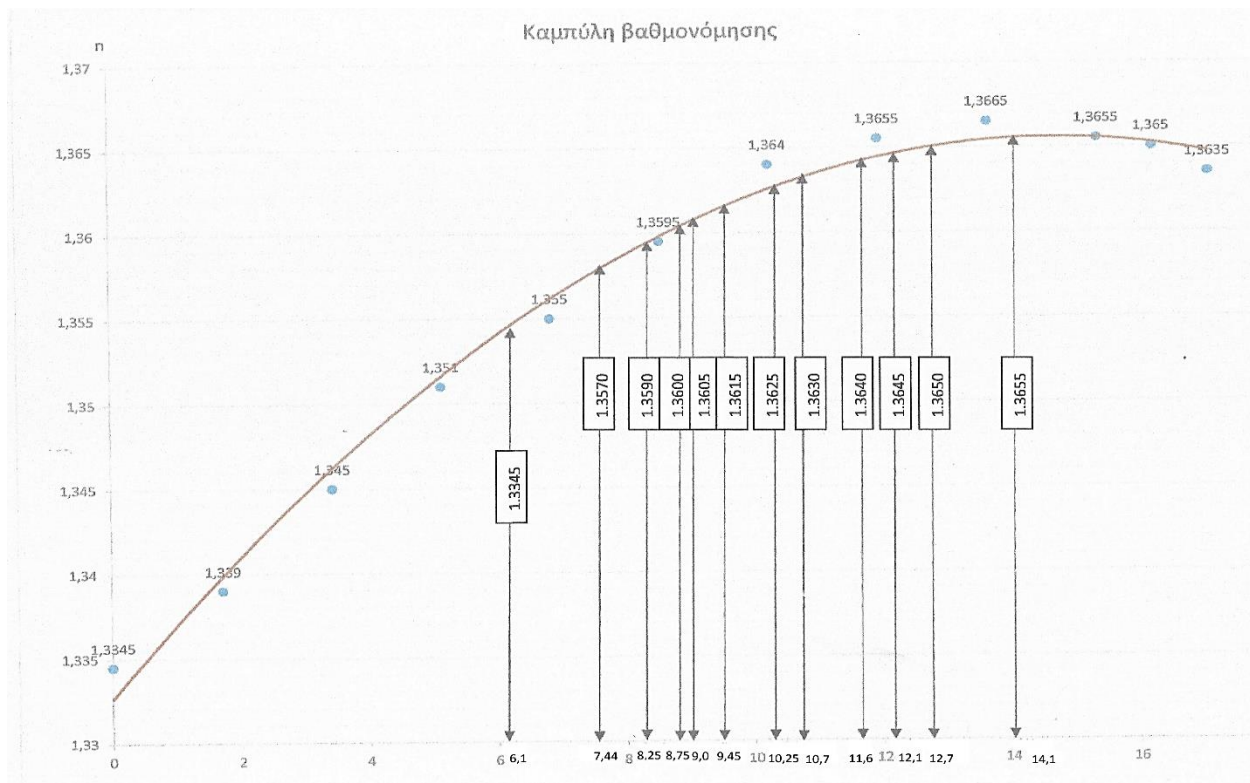
A/A	$V_{\text{αιθ.ατμ.ολ.}}$	$V_{\text{αιθ.υγρό ολ.}}$	$n_{\text{αιθ.υγρό}}$	$V_{\text{H}_2\text{O.ατμ.ολ.}}$	$V_{\text{H}_2\text{O υγρό}}$	$n_{\text{H}_2\text{O υγρό}}$	$x_{\text{αιθ.}}$
1	7,414	92,586	1,586	2,586	97,414	5,412	0,227
2	15,64	84,36	1,445	4,355	95,645	5,314	0,214
3	23,06	76,94	1,318	6,941	93,059	5,170	0,203
4	30,47	69,53	1,191	9,527	90,473	5,026	0,192
5	37,54	62,46	1,070	12,463	87,537	4,863	0,180
6	44,60	55,40	0,949	15,399	84,601	4,700	0,168
7	51,37	48,63	0,833	18,627	81,373	4,521	0,156
8	57,62	42,38	0,726	22,380	77,620	4,312	0,144
9	63,60	36,40	0,624	26,397	73,603	4,089	0,132
10	69,12	30,88	0,529	30,881	69,119	3,840	0,121
11	74,37	25,63	0,439	35,627	64,373	3,576	0,109
12	79,48	20,52	0,352	40,519	59,481	3,304	0,096
13	84,30	15,7	0,269	45,703	54,297	3,016	0,082
14	88,64	11,36	0,195	51,360	48,640	2,702	0,067
15	92,20	7,80	0,134	57,799	42,201	2,344	0,054

Βιβλιογραφικά Δεδομένα

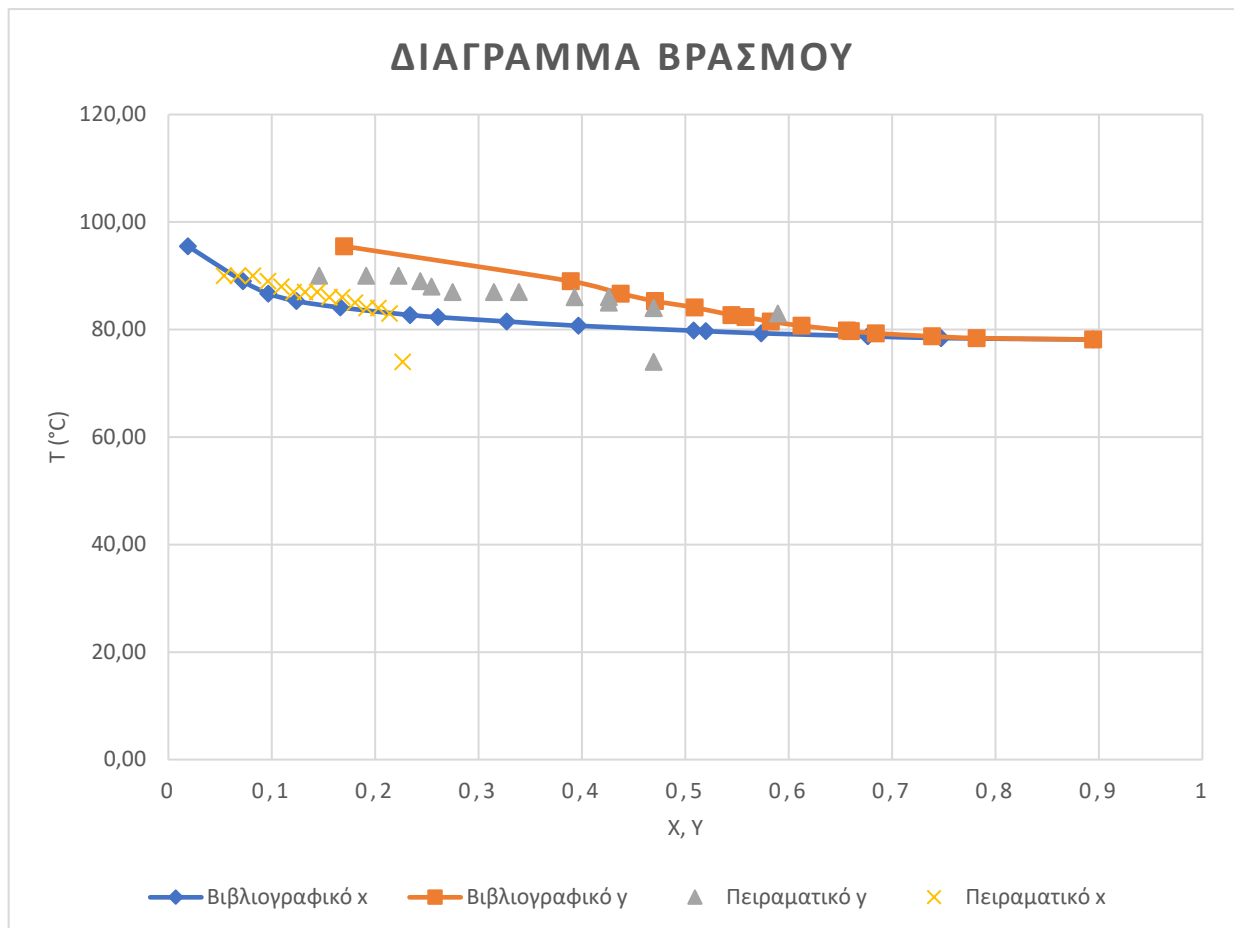
T(°C)	$x_{\text{αιθανόλης}}$	$y_{\text{αιθανόλης}}$
95.5	0.0190	0.1700
89.0	0.0721	0.3891
86.7	0.0966	0.4375
85.3	0.1238	0.4704
84.1	0.1661	0.5089
82.7	0.2337	0.5445
82.3	0.2608	0.5580
81.5	0.3273	0.5826
80.7	0.3965	0.6122
79.8	0.5079	0.6564
79.7	0.5198	0.6599
79.3	0.5732	0.6841
78.74	0.6763	0.7385
78.41	0.7472	0.7815
78.15	0.8943	0.8943

Οι στήλες των πινάκων 1^α και 1^β συμπληρώθηκαν με κατάλληλες πράξεις κελιών σε περιβάλλον Excel. Ακολουθεί ενδεικτικά ο υπολογισμός των ζητούμενων μεγεθών που αφορούν το 1^ο απόσταγμα:

- $C_{αιθ.}$ → Βρίσκεται γραφικά από τη καμπύλη βαθμονόμησης. Βρίσκεται δηλαδή το x για y = 1,360 (Εικόνα 7)
- $C_{αιθ.απόστ.} = \frac{n_{αιθ.ατμ.}}{V_{απόστ.}} \Rightarrow n_{αιθ.ατμ.} = 12,7M * 0,01L = 0,127mol$
- $n_{αιθ.αποστ.} = \frac{m_{αιθ.απόστ.}}{Mr_{αιθ.}} = \frac{d_{αιθ.} * V_{αιθ.απόστ.}}{Mr_{αιθ.}}$
 $\Rightarrow V_{αιθ.απόστ.} = \frac{0,127mol * 46 \frac{g}{mol}}{0,788 \frac{g}{ml}} = 7,4137 ml$
- $V_{H_2O ατμ.} = 10 - V_{αιθ.απόστ.} = 2,5863 ml$
- $n_{H_2O απόστ.} = \frac{m_{H_2O απόστ.}}{Mr_{H_2O}} = \frac{d_{H_2O} * V_{H_2O απόστ.}}{Mr_{H_2O}} = \frac{1 \frac{g}{ml} * 2,5863 ml}{18 \frac{g}{mol}} = 0,1436 mol$
- $y_{αιθ} = \frac{n_{αιθ.ατμ.}}{n_{αιθ.ατμ.} + n_{H_2O απόστ.}} = \frac{0,127mol}{(0,127 + 0,1436)mol} = 0,4693$
- $V_{αιθ.ολικό στους ατμούς} = \sum_{i=1}^1 V_{αιθ.ατμ.i} = 7,4137 ml$
- $V_{αιθ.ολικό στο υγρό} = 100ml - V_{αιθ.ολικό στους ατμούς} = 92,586 ml$
- $n_{αιθ.υγρό} = \frac{m_{αιθ.}}{Mr_{αιθ.}} = \frac{d_{αιθ.} * V_{αιθ.ολικό στο υγρό}}{Mr_{αιθ.}} = \frac{0,788 \frac{g}{ml} * 92,586 ml}{46 \frac{g}{mol}} = 1,586 mol$
- $V_{H_2O.ολικό στους ατμούς} = \sum_{i=1}^1 V_{H_2O ατμ.i} = 2,5863 ml$
- $V_{H_2O.ολικό στο υγρό} = 100ml - V_{H_2O.ολικό στους ατμούς} = 97,414 ml$
- $n_{H_2O υγρό} = \frac{m_{H_2O απόστ.}}{Mr_{H_2O}} = \frac{d_{H_2O} * V_{H_2O.ολικό στο υγρό}}{Mr_{H_2O}} = \frac{1 \frac{g}{ml} * 97,414 ml}{18 \frac{g}{mol}} = 5,412 mol$
- $x_{αιθ.υγρό} = \frac{n_{αιθ.υγρό}}{n_{αιθ.υγρό} + n_{H_2O υγρό}} = \frac{1,586 mol}{(1,586 + 5,412)mol} = 0,2266$



Εικόνα 7: Υπολογισμός $C_{αιθ}$ για δεδομένα nD από καμπύλη βαθμονόμησης



Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνονται οι καμπύλες βρασμού (T έναντι x, y) που προέκυψαν από τα πειραματικά και τα βιβλιογραφικά δεδομένα.

Η μπλε καμπύλη και τα κίτρινα σημεία δείχνουν τα σημεία βρασμού συναρτήσεως της σύστασης στην υγρή φάση, για τα βιβλιογραφικά και τα πειραματικά δεδομένα αντίστοιχα. (x)

Η πορτοκαλί καμπύλη και τα γκρι σημεία αναφέρονται στο σημείο δρόσου των ατμών συναρτήσεως της σύστασης στη φάση ατμών (y).

Οι συστάσεις x, y είναι εκφρασμένες ως προς τη συγκέντρωση της αιθανόλης, το πιο πτητικό συστατικό του μίγματος,

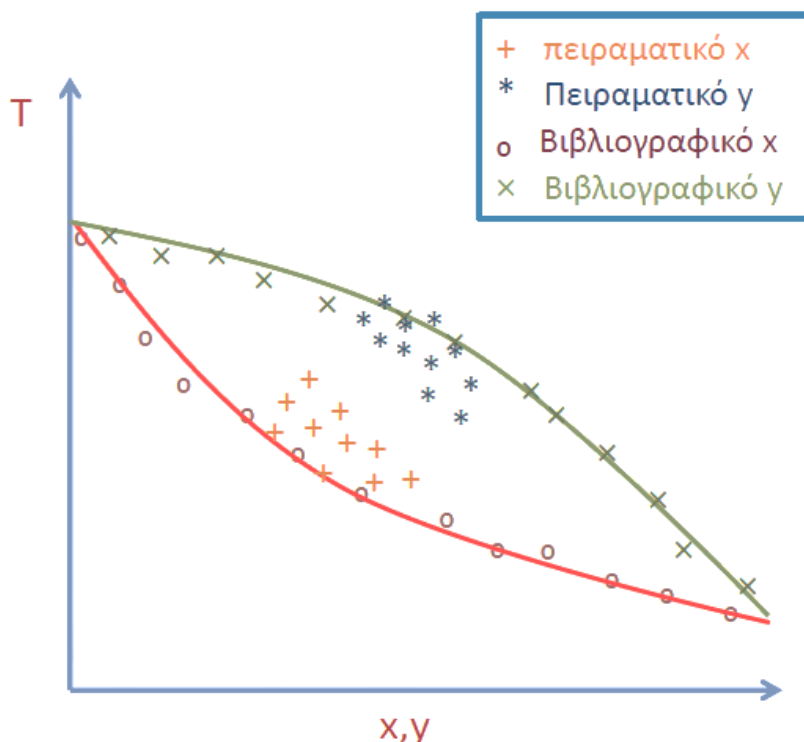
Η αιθανόλη έχει υψηλότερη τάση ατμών από το νερό, συνεπώς έχει χαμηλότερο σημείο ζέσεως σε ορισμένη πίεση. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα, το σημείο ζέσεως της αιθανόλης είναι λίγο μικρότερο από 80°C (πραγματικό: $78,37^{\circ}\text{C} < 100^{\circ}\text{C}$), γεγονός που δικαιολογεί την φθίνουσα πορεία των συγκεντρώσεων με την αύξηση της θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, η συγκεντρώσεις της αιθανόλης στα αρχικά αποστάγματα είναι μεγαλύτερες, καθώς διαχωρίζεται πρώτη από το αρχικό μίγμα (εξατμίζεται πριν από το νερό). Με την άνοδο της θερμοκρασίας το νερό αρχίζει να διαφεύγει από το διάλυμα με την μορφή ατμών, με αποτέλεσμα οι τιμές x και y να μειώνονται.

Συγκρίνοντας το διάγραμμα που προέκυψε με την Εικόνα 1, γίνεται εμφανές ότι το σύστημα εμφανίζει μεγάλες αποκλίσεις από τη πραγματικότητα. Τον αζεοτροπισμό φανερώνει επίσης και η ύπαρξη αζεοτροπικού σημείου.

Όσον αφορά τα **βιβλιογραφικά δεδομένα**, τα πρώτα αποστάγματα των αποτελούνταν σχεδόν μόνο από αιθανόλη ($x, y \approx 0,9$). Όπως αναμένεται, αυτές οι συστάσεις μειώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας, όντας εκφρασμένες ως προς τη παρουσία της αιθανόλης (mol) στα αποστάγματα. Όταν η θερμοκρασία έχει ανέβει αρκετά (περίπου 20°C , πλησιάζοντας τους 100°C), η ποσότητα αιθανόλης που περιέχεται στο διάλυμα έχει εξατμιστεί σχεδόν όλη και ως εκ τούτου οι τιμές των x, y πλησιάζουν το 0. Το παραπάνω μπορεί να παρατηρηθεί είτε γραφικά, είτε από τη σχέση $x, y = \frac{n_{\text{αιθ.}}}{n_{\text{αιθ.}} + n_{\text{H}_2\text{O}}}$, καθώς $n_{\text{αιθ.}} \downarrow, n_{\text{H}_2\text{O}} \uparrow \Leftrightarrow x, y \rightarrow 0$.

Στη καμπύλη βρασμού των βιβλιογραφικών δεδομένων εντοπίζεται εύκολα το αζεοτροπικό σημείο (σημείο τομής μπλε και πορτοκαλί καμπύλης), με συντεταγμένες κατά προσέγγιση $Z(0,89, 78)$. Το σημείο αυτό αποτελεί ολικό ελάχιστο της καμπύλης βρασμού (προσεγγίζει τη καμπύλη της Εικόνας 2), συνεπώς οι αποκλίσεις από τον νόμο του Raoult θεωρούνται θετικές. Μίγμα με σύσταση αριστερά του Z δεν μπορεί να αποστάξει σε μίγμα με σύσταση που βρίσκεται δεξιά του Z και αντίστροφα.

Όσον αφορά τα **πειραματικά δεδομένα**, η ακρίβειά τους δεν προκύπτει πολύ μεγάλη, ενώ οι αποκλίσεις από τον νόμο του Raoult αναμένονται αισθητά μεγαλύτερες από αυτές των βιβλιογραφικών. Τα παραπάνω ήταν αναμενόμενα από την αρχή του πειράματος, καθώς η καμπύλη βρασμού που προκύπτει από την ανάλυση των δεδομένων – σύμφωνα με τον εργαστηριακό οδηγό – πλησιάζει τη μορφή του διαγράμματος που φαίνεται στην Εικόνα 8.



Εικόνα 8

Συγκρίνοντας τα πειραματικά x, y της καμπύλης στην Εικόνα 8 με αυτά της καμπύλης του εργαστηρίου, δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές (εκτός από το γεγονός ότι η Εικόνα 8 αναφέρεται σε μη αζεοτροπικό μίγμα). Στο διάγραμμα του εργαστηρίου, η συμπεριφορά των πειραματικών x και y φαίνεται όμοια αυτής των αντίστοιχων βιβλιογραφικών, όπως συμβαίνει και στην εικόνα 8. Επίσης, και στα δυο διαγράμματα τα πειραματικά x, y βρίσκονται εντός του χώρου που περικλείουν οι βιβλιογραφικές καμπύλες και εκτείνονται σε αρκετά μικρότερο διάστημα τιμών.

Συμπεράσματα

Από τη παραπάνω σύγκριση μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το διάγραμμα της καμπύλης βρασμού που προέκυψε εμφανίζει ικανοποιητική ακρίβεια και δεν έχει εμπλακεί κάποιο σημαντικό σφάλμα κατά τη κατασκευή του. Το παραπάνω συμπέρασμα στηρίζεται επίσης σε αποτελέσματα πειραμάτων που έχουν αποδείξει όμοια δεδομένα με αυτά που προέκυψαν. Συγκεκριμένα, το μίγμα αιθανόλης- νερού αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα αζεοτροπικού μίγματος ελαχίστου που βράζει στους $78,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ και αποστάζει με σύσταση $\approx 96\% \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}$ και $\approx 4\% \text{ H}_2\text{O}$.

Σφάλματα που πιθανόν είχαν αρνητική επίδραση στην ακρίβεια των πειραματικών αποτελεσμάτων είναι τα εξής:

- Σφάλματα που αφορούν τη καταγραφή της θερμοκρασίας με το θερμόμετρο. Μη ακριβής ή ετεροχρονισμένη ανάγνωση των ενδείξεων του θερμομέτρου τη στιγμή συλλογής του αποστάγματος. Πειραματικές τιμές θερμοκρασίας με μικρή ακρίβεια (έλλειψη δεκαδικών).
Επισημαίνεται ότι η μέτρηση της θερμοκρασίας για τον προσδιορισμό σημείου ζέσεως πρέπει να λαμβάνεται όταν σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία και διακοπεί ο σχηματισμός σταγόνων στο θερμόμετρο, αλλά χωρίς να εξαφανιστούν αυτές.
- Παραμονή μικρής ποσότητας ατμών στο στόμιο του δοχείου και καθυστερημένη διέλευση αυτών από την οπή που οδηγεί στον ψυκτήρα. Πιθανή ανάμιξη με ατμούς που προέκυψαν από μεγαλύτερη θερμοκρασία βρασμού του μίγματος.
- Σφάλματα σχετικά με τον όγκο των αποσταγμάτων. Τα δοχεία ζέσεως δεν έχουν μεγάλη ακρίβεια στους όγκους που καταγράφουν, συνεπώς η συλλογή μέχρι την ένδειξη των 10ml (ακόμα και αν τηρήθηκε με προσοχή) δεν μπορεί να εγγυηθεί τον ζητούμενο όγκο. Καλύτερη ακρίβεια θα πρόσδιε η μεταφορά των αποσταγμάτων κατόπιν της συλλογής τους σε ογκομετρικές φιάλες ώστε να καταγραφεί ο ακριβής όγκος του κάθε αποστάγματος.
- Σφάλματα κατά την ανάγνωση τιμών n_D από το διαθλασίμετρο, καθώς απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή για τον ακριβή προσδιορισμό των τιμών. Πιθανές αποκλίσεις της τάξεως $\pm 0,0005$ στις τιμές του δείκτη διάθλασης.
- Σφάλματα που προέρχονται από τον προσδιορισμό των τιμών $C_{\text{αιθ}}$ γραφικά, από τη καμπύλη βαθμονόμησης. Οι τιμές παρουσιάζουν μικρή αξιοπιστία στα δεκαδικά καθώς ο υπολογισμός τους σε μεγάλο βαθμό έγινε διαισθητικά (βαθμονόμηση άξονα x ανά μεγάλα διαστήματα).
- Στρογγυλοποιήσεις που έγιναν κατά την επεξεργασία των δεδομένων. Ακόμα και αν θεωρηθούν πολύ μικρές οι αποκλίσεις των στρογγυλοποιήσεων, οι

συνεχείς πράξεις πολλαπλασιασμού και διαίρεσης ενδέχεται να έχουν μεγεθύνει τα σφάλματα που υπεισέρχονται στις τελικές τιμές x και y .

Σημειώνεται ότι με την απλή απόσταξη, δεν είναι δυνατό να διαχωριστεί εντελώς το ένα υγρό από το άλλο, εκτός αν η διαφορά στα σημεία ζέσεως τους είναι πολύ μεγάλη ή αν το πιο πτητικό είναι σε μικρή συγκέντρωση.

Βιβλιογραφία

1. Ι. Γεντεκάκης, “Φυσικές Διεργασίες: Ανάλυση & Σχεδιασμός, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2010.
2. Α. Τσεκούρας. «Φυσικοχημεία 2 – Εργαστηριακές Ασκήσεις. Διαγράμματα σημείων ζέσεως-συνθέσεως». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015.
3. Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών. Πανεπιστήμιο Κρήτης, Εργαστήρια Γενικής Χημείας Ι, Τ.Ε.Τ.Υ. 124 .