

## ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

Σε πολλές περιπτώσεις ασκήσεων οι οποίες αναφέρονται στο κεφάλαιο της χημικής ισορροπίας ζητείται ο υπολογισμός της συνολικής απόδοσης της αντίδρασης μετά από κάποια μεταβολή που έχει πραγματοποιηθεί.

Το ερώτημα αυτό δεν καλύπτεται από το σχολικό εγχειρίδιο. Για αυτό το λόγο υπάρχουν περιπτώσεις όπου χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στον υπολογισμό της συνολικής απόδοσης, ακόμη και κάποια σημεία που δεν είναι ξεκάθαρα. Εφόσον δεν υπάρχει αναλυτική επεξεργασία στο σχολικό εγχειρίδιο δεν θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε καμία περίπτωση από τους θεματοδότες των πανελλαδικών εξετάσεων.

Στις περιπτώσεις που θα επεξεργαστώ παρακάτω για ευκολία έχω αντικαταστήσει τις ποσότητες που αντιδρούν και σχηματίζονται μέχρι την αποκατάσταση της αρχικής χημικής ισορροπίας με αριθμούς. Προφανώς δεν με ενδιαφέρει ο ακριβής υπολογισμός αλλά μόνο ο τρόπος που μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική απόδοση της αντίδρασης μετά από διάφορες μεταβολές.

Όταν επιφέρουμε στην αρχική ισορροπία μεταβολές που αφορούν τη θερμοκρασία (περιπτώσεις 1 & 2), τον όγκο του δοχείου (περίπτωση 3) καθώς και τις ποσότητες των αντιδρώντων (περιπτώσεις 4, 5 & 6) τα πράγματα είναι πιο ξεκάθαρα σε σχέση με τη μεταβολή στην ποσότητα των προϊόντων (περιπτώσεις 7 & 8). Σε αυτές τις περιπτώσεις (7 & 8) έχω δει διαφορετικές προσεγγίσεις. Επομένως, θα ήθελα να επαναλάβω τη θέση μου ότι εφόσον δεν αναλύεται στο σχολικό εγχειρίδιο τότε δεν πρέπει να ζητηθεί και από τους μαθητές στις εξετάσεις.



1<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: Μεταβολή θερμοκρασίας (→)

| ποσότητες / mol           | $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g}) \quad \Delta H < 0$ |       |        |
|---------------------------|--|-------|--------|
| αρχικά                    | 4  | 3     |        |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -2   | -1    | +2     |
| αρχική ισορροπία          | 2  | 2     | 2      |
| μεταβολή - ↓θερμοκρασίας  | προς εξώθερμη, δηλαδή δεξιά  |       |        |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -2x  | -x    | +2x    |
| τελική ισορροπία          | (2-2x)   | (2-x) | (2+2x) |

Η απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της αρχικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_1 = \frac{n(\text{NO}_2) \text{ πρακτικά}}{n(\text{NO}_2) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2}{4} = 0,5$$

Η απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του NO(g) το οποίο είναι το περιοριστικό αντιδρών (σε έλλειμμα).

$$\alpha_1 = \frac{n(\text{NO}) \text{ που αντιδρούν}}{n(\text{NO}) \text{ αρχικά}} = \frac{2}{4} = 0,5$$

Η συνολική απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της τελικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_2 = \frac{n'(\text{NO}_2) \text{ πρακτικά}}{n(\text{NO}_2) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2 + 2x}{4} = \frac{1 + x}{2} > \alpha_1$$

Η συνολική απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του NO(g).

$$\alpha_1 = \frac{n(\text{NO}) \text{ που αντιδρούν συνολικά}}{n(\text{NO}) \text{ αρχικά}} = \frac{2 + 2x}{4} = \frac{1 + x}{2} > \alpha_1$$

2<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: Μεταβολή θερμοκρασίας (←)

| ποσότητες / mol           | A(g) + 3B(g) ⇌ 2Γ(g) ΔH<0       |        |        |
|---------------------------|---------------------------------|--------|--------|
| αρχικά                    | 6                               | 6      |        |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -1                              | -3     | +2     |
| αρχική ισορροπία          | 5                               | 3      | 2      |
| μεταβολή - ↑θερμοκρασίας  | προς ενδόθερμη, δηλαδή αριστερά |        |        |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | +x                              | +3x    | -2x    |
| τελική ισορροπία          | (5+x)                           | (3+3x) | (2-2x) |

Η απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της αρχικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_1 = \frac{n(\Gamma) \text{ πρακτικά}}{n(\Gamma) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2}{4} = 0,5$$

Η απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του B(g) το οποίο είναι το περιοριστικό αντιδρών (σε έλλειμμα).

$$\alpha_1 = \frac{n(B) \text{ που αντιδρούν}}{n(B) \text{ αρχικά}} = \frac{3}{6} = 0,5$$

Η συνολική απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της τελικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_2 = \frac{n'(\Gamma) \text{ πρακτικά}}{n(\Gamma) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2 - 2x}{4} = \frac{1 - x}{2} < \alpha_1$$

Η συνολική απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του B(g).

$$\alpha_1 = \frac{n(B) \text{ που αντιδρούν συνολικά}}{n(B) \text{ αρχικά}} = \frac{3 - 3x}{6} = \frac{1 - x}{2} < \alpha_1$$

**B' τρόπος.** Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι με τις ίδιες αρχικές ποσότητες φτάνουμε στην τελική χημική ισορροπία.

| ποσότητες / mol           | A(g) + 3B(g) ⇌ 2Γ(g) ΔH<0 |        |     |
|---------------------------|---------------------------|--------|-----|
| αρχικά                    | 6                         | 6      |     |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -y                        | -3y    | +2y |
| αρχική ισορροπία          | (6-y)                     | (6-3y) | 2y  |

$$\alpha_2 = \frac{n(\Gamma) \text{ πρακτικά}}{n(\Gamma) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2y}{4} = \frac{y}{2} \quad \text{ή} \quad \alpha_2 = \frac{n(B) \text{ που αντιδρούν συνολικά}}{n(B) \text{ αρχικά}} = \frac{3y}{6} = \frac{y}{2}$$

❖ όπου y=1-x

### 3<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: Μεταβολή στον όγκο του δοχείου (→)

| ποσότητες / mol           | A(g) ⇌ 2B(g)               |        |
|---------------------------|----------------------------|--------|
| αρχικά                    | 2                          |        |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -1                         | +2     |
| αρχική ισορροπία          | 1                          | 2      |
| μεταβολή - ↑ <b>όγκου</b> | προς ↑ mol(g) δηλαδή δεξιά |        |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -x                         | +2x    |
| τελική ισορροπία          | (1-x)                      | (2+2x) |

Η απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της αρχικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_1 = \frac{n(B) \text{ πρακτικά}}{n(B) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2}{4} = 0,5$$

Η απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του NO(g) το οποίο είναι το περιοριστικό αντιδρών (σε έλλειμμα).

$$\alpha_1 = \frac{n(A) \text{ που αντιδρούν}}{nA \text{ αρχικά}} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Η συνολική απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της τελικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_2 = \frac{n'(B) \text{ πρακτικά}}{n(B) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2 + 2x}{4} = \frac{1 + x}{2} > \alpha_1$$

Η συνολική απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του A(g).

$$\alpha_1 = \frac{n(A) \text{ που αντιδρούν συνολικά}}{n(A) \text{ αρχικά}} = \frac{1 + x}{2} > \alpha_1$$

- ❖ Η αύξηση του όγκου στη συγκεκριμένη περίπτωση πραγματοποιείται χωρίς εισαγωγή ποσότητας αδρανούς αερίου.

4<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: Μεταβολή ποσότητας (mol) στερεού (X)

| ποσότητες / mol           | A(s) + B(g) ⇌ Γ(g)                 |    |    |
|---------------------------|------------------------------------|----|----|
| αρχικά                    | 3                                  | 5  |    |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -1                                 | -1 | +1 |
| αρχική ισορροπία          | 2                                  | 4  | 1  |
| μεταβολή - προσθήκη A(s)  | +1 (δεν μετατοπίζεται η ισορροπία) |    |    |

Η απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_1 = \frac{n(\Gamma) \text{ πρακτικά}}{n(\Gamma) \text{ θεωρητικά}} = \frac{1}{3}$$

Η απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του A(s) το οποίο είναι το περιοριστικό αντιδρών (σε έλλειμμα).

$$\alpha_1 = \frac{n(A) \text{ που αντιδρούν}}{n(A) \text{ αρχικά}} = \frac{1}{3}$$

Μετά την προσθήκη 1 mol A(s) η απόδοση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_2 = \frac{n(\Gamma) \text{ πρακτικά}}{n'(\Gamma) \text{ θεωρητικά}} = \frac{1}{4} < \alpha_1$$

5<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: Μεταβολή στην ποσότητα (mol) αντιδρώντος (→)

| ποσότητες / mol           | A(g) + B(g) ⇌ 2Γ(g)                |       |        |
|---------------------------|------------------------------------|-------|--------|
| αρχικά                    | 6                                  | 4     |        |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -1                                 | -1    | +2     |
| αρχική ισορροπία          | 5                                  | 3     | 2      |
| μεταβολή - προσθήκη A(g)  | +2 η ισορροπία μετατοπίζεται δεξιά |       |        |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -x                                 | -x    | +2x    |
| τελική ισορροπία          | (7-x)                              | (3-x) | (2+2x) |

Η απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της αρχικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_1 = \frac{n(\Gamma) \text{ πρακτικά}}{n(\Gamma) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2}{8} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Η απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του B(g) το οποίο είναι το περιοριστικό αντιδρών (σε έλλειμμα).

$$\alpha_1 = \frac{n(B) \text{ που αντιδρούν}}{n(B) \text{ αρχικά}} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Η συνολική απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της τελικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_2 = \frac{n'(\Gamma) \text{ πρακτικά}}{n(\Gamma) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2 + 2x}{8} = \frac{1 + x}{4} > \alpha_1$$

Η συνολική απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του B(g).

$$\alpha_2 = \frac{n(B) \text{ που αντιδρούν συνολικά}}{n(B) \text{ αρχικά}} = \frac{1 + x}{4} > \alpha_1$$

**B' τρόπος.** Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι στις αρχικές ποσότητες προσθέτουμε τα 2 mol A(g) και φτάνουμε στην τελική χημική ισορροπία.

| ποσότητες / mol           | A(g) + B(g) ⇌ 2Γ(g) ΔH<0 |       |     |
|---------------------------|--------------------------|-------|-----|
| αρχικά                    | 6+2                      | 4     |     |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -y                       | -y    | +2y |
| τελική ισορροπία          | (8-y)                    | (4-y) | 2y  |

$$\alpha_2 = \frac{n(\Gamma) \text{ πρακτικά}}{n(\Gamma) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2y}{8} = \frac{y}{4} \quad \text{ή} \quad \alpha_2 = \frac{n(B) \text{ που αντιδρούν}}{n(B) \text{ αρχικά}} = \frac{y}{4}$$

❖ Όπου  $y = 1 + x$

6<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: Μεταβολή στην ποσότητα (mol) αντιδρώντος (α=σταθ)

| ποσότητες / mol           | 2A(g) ⇌ B(g) + Γ(g)                |       |       |
|---------------------------|------------------------------------|-------|-------|
| αρχικά                    | 4                                  |       |       |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -2                                 | +1    | +1    |
| αρχική ισορροπία          | 2                                  | 1     | 1     |
| μεταβολή - προσθήκη A(g)  | +4 η ισορροπία μετατοπίζεται δεξιά |       |       |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -2x                                | +x    | +x    |
| τελική ισορροπία          | (6-2x)                             | (1+x) | (1+x) |

Η απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της αρχικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_1 = \frac{n(\Gamma) \text{ πρακτικά}}{n(\Gamma) \text{ θεωρητικά}} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Η απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του A(g).

$$\alpha_1 = \frac{n(A) \text{ που αντιδρούν}}{n(A) \text{ αρχικά}} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Η συνολική απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της τελικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_2 = \frac{n'(\Gamma) \text{ πρακτικά}}{n(\Gamma) \text{ θεωρητικά}} = \frac{1+x}{4} = \alpha_1$$

Η συνολική απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του B(g).

$$\alpha_2 = \frac{n(A) \text{ που αντιδρούν συνολικά}}{n(A) \text{ αρχικά}} = \frac{2+2x}{8} = \frac{1+x}{4} = \alpha_1$$

**B' τρόπος.** Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι στις αρχικές ποσότητες προσθέτουμε τα 2 mol A(g) και φτάνουμε στην τελική χημική ισορροπία.

| ποσότητες / mol           | 2A(g) ⇌ B(g) + Γ(g) |    |    |
|---------------------------|---------------------|----|----|
| αρχικά                    | 4+4                 |    |    |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -2y                 | +y | +y |
| τελική ισορροπία          | 8-2y                | y  | y  |

$$\alpha_2 = \frac{n(\Gamma) \text{ πρακτικά}}{n(\Gamma) \text{ θεωρητικά}} = \frac{y}{4} \quad \text{ή} \quad \alpha_2 = \frac{n(A) \text{ που αντιδρούν}}{n(A) \text{ αρχικά}} = \frac{2y}{8} = \frac{y}{4}$$

❖ Όπου  $y = 1 + x$

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η αύξηση της συγκέντρωσης του A(g) μετατοπίζει τη θέση ισορροπίας προς τα δεξιά αλλά **δεν αλλάζει η απόδοση** της αντίδρασης.

7<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: Μεταβολή στην ποσότητα (mol) προϊόντος (→)

| ποσότητες / mol           | C(s)                            | + | O <sub>2</sub> (g) | ⇌ | 2CO(g) |
|---------------------------|---------------------------------|---|--------------------|---|--------|
| αρχικά                    | 3                               |   | 2                  |   |        |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -1                              |   | -1                 |   | +2     |
| αρχική ισορροπία          | 2                               |   | 1                  |   | 2      |
| μεταβολή - αφαίρεση CO(g) | η ισορροπία μετατοπίζεται δεξιά |   |                    |   | -1     |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -x                              |   | -x                 |   | +2x    |
| τελική ισορροπία          | (2-x)                           |   | (1-x)              |   | (1+2x) |

Η απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της αρχικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$a_1 = \frac{n(\text{CO}) \text{ πρακτικά}}{n(\text{CO}) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Η απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του O<sub>2</sub>(g) το οποίο είναι το περιοριστικό αντιδρών (σε έλλειμμα).

$$a_1 = \frac{n(\text{O}_2) \text{ που αντιδρούν}}{n(\text{O}_2) \text{ αρχικά}} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Η συνολική απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της τελικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$a_2 = \frac{n'(\text{CO}) \text{ πρακτικά}}{n(\text{CO}) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2 + 2x}{4} = \frac{1 + x}{2} > a_1$$

Η συνολική απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του O<sub>2</sub>(g).

$$a_2 = \frac{n(\text{O}_2) \text{ που αντιδρούν συνολικά}}{n(\text{O}_2) \text{ αρχικά}} = \frac{1 + x}{2} > a_1$$



8<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: Μεταβολή στην ποσότητα (mol) προϊόντος (←←)

| ποσότητες / mol           | N <sub>2</sub> (g)                 | + | O <sub>2</sub> (g) | ⇌ | 2NO(g) |
|---------------------------|------------------------------------|---|--------------------|---|--------|
| αρχικά                    | 3                                  |   | 2                  |   |        |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -1                                 |   | -1                 |   | +2     |
| αρχική ισορροπία          | 2                                  |   | 1                  |   | 2      |
| μεταβολή - προσθήκη NO(g) | η ισορροπία μετατοπίζεται αριστερά |   |                    |   | +2     |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | +x                                 |   | +x                 |   | -2x    |
| τελική ισορροπία          | (2+x)                              |   | (1+x)              |   | (4-2x) |

Η απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της αρχικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_1 = \frac{n(\text{NO}) \text{ πρακτικά}}{n(\text{NO}) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Η απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του O<sub>2</sub>(g) το οποίο είναι το περιοριστικό αντιδρών (σε έλλειμμα).

$$\alpha_1 = \frac{n(\text{O}_2) \text{ που αντιδρούν}}{n(\text{O}_2) \text{ αρχικά}} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Η συνολική απόδοση της αντίδρασης μέχρι την αποκατάσταση της τελικής ισορροπίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_2 = \frac{n'(\text{NO}) \text{ πρακτικά}}{n(\text{NO}) \text{ θεωρητικά}} = \frac{2 - 2x}{4} = \frac{1 - x}{2} < \alpha_1$$

Η συνολική απόδοση μπορεί να υπολογιστεί και με βάση τον βαθμό μετατροπής του O<sub>2</sub>(g).

$$\alpha_2 = \frac{n(\text{O}_2) \text{ που αντιδρούν συνολικά}}{n(\text{O}_2) \text{ αρχικά}} = \frac{1 - x}{2} < \alpha_1$$

**B' τρόπος.** Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι στις αρχικές ποσότητες προσθέτουμε τα 2 mol NO(g) και φτάνουμε στην τελική χημική ισορροπία.

| ποσότητες / mol           | N <sub>2</sub> (g) | + | O <sub>2</sub> (g) | ⇌ | 2NO(g) |
|---------------------------|--------------------|---|--------------------|---|--------|
| αρχικά                    | 3                  |   | 2                  |   | 2      |
| αντιδρούν - σχηματίζονται | -y                 |   | -y                 |   | +2y    |
| τελική ισορροπία          | (3-y)              |   | (2-y)              |   | (2+2y) |

$$\alpha_2 = \frac{n(\text{O}_2) \text{ που αντιδρούν}}{n(\text{O}_2) \text{ αρχικά}} = \frac{y}{2}$$