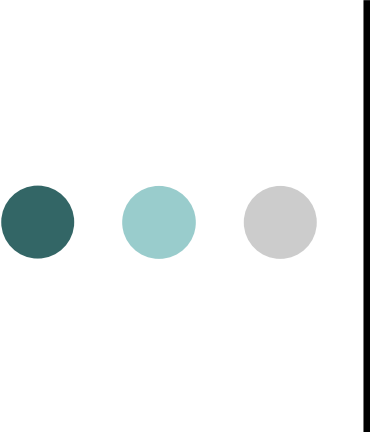
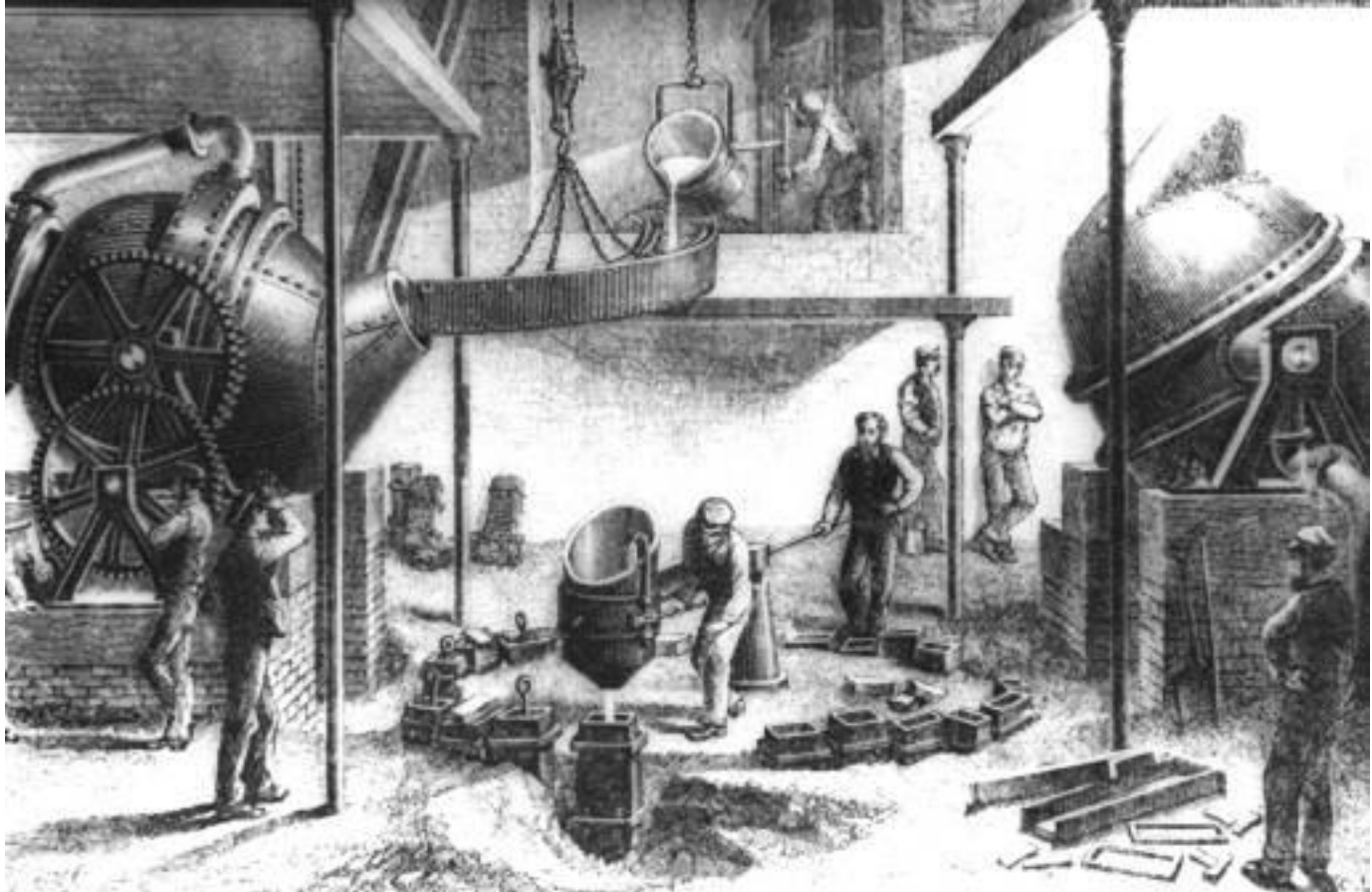


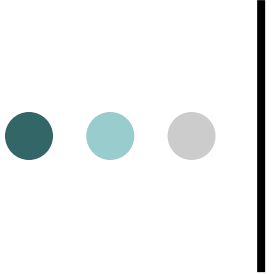


Μεταλλευτικά προϊόντα σιδήρου

- Ειδικές εφαρμογές παραγωγής & μεταποίησης
 - Διαμόρφωση υποδειγμάτων
 - Εκτίμηση παραμέτρων

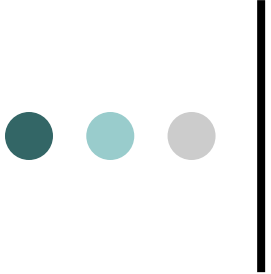


Χαλυβουργία Smith. Λονδίνο 1836



Χυτοσίδηρος - Κύριες πηγές

- Πλούσια μεταλλεύματα
 - Αιματίτης (Fe_2O_3)
 - Μαγνητίτης (Fe_3O_4)
 - Χαμηλή περιεκτικότητα SiO_2
 - Περιεκτικότητα Fe 50-70%
- Πτωχά μεταλλεύματα
 - Λειμωνίτης ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
 - Σιδερίτης (FeCO_3)
 - Με αργιλοπυριτικές ή ασβεστιτικές προσμίξεις
 - Περιεκτικότητα Fe ως 20-30%



Χυτοσίδηρος – Κύρια χαρακτηριστικά

○ Περιεκτικότητα Fe %

- υψηλή περιεκτικότητα οδηγεί σε υψηλή παραγωγικότητα και χαμηλότερο κόστος παραγωγής

○ Συνεκτικότητα

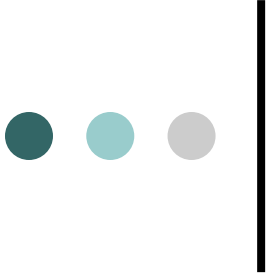
- το μετάλλευμα δεν πρέπει να είναι πολύ συμπαγές ούτε πολύ εύθρυπτο

○ Καθαρότητα

- Όσο γίνεται πιο καθαρό

○ Ομοιομορφία

- σταθερή φυσική και χημική σύσταση



Υψικάμινος

- Φρεατώδης κάμινος
- Αποτελείται από μεταλλικό κέλυφος
 - Ύψος 30 m
 - Διαμέτρος 15 m
- Εσωτερική πυρίμαχη επένδυση
- Δυναμικότητα 11.000-12.000 tn/ημέρα

Υψικάμνος

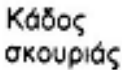


Υψικάμνος



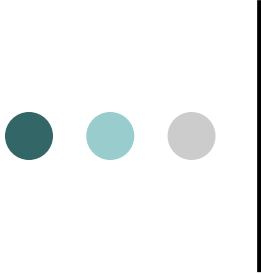
Υψικάμνος





- ## Βάση (bosh)

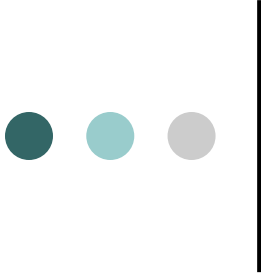
- Άνω μέρος βάσης: ημίρρευστο υλικό
- Κάτω μέρος βάσης: Ρευστό
- Μέγιστη θερμοκρασία >1800°C
- Για μείωση του όγκου-ανεστραμένος κόλινος
- Επένδυση: πυρίμαχα τούβλα, αργιλοπυριτικά με 40-99% Al_2O_3 , αργιλοχρωμιούχα, ή από γραφίτη



Υψικάμινος

- Η υψικάμινος τροφοδοτείται από την κορυφή με σιδηρούχο μετάλλευμα, κωκ και ασβεστόλιθο, CaCO_3 , (συλλίπασμα), ενώ από ανοίγματα διαταγμένα κυκλικά στη βάση της διοχετεύεται ξηρός αέρας θερμοκρασίας 600 - 800 °C.
- Αρχικά, το οξυγόνο του αέρα, που εισάγεται από τη βάση, οξειδώνει μέρος του κωκ προς διοξείδιο του άνθρακα με ταυτόχρονη έκλυση θερμότητας:





Υψικάμινος

- Με τη θερμότητα που εκλύεται, η θερμοκρασία ανυψώνεται σε τέτοιο βαθμό, ώστε να πραγματοποιηθούν οι σχετικές αντιδράσεις και να διατηρηθούν τα προϊόντα σε κατάσταση τήξης.
- Το θερμό διοξείδιο του άνθρακα, που παράγεται, καθώς ανέρχεται μέσα στην υψικάμινο, ανάγεται από το κωκ προς μονοξείδιο του άνθρακα:



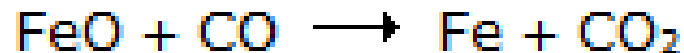
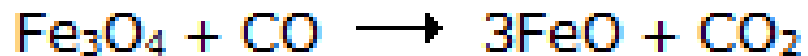
Υψικάμινος

- Το μονοξείδιο του άνθρακα, καθώς ανέρχεται στις υψηλότερες ζώνες της υψικαμίνου, ανάγει το μεταλλευμα προς σπογγώδη μεταλλικό σίδηρο μέσω μιας σειράς ενδιάμεσων αντιδράσεων:

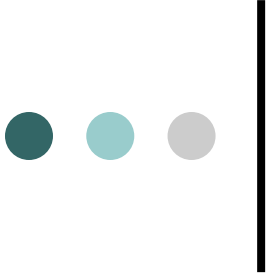
*Αιματίτης ή
κόκκινο οξείδιο
του σιδήρου*



μαγνητίτης



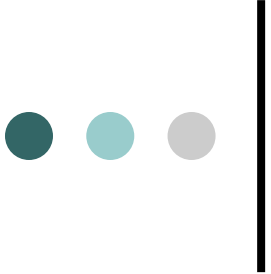
*Μαγνησίτης
ή οξείδιο
σιδήρου*



Υψικάμινος

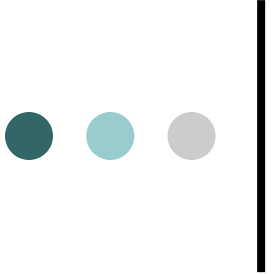
- Ακόμη, μικρά ποσά οξειδίου του σιδήρου (FeO), που διαφεύγουν την αναγωγή, ανάγονται τελικά στη μεσαία και στη κάτω ζώνη της υψικαμίνου από τον ίδιο τον άνθρακα:





Υψικάμινος

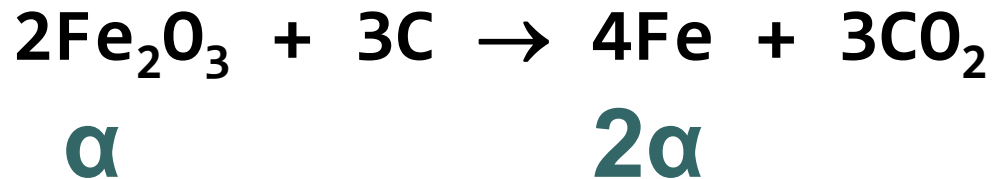
- Το CO_2 , που σχηματίζεται κατά τις παραπάνω αντιδράσεις, ανάγεται και πάλι από το κωκ προς CO , το οποίο συμμετέχει στον κύκλο των αντιδράσεων, ενώ ο σπογγώδης μεταλλικός Fe τήκεται στα κατώτερα τμήματα της υψικαμίνου και ρέει προς τη βάση της από όπου και εξάγεται.
- Οι γαιώδεις προσμίξεις του μεταλλεύματος, διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και πυριτικά άλατα, αντιδρούν με τον ασβεστόλιθο και σχηματίζουν εύτηκτα πυριτικά άλατα του ασβεστίου, τα οποία επιπλέουν στο τήγμα του μετάλλου και απομακρύνονται ως σκωρία.



3.5 Εφαρμογές (5)

- Διατίθεται σιδηρομετάλλευμα 1000 tn με περιεκτικότητα 87% κ.β. σε αιματίτη (Fe_2O_3).
- Να προσδιορίσετε τη μέγιστη ποσότητα χυτοσιδήρου (σε tn) που είναι δυνατόν να παραχθεί.
 - $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightarrow 4\text{Fe} + 3\text{CO}_2$
- Α.Β.: Fe=56, O=16, C=12

3.5 Εφαρμογές (5)

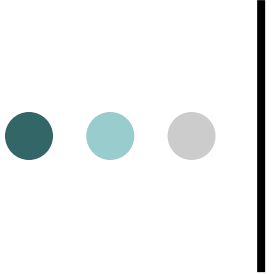


1000 tn περιέχουν 87% Fe_2O_3 δηλ.,

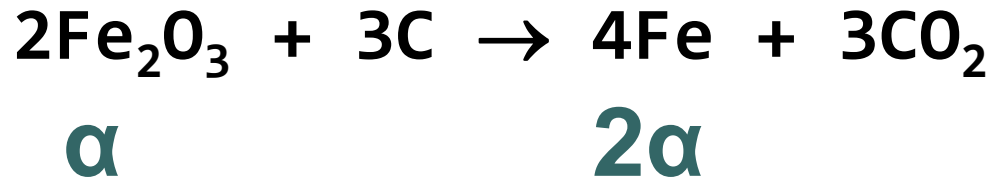
$$1000 \times 0,87 = 870 \text{ tn}$$

$$\text{MB: } (2 \times 56) + (3 \times 16) = 160$$

$$\text{Αριθμός moles} = 870 / 160 = 5,4375 \text{ Mmoles} = \alpha$$



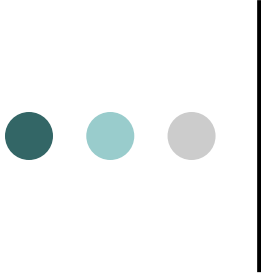
3.5 Εφαρμογές (5)



άρα το προϊόν είναι $2\alpha = 2 \times 5,4375 = 10,875$ Moles

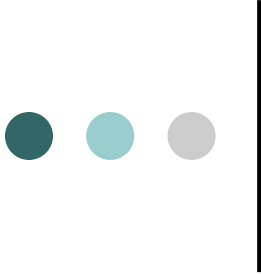
MB: 56

- $56 \times 10,875 = 609 \text{ tn}$



3.5 Εφαρμογές (6)

- Διατίθεται σιδηρομετάλλευμα 1000 tn με περιεκτικότητα 87% κ.β. σε αιματίτη (Fe_2O_3) το οποίο ανάγεται σε υψικάμινο προς χυτοσίδηρο (με τελική περιεκτικότητα σε σίδηρο 83% κ.β.).
- Να προσδιορίσετε τη μέγιστη ποσότητα προϊόντος που είναι δυνατόν να παραχθεί. Α.Β.: $\text{Fe}=56$, $\text{O}=16$, $\text{C}=12$
 - $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightarrow 4\text{Fe} + 3\text{CO}_2$



3.5 Εφαρμογές (6)

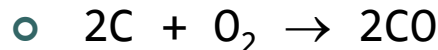
- Ισχύει ότι παράγονται από την αντίδραση 609 tn Fe.
- Το τελικό προϊόν περιέχει 83% κ.β. Fe
 - Άρα περιέχει και $(100-83=)17\%$ κάτι άλλο (προφανώς C)
- Αφού ο σίδηρος αποτελεί το 83% του τελικού προϊόντος, η μάζα του τελικού προϊόντος είναι:
 - $609/0,83 = 733,735 \text{ tn}$

Παραγωγή χυτοσιδήρου

- **Παράδειγμα 2.** Διατίθεται σιδηρομετάλλευμα **1000 tn** με περιεκτικότητα 87% κ.β. σε αιματίτη (Fe_2O_3). Επίσης, διατίθεται απόθεμα **1000 tn** μεταλλουργικού κωκ με περιεκτικότητα 90% κ.β. σε άνθρακα. Κατά τη διαδικασία παραγωγής χυτοσιδήρου στην υψικάμινο, η μισή ποσότητα άνθρακα, από αυτή που καταναλώνεται, διατίθεται για την **άμεση αναγωγή** του Fe_2O_3 :



- ενώ η άλλη μισή διατίθεται για την **έμμεση αναγωγή** του αιματίτη με σύγχρονη έκλυση θερμότητας:



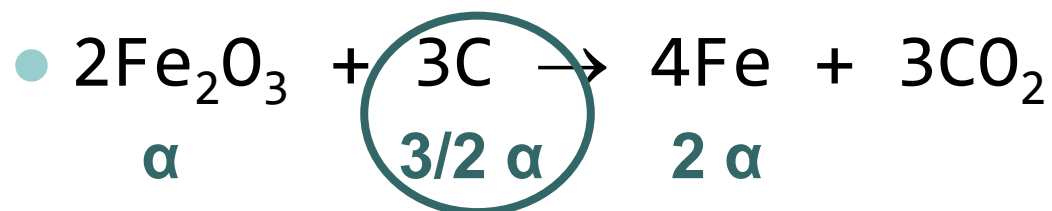
- Να προσδιορίσετε τη μέγιστη ποσότητα χυτοσιδήρου (σε tn) περιεκτικότητας 4,6% κ.β. σε C που είναι δυνατόν να παραχθεί (α) άμεσα και (β) έμμεσα, από τις παραπάνω ποσότητες πρώτων υλών.

Παραγωγή χυτοσιδήρου

- Το σιδηρομετάλλευμα ακολουθεί δύο αναγωγικές οδούς
 - Είτε άμεσα
 - $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightarrow 4\text{Fe} + 3\text{CO}_2$
 - Είτε έμμεσα
 - $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$
 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$
 - Ο άνθρακας χρησιμοποιείται και στις δύο οδούς, σε ίσα μέρη
 - Το σιδηρομετάλλευμα καταναλώνεται όλο

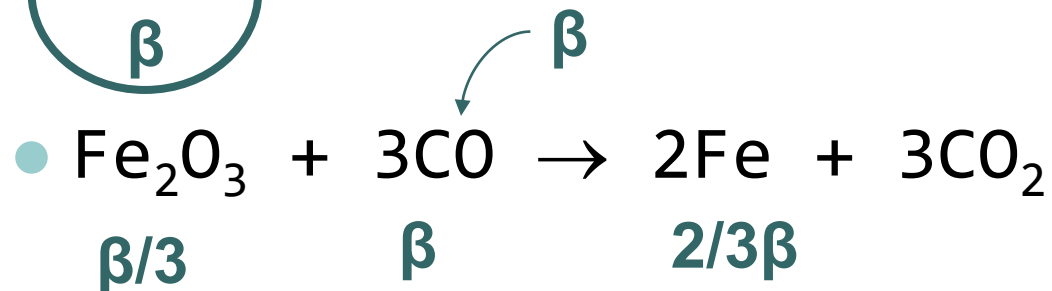
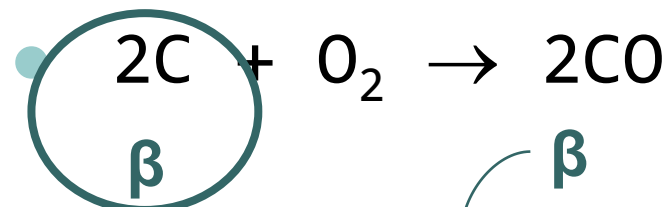
Παραγωγή χυτοσιδήρου

Άμεση αναγωγή



$$3/2\alpha = \beta$$

Έμμεση αναγωγή



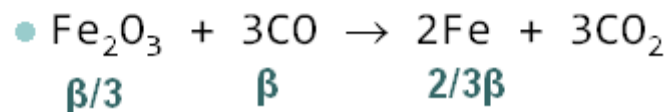
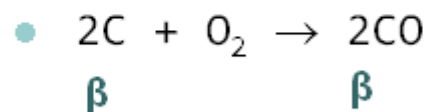
Παραγωγή χυτοσιδήρου

- Οι διαθέσιμες ποσότητες είναι:
 - Σιδηρομετάλλευμα
 - 1000 tn με 87% περιεκτικότητα
 - $1000 \times 0,87 = 870 \text{ tn}$
 - MB $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 160$
 - Αριθμός moles: $870/160 = 5,4375 \text{ Mmoles}$
 - Κωκ
 - 1000 tn με 90% περιεκτικότητα
 - $1000 \times 0,9 = 900 \text{ tn}$

◦ Άμεση αναγωγή



◦ Έμμεση αναγωγή



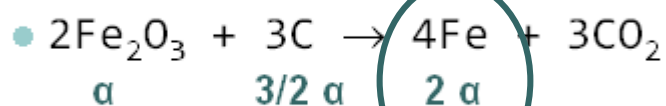
Θεωρώντας ότι όλος ο αιματίτης καταναλώνεται,

$$\mathbf{\alpha + \beta/3 = 5,4375 \quad (2)}$$

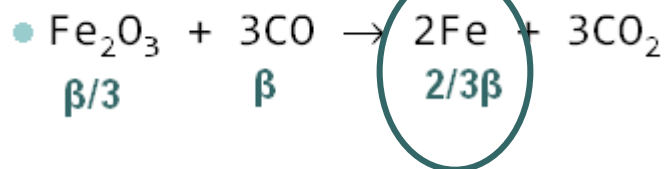
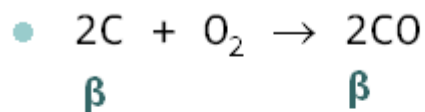
$$(2) \xrightarrow{(1)} \alpha + \frac{1}{3} \frac{3}{2} \alpha = 5,4375 \Rightarrow 1,5\alpha = 5,4375 \Rightarrow \alpha = 3,625$$

$$\beta = \frac{3}{2} \alpha \Rightarrow \beta = \frac{3}{2} 3,625 \Rightarrow \beta = 5,4375$$

○ Άμεση αναγωγή



○ Έμμεση αναγωγή



$$\alpha = 3,625$$

$$\beta = 5,4375$$

Τί παράγεται
από άμεση
αναγωγή;

$$2\alpha = 2 \times 3,625 = 7,25 \text{ Mmoles}$$

$$\text{MB Fe} = 56$$

$$7,25 \times 56 = 406 \text{ tn}$$

Τί παράγεται
από έμμεση
αναγωγή;

$$2/3\beta = 2/3 \times 5,4375 = 3,625 \text{ Mmoles}$$

$$\text{MB Fe} = 56$$

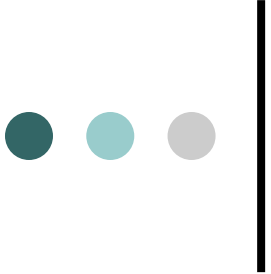
$$3,625 \times 56 = 203 \text{ tn}$$

Παραγωγή χυτοσιδήρου

- Οι ποσότητες αυτές αντιπροσωπεύουν την καθαρή μάζα του σιδήρου στο τελικό προϊόν.
- Το τελικό προϊόν περιέχει 4,6% C, άρα περιέχει $100 - 4,6 = 95,4\%$.
- Δηλ., οι ποσότητες που υπολογίσαμε είναι το 95,4% του τελικού προϊόντος.
- Τελικά παράγεται:
 - Άμεσα: $406 / 0,954 = 425,57$ tn
 - Έμμεσα: $203 / 0,954 = 212,79$ tn

3.5 Εφαρμογές (7)

- Διατίθεται σιδηρομετάλλευμα 1000 tn με περιεκτικότητα 87% κ.β. σε αιματίτη (Fe_2O_3). Να προσδιορίσετε τη μέγιστη ποσότητα χυτοσιδήρου (σε tn) περιεκτικότητας 83% κ.β. σε σίδηρο που είναι δυνατόν να παραχθεί.
- Σημειώνεται ότι κατά τη διαδικασία παραγωγής, κάποια ποσότητα σιδηρομεταλλεύματος ανάγεται άμεσα, σύμφωνα με την αντίδραση:
 - $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightarrow 4\text{Fe} + 3\text{CO}_2$
- ενώ η υπόλοιπη ανάγεται έμμεσα με σύγχρονη έκλυση θερμότητας:
 - $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$
 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$

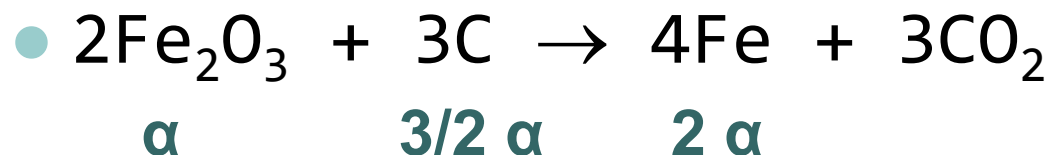


3.5 Εφαρμογές (7)

- Οι διαθέσιμες ποσότητες είναι:
 - Σιδηρομετάλλευμα
 - 1000 tn με 87% περιεκτικότητα
 - $1000 \times 0,87 = 870 \text{ tn}$
 - MB $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 160$
 - Αριθμός moles: $870/160 = 5,4375 \text{ Mmoles}$

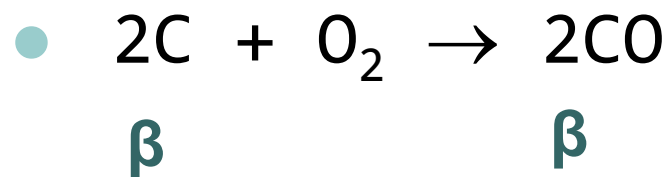
3.5 Εφαρμογές (7)

○ Άμεση αναγωγή

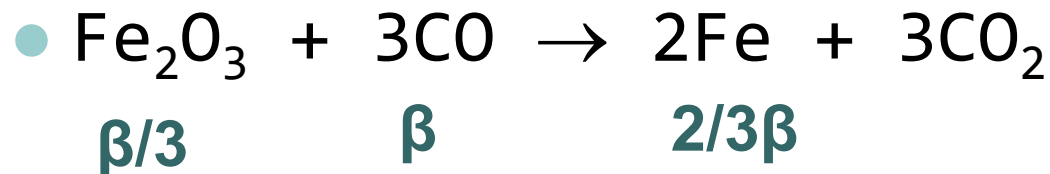


Αντιδρά $\alpha + \beta/3$

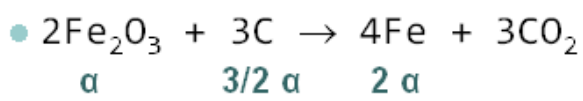
○ Έμμεση αναγωγή



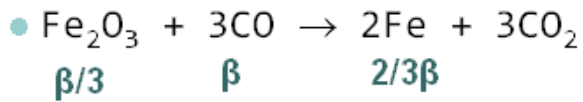
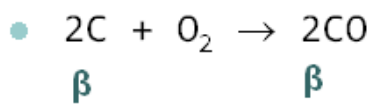
Παράγεται $2\alpha + 2/3\beta$



ο Άμεση αναγωγή



ο Έμμεση αναγωγή



- 1 Αντιδρά $\alpha + \beta/3$
- 2 Παράγεται $2\alpha + 2/3\beta$

Τί ξέρω;

$$\alpha + \beta/3 = 5,4375$$

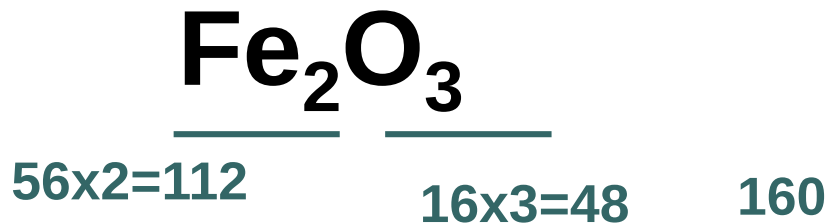
Το τελικό προϊόν είναι 83% σίδηρος. Αν x η τελική μάζα, τότε:

$$0,83x = (2\alpha + 2/3\beta)56$$

Τελικά με αυτόν τον τρόπο δεν μπορώ να βρω τίποτε.

3.5 Εφαρμογές (7)

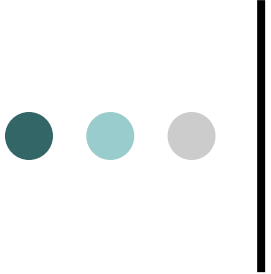
- Αφού θεώρησα ότι καταναλώνεται όλος ο σίδηρος, η μέγιστη ποσότητα που είναι δυνατόν να παραχθεί σημαίνει ότι όλος ο σίδηρος στο μετάλλευμα περνάει στο τελικό προϊόν.
- Ο σίδηρος υπάρχει στους 870 tn αιματίτη.



Στα 160 περιέχονται 112

Στα 870

? = 609 tn

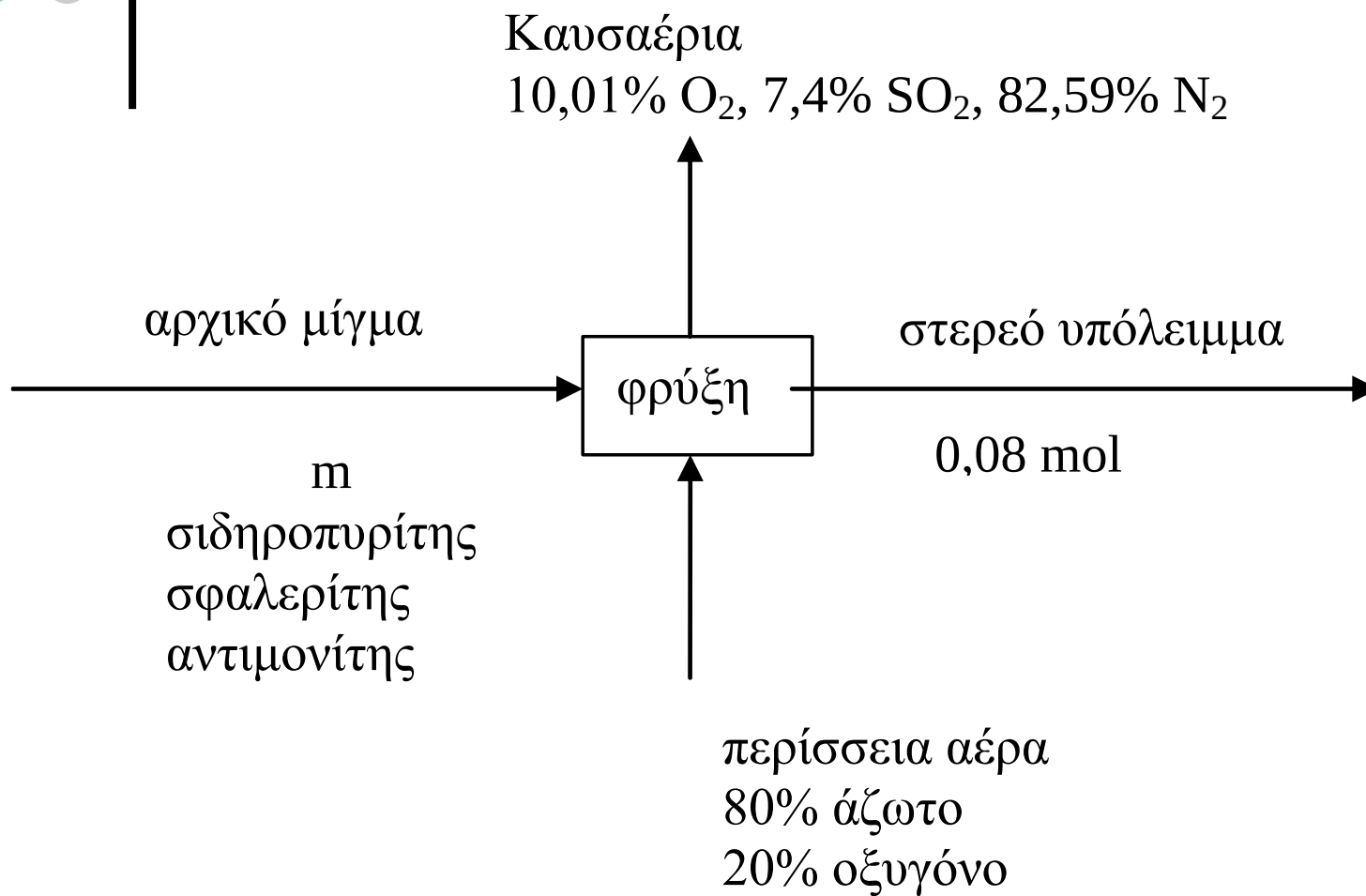
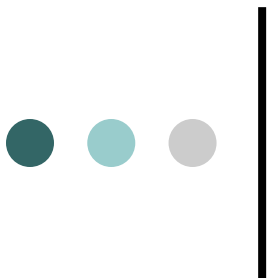


3.5 Εφαρμογές (7)

- Άρα, βάσει της πρώτης ύλης η μέγιστη ποσότητα σιδήρου στο τελικό προϊόν μπορεί να είναι 609 tn
- Οι 609 tn είναι το 83% του τελικού προϊόντος, δηλ., η μάζα του τελικού προϊόντος είναι:
- $609/0,83=733,73$ tn

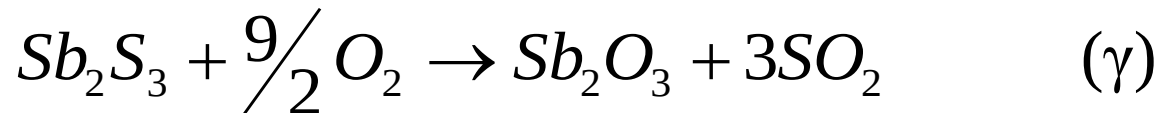
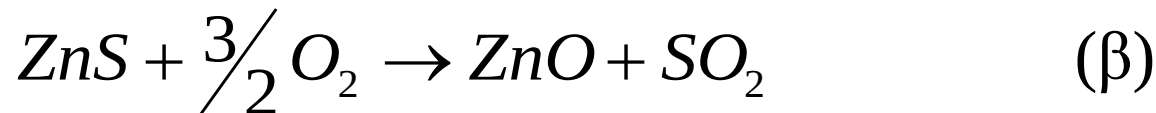
3.5 Εφαρμογές (8)

- Μίγμα σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη και αντιμονίτη φρύσσεται με περίσσεια αέρα οπότε απομένει στερεό υπόλειμμα, που περιέχει 0,08 γραμμομόρια απ' τα περιεχόμενα σ' αυτό συστατικά.
- Ο όγκος των αερίων μετά τη μεταφορά τους στις Κ.Σ. είναι 72,648 L και περιέχει 10,01% O_2 και 82,59% N_2 .
- Ποιο ήταν το βάρος του αρχικού μίγματος; (Σύσταση αέρα 80% N_2 και O_2).



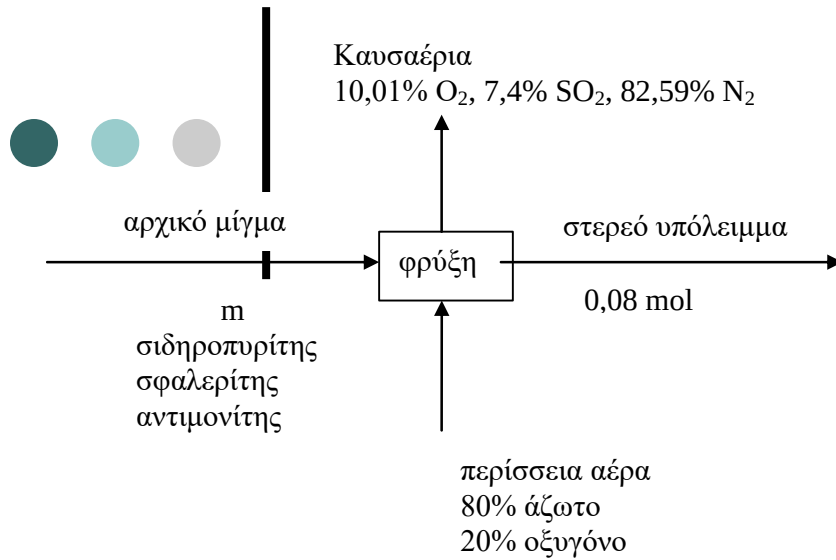
3.5 Εφαρμογές (8)

- Οι αντιδράσεις που γίνονται (με αναλογία mol $N_2 : O_2$ είναι 4:1) είναι:



- Δίνονται τα ατομικά βάρη: Fe=56, O=16, N=7, S=32, Zn=65,38, Sb=121,75

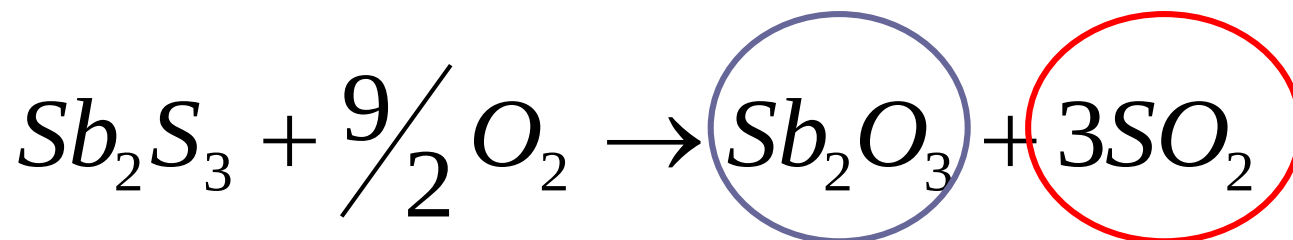
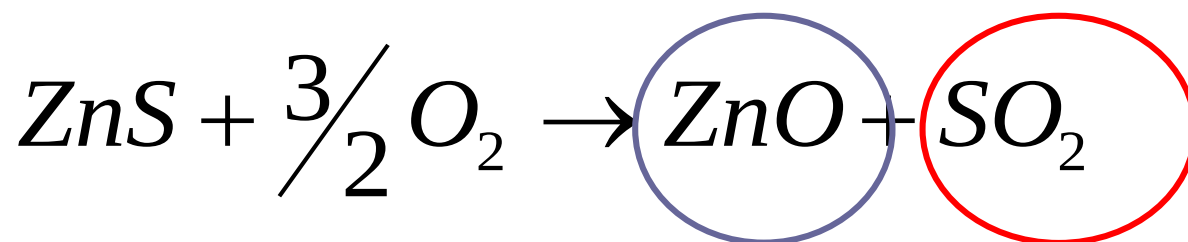
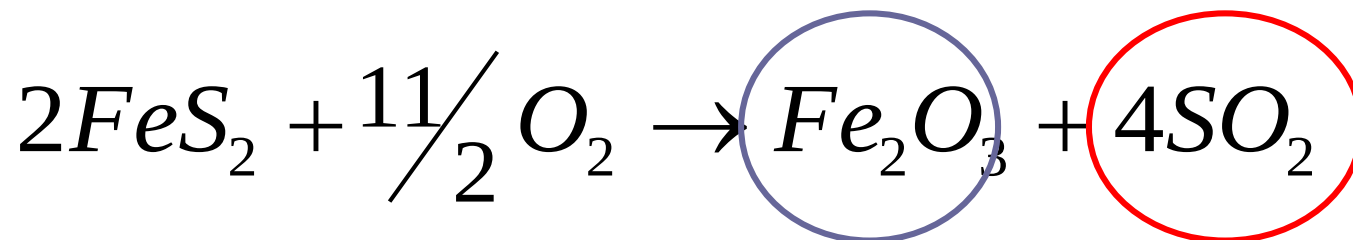
Μεθοδολογία



- Τα τρία ορυκτά καίγονται με οξυγόνο
- Μετά την καύση προκύπτει στερεό υπόλειμμα
 - Αφού οι αντιδράσεις είναι 100%, το στερεό υπόλειμμα θα περιέχει μόνον προϊόντα
- Προκύπτουν και καυσαέρια, τα οποία περιέχουν
 - Τα αέρια προϊόντα της φρύξης (SO₂)
 - Το οξυγόνο που περίσσεψε
 - Και το άζωτο που δεν καταναλώθηκε πουθενά

Μεθοδολογία

Στερεό υπόλειμμα?



+ το οξυγόνο που δεν
καταναλώθηκε + όλο το άζωτο

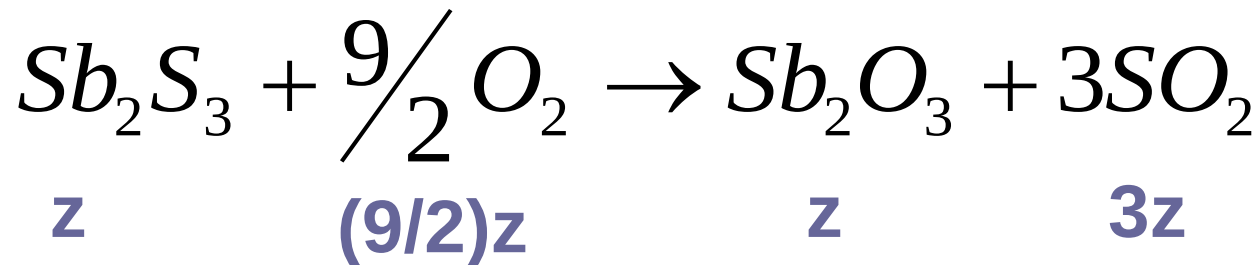
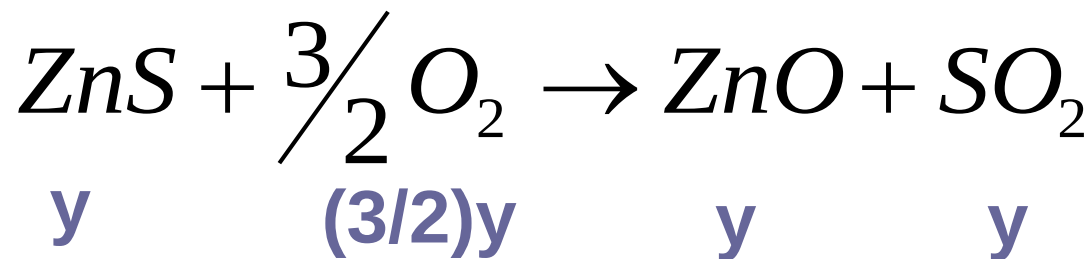
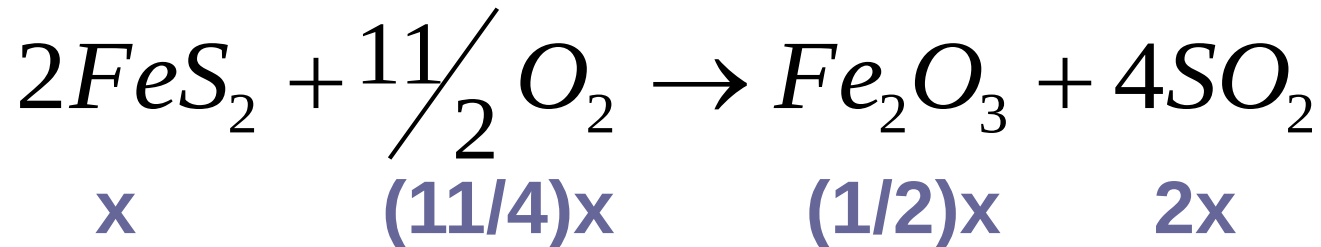
Τί υπάρχει στα
καυσαέρια?

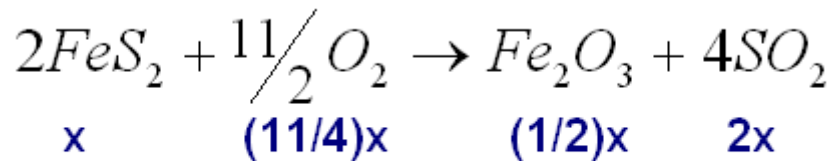
Έστω μείγμα μάζας m που περιέχει αρχικά

FeS_2 : x moles

ZnS : y moles

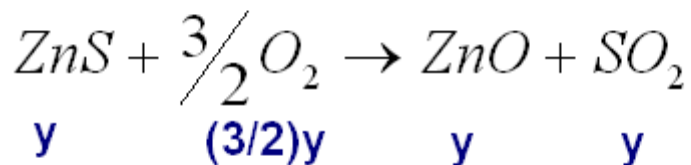
Sb_2S_3 : z moles



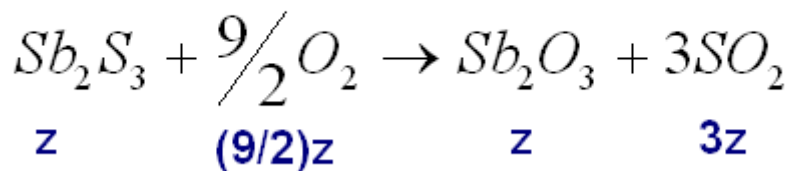


Το στερεό υπόλειμμα είναι 0,08 moles

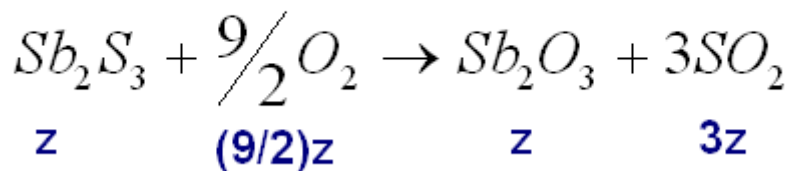
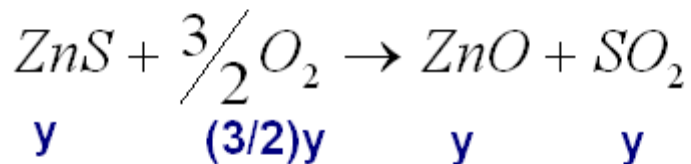
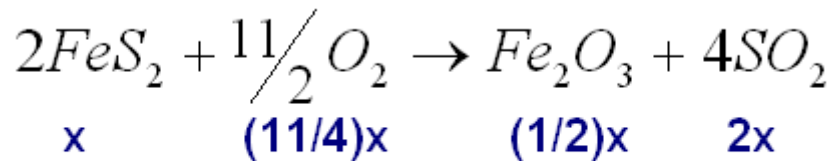
Δηλ.,



$$0,5x + y + z = 0,08 \quad (1)$$

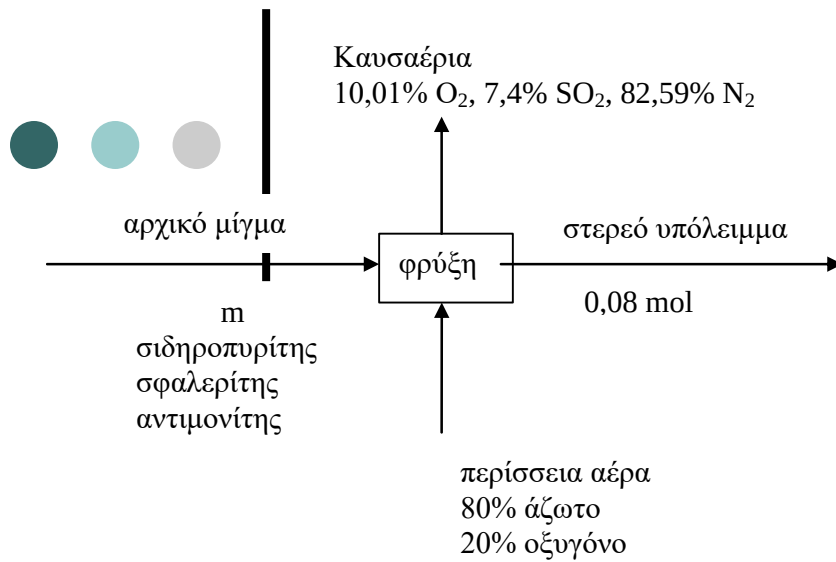


- Το οξυγόνο που καταναλώθηκε είναι:
 - $2,75x + 1,5y + 4,5z \quad (2)$
- Το διοξείδιο του θείου που παρήχθη είναι
 - $2x + y + 3z \quad (3)$
- Πρέπει να εξισώσω με κάτι τις σχέσεις (2) και (3)



Η επιπλέον πληροφόρηση
έρχεται από τη σύσταση των
καυσαερίων

- Τα καυσαέρια έχουν όγκο 72,648L και περιέχουν:
 - 7,4% SO₂: 0,074 * 72,648 = 5,376 L
 - 5,376/22,4 = 0,24 moles
 - Άρα: 2x + y + 3z = 0,24 (3)
 - Το οξυγόνο παρουσιάζει κάποιες
δυσκολίες



Στην είσοδο, λοιπόν,
μπήκαν 0,670 moles
οξυγόνου

○ Στην έξοδο υπάρχουν:

- 10,01% O₂: $0,1001 * 72,648 = 7,27\text{L}$
 - $7,27/22,4 = 0,3245 \text{ moles}$
- Άρα μπήκαν 0,670 moles και βγήκαν 0,324 moles
- Άρα, καταναλώθηκαν στις αντιδράσεις
 - $0,670 - 0,3245 = 0,34 \text{ moles}$
- $2,75x + 1,5y + 4,5z = 0,34 \quad (2)$

3.5 Εφαρμογές (8)

- Έχουμε τώρα ένα σύστημα τριών αγνώστων και τριών εξισώσεων
 - $0,5x + y + z = 0,08$ (1)
 - $2,75x + 1,5y + 4,5z = 0,34$ (2)
 - $2x + y + 3z = 0,24$ (3)
- Επιλύοντας το σύστημα προκύπτει ότι
 - $x = 0,08$ moles
 - $y = 0,02$ moles
 - $z = 0,02$ moles

3.5 Εφαρμογές (8)

- Αφού υποθέσαμε μείγμα μάζας m που περιέχει αρχικά
 - FeS_2 : $x \text{ moles} = 0,08$ (MB: 120)
 - ZnS : $y \text{ moles} = 0,02$ (MB: 97,38)
 - Sb_2S_3 : $z \text{ moles} = 0,02$ (MB: 339,5)
- Οι επιμέρους ποσότητες είναι:
 - FeS_2 : $0,08 \cdot 120 = 9,6 \text{ g}$
 - ZnS : $0,02 \cdot 97,38 = 1,95 \text{ g}$
 - Sb_2S_3 : $0,02 \cdot 339,5 = 6,79 \text{ g}$

18,34 g