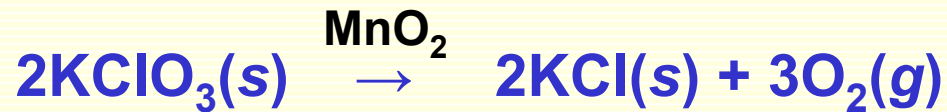


# Καταλύτες – Κατάλυση

Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η ταχύτητα μιας αντίδρασης;  
Φύση των αντιδρώντων, συγκέντρωση αντιδρώντων, πίεση (για αέρια), επιφάνεια επαφής (για ετερογενείς αντιδράσεις), θερμοκρασία, ακτινοβολίες, καταλύτες.

Τι ονομάζουμε καταλύτη και τι κατάλυση;



Καταλύτης: απλή παρουσία ή χάραξη νέας πορείας αντίδρασης;



Παρουσία καταλύτη C:



Μπορεί ένας καταλύτης να δρα απεριόριστα;

Τι ονομάζουμε δηλητηρίαση ενός καταλύτη;

Τι είναι η αναγέννηση ενός καταλύτη;

# Ομογενής κατάλυση



Ομογενής κατάλυση: Οξείδωση  $\text{SO}_2$  προς  $\text{SO}_3$  με καταλύτη το  $\text{NO}$



Προτεινόμενος μηχανισμός

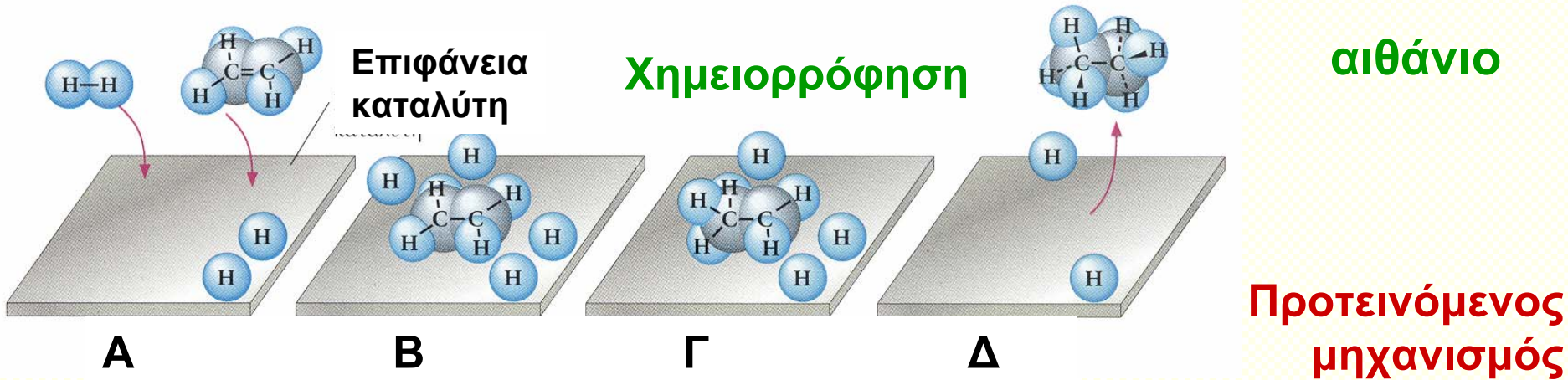
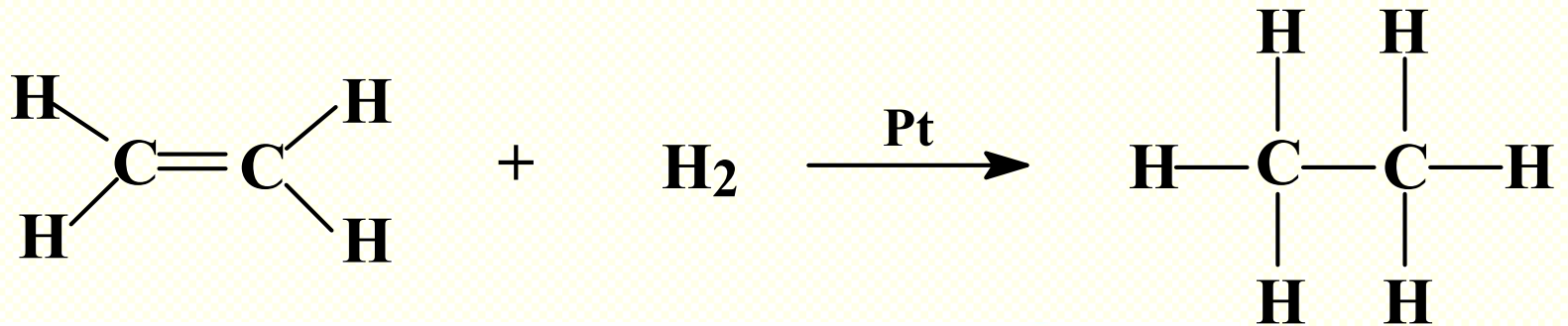


Η καταστροφή του  
όζοντος της  
στράτοσφαιρας από  
άτομα  $\text{Cl}$



# Ετερογενής κατάλυση

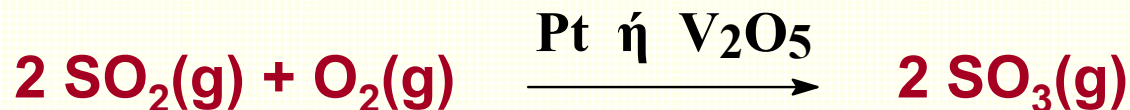
Ετερογενής κατάλυση: καταλυτική υδρογόνωση αιθυλενίου



- (A) Μόρια  $\text{C}_2\text{H}_4$  και  $\text{H}_2$  διαχέονται προς τον καταλύτη. (B) Τα μόρια σχηματίζουν δεσμούς με την επιφάνεια του καταλύτη. (Τα μόρια  $\text{H}_2$  δίστανται σε άτομα  $\text{H}$ ). (Γ) Άτομα  $\text{H}$  μεταναστεύουν προς το μόριο  $\text{C}_2\text{H}_4$ , όπου αντιδρούν και σχηματίζουν  $\text{C}_2\text{H}_6$ . (Δ) Το μόριο  $\text{C}_2\text{H}_6$  διαχέεται μακριά από τον καταλύτη.

# Ετερογενής κατάλυση (εφαρμογές)

Βιομηχανική παραγωγή θειικού οξέος (μέθοδος επαφής)



- Προσρόφηση  $\text{SO}_2(\text{g})$  και  $\text{O}_2(\text{g})$  πάνω στα ενεργά κέντρα του  $\text{Pt}$  ή  $\text{V}_2\text{O}_5$
- Αντίδραση προς  $\text{SO}_3(\text{g})$
- Εκρόφηση του  $\text{SO}_3(\text{g})$

Παραγωγή θειικού οξέος:

Διαβίβαση του  $\text{SO}_3(\text{g})$  σε  $\text{H}_2\text{SO}_4(\ell)$

$\text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\ell) \rightarrow \text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7(\ell)$  (πυροσουλφονικό οξύ, ή oleum ή ατμίζον θειικό οξύ)

$\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7(\ell) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{SO}_4(\ell)$

Δηλητηρίαση του  $\text{Pt}$  από ενώσεις του  $\text{As}$  ( $1 \times 10^{-8}$  g !!!)

⇒ αντικατάσταση του  $\text{Pt}$  από  $\text{V}_2\text{O}_5$

# Ετερογενής κατάλυση (εφαρμογές)

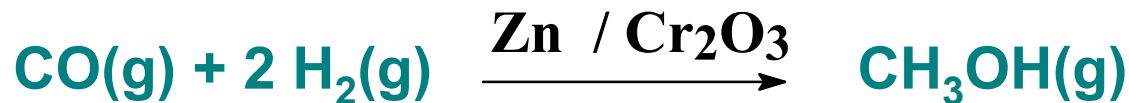
Ενεργά κέντρα ενός καταλύτη

Πρωθητές (ή ενεργοποιητές)

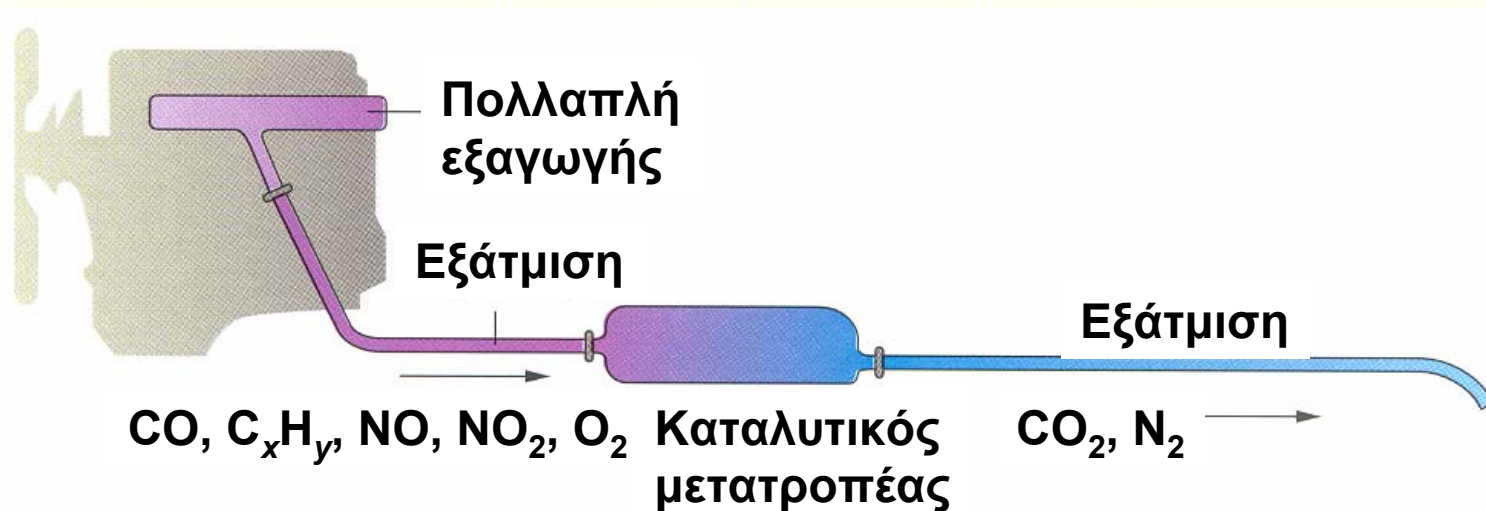
Σύνθεση αμμωνίας (μέθοδος Haber)



Εξειδίκευση καταλυτών

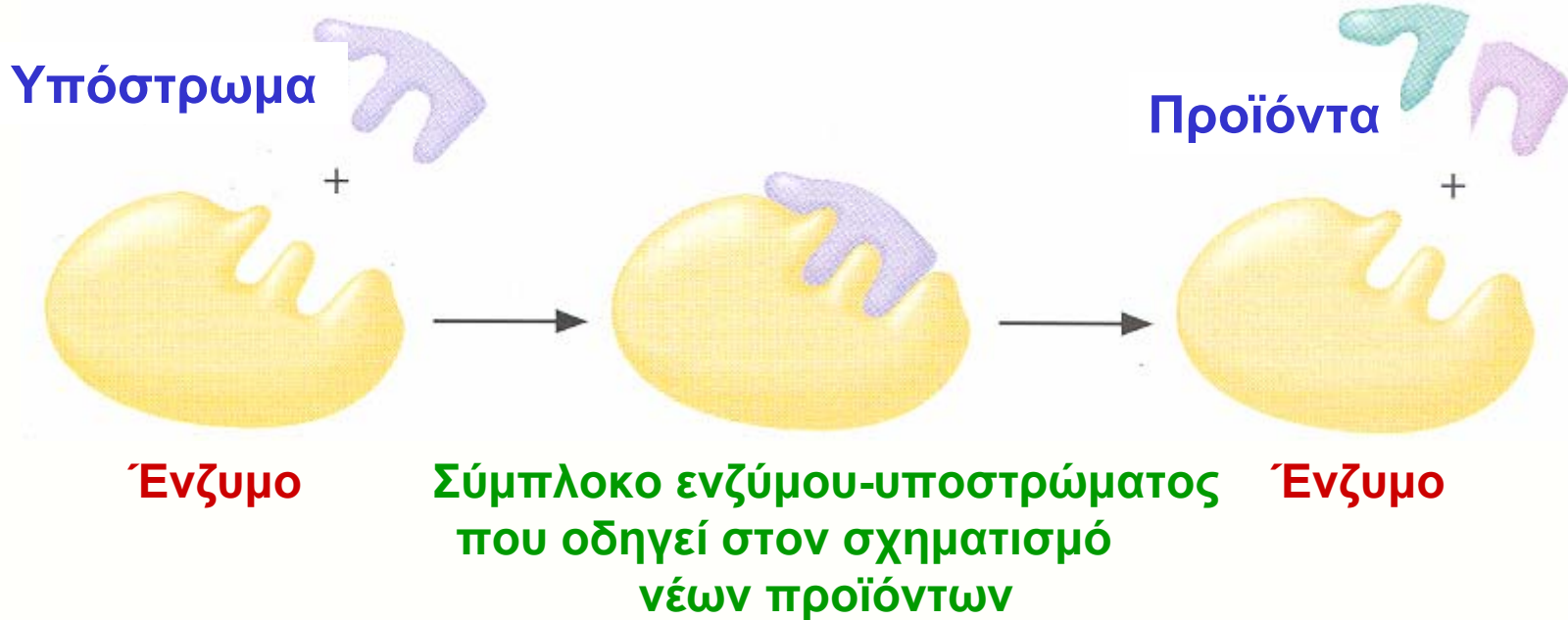


# Ετερογενής κατάλυση (εφαρμογές)





# Ενζυμική κατάλυση



## Ενζυμική δράση (μοντέλο κλειδαριάς και κλειδιού)

Το ένζυμο έχει ένα ενεργό κέντρο στο οποίο συνδέεται το υπόστρωμα για να σχηματίσει ένα σύμπλοκο ενζύμου – υποστρώματος. Το ενεργό κέντρο του ενζύμου δρα όπως μια κλειδαριά στην οποία ταιριάζει το υπόστρωμα (κλειδί). Στη διάρκεια της σύνδεσης του υποστρώματος με το ένζυμο, κάποιοι δεσμοί του υποστρώματος εξασθενούν ή κάποιοι νέοι δεσμοί σχηματίζονται δημιουργώντας τα προϊόντα, τα οποία στη συνέχεια εγκαταλείπουν το ένζυμο.

# Πείραμα 37: Καταλυτική διάσπαση του $\text{H}_2\text{O}_2$

**Όργανα:** Δοκιμαστικοί σωλήνες, ογκομετρικός κύλινδρος 10 mL, γουδί, σταγονόμετρο

**Χημικά:** Διάλυμα  $\text{H}_2\text{O}_2$  (10% *m/m*), πυκνό διάλυμα  $\text{NaI}$ , διάλυμα  $\text{NaOH}$  1 *M*, διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης,  $\text{MnO}_2$ , ενεργός άνθρακας (κοκκώδης), παρασχίδες ξύλου

**Πορεία:**

1. Προσθέστε από 5 mL διαλύματος  $\text{H}_2\text{O}_2$  σε 4 δοκιμαστικούς σωλήνες.
2. Εξουδετερώστε το περιεχόμενο  $\text{H}_3\text{PO}_4$  με μερικές σταγόνες διαλύματος  $\text{NaOH}$ .
3. Προσθέστε στον πρώτο δοκιμαστικό σωλήνα 2 mL διαλύματος  $\text{NaI}$  και ανιχνεύστε το εκλυόμενο οξυγόνο με μια μισοσβησμένη παρασχίδα ξύλου.
4. Επαναλάβετε το προηγούμενο στάδιο με τους υπόλοιπους δοκιμαστικούς σωλήνες, χρησιμοποιώντας στη θέση του  $\text{NaI}$  διαδοχικά τις ουσίες:  $\text{MnO}_2$  (0,5 g), ενεργός άνθρακας (3 κόκκους), ενεργός άνθρακας (0,5 g σε λεπτό διαμερισμό).



## Πείραμα 38: Δηλητηρίαση καταλύτη

**Όργανα:** Δοκιμαστικοί σωλήνες, σταγονόμετρο

**Χημικά:** Διάλυμα  $\text{H}_2\text{O}_2$  (10% *m/m*), ζύμη (μαγιά) σε σκόνη, διάλυμα KCN 1 M (**προσοχή ! πολύ δηλητηριώδες**).

**Πορεία:**

- 1.** Προετοιμάστε δύο δείγματα διαλύματος  $\text{H}_2\text{O}_2$ , επαναλαμβάνοντας τα στάδια 1 και 2 του προηγούμενου πειράματος.
- 2.** Προσθέστε στον πρώτο δοκιμαστικό σωλήνα μικρή ποσότητα ζύμης (στην άκρη της σπάτουλας) και παρατηρήστε την έντονη έκλυση αερίου.
- 3.** Προσθέστε στο δεύτερο δοκιμαστικό σωλήνα μερικές σταγόνες διαλύματος KCN και στη συνέχεια πάλι μικρή ποσότητα ζύμης. Τι παρατηρείτε;

# Πείραμα 39: Αυτοκατάλυση της αντίδρασης $\text{KMnO}_4 - \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$

**Όργανα:** Κωνικές φιάλες 100 mL, ογκομετρικός κύλινδρος 10 mL, σταγονόμετρο

**Χημικά:** Διαλύματα  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  0,05 M,  $\text{KMnO}_4$  0,02 M,  $\text{MnSO}_4$  1 M πυκνού  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (**Προσοχή!** πολύ διαβρωτικό)

**Πορεία:**

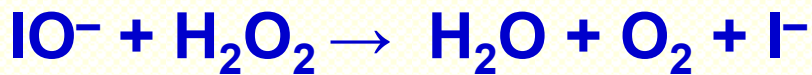
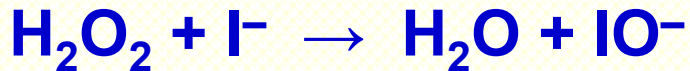
1. Μεταφέρετε από 10 mL διαλύματος  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  σε δύο κωνικές φιάλες.
2. Προσθέστε υπό ανακίνηση 2 mL διαλύματος  $\text{H}_2\text{SO}_4$  σε καθεμία κωνική φιάλη.
3. Ρίξτε στην πρώτη κωνική φιάλη 5 σταγόνες διαλύματος  $\text{MnSO}_4$ .
4. Προσθέστε και στα δύο διαλύματα από 5 σταγόνες διαλύματος  $\text{KMnO}_4$  και παρατηρήστε πόσο γρήγορα εξαφανίζεται το ερυθροϊώδες χρώμα σε κάθε δείγμα.

# Πειραματικά αποτελέσματα

Πείραμα 37 Καταλυτική διάσπαση του  $\text{H}_2\text{O}_2$

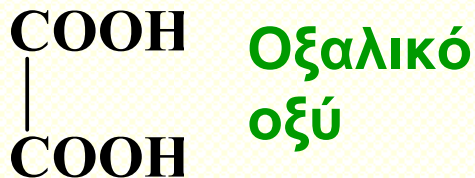
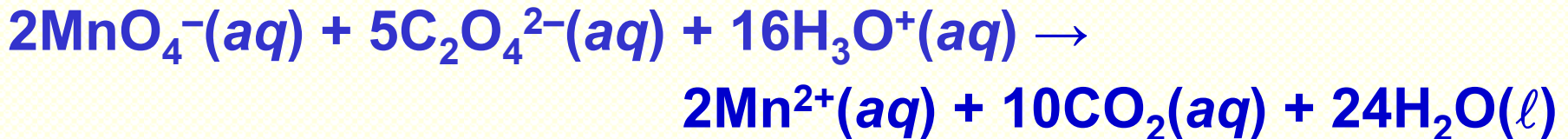


Πιθανός μηχανισμός



Πείραμα 38 Δηλητηρίαση καταλύτη

Πείραμα 39 Αυτοκατάλυση της αντίδρασης  $\text{KMnO}_4\text{-Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$



# Άσκηση 1

Σε ποια περίπτωση η κατάλυση της διάσπασης του  $\text{H}_2\text{O}_2$  στο Πείραμα 37 είναι ομογενής; Σε ποια ετερογενής; Διατυπώστε με χημικές εξισώσεις τη διάσπαση του  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Ομογενής κατάλυση: Η διάσπαση του  $\text{H}_2\text{O}_2$  από ιόντα  $\text{I}^-$



Πιθανός μηχανισμός



Ετερογενής κατάλυση:

Η διάσπαση του  $\text{H}_2\text{O}_2$  από  $\text{MnO}_2$  και ενεργό άνθρακα

## Άσκηση 2

Γιατί στην αρχή των Πειραμάτων 37 και 38 εξουδετερώνουμε το περιεχόμενο  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ;

Το  $\text{H}_3\text{PO}_4$  είναι παρεμποδιστής της διάσπασης του  $\text{H}_2\text{O}_2$  και αν δεν εξουδετερωθεί θα δυσκολεύει την επιδιωκόμενη διάσπαση του  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Εξουδετέρωση με NaOH:



Η εμφάνιση του ρόδινου χρώματος της φαινολοφθαλεΐνης δείχνει ότι το διάλυμα είναι βασικό και άρα το περιεχόμενο  $\text{H}_3\text{PO}_4$  έχει εξουδετερωθεί.

# Άσκηση 3

Για ποιο λόγο στο Πείραμα 37 ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται μία φορά κοκκώδης και μία φορά λεπτά διαμερισμένος;

Στην ετερογενή κατάλυση, η αντίδραση συντελείται ακριβώς πάνω στην επιφάνεια του καταλύτη, μέσω χημικής προσρόφησης (χημειορρόφησης) των αντιδρώντων.

Γι' αυτό ο καταλύτης παρασκευάζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εξασφαλίζονται μεγάλα εμβαδά επιφάνειας ανά μονάδα μάζας του καταλύτη (μέταλλα, οξειδία μετάλλων κ.λπ. σε λεπτότατο διαμερισμό ή σπογγώδη μορφή).



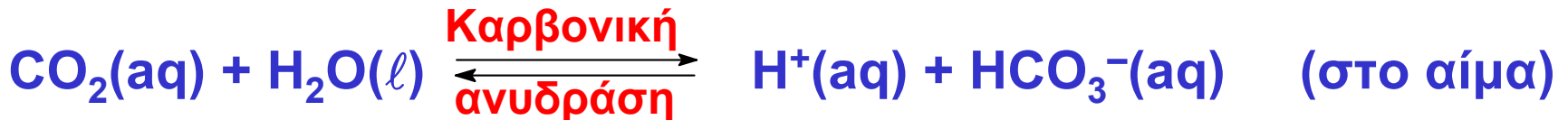
# Άσκηση 4

Μπορεί ένας καταλύτης να επηρεάσει τη θέση ισορροπίας μιας χημικής αντίδρασης; Εξηγήστε.

Ένας καταλύτης μετατρέπει το μηχανισμό της αντίδρασης σε άλλο μηχανισμό που έχει μεγαλύτερη ταχύτητα.

Ο καταλύτης έχει την ίδια επίδραση, τόσο πάνω στην αντίδραση προς τα δεξιά, όσο και πάνω στην αντίθετής της, αφού η θέση της χημικής ισορροπίας είναι ανεξάρτητη από το μηχανισμό της αντίδρασης.

Όμως, ένας καταλύτης αναγκάζει το σύστημα να φθάσει στη θέση ισορροπίας ταχύτερα απ' ό,τι θα έφθανε με άλλο τρόπο.



Η καρβονική ανυδράση αυξάνει την ταχύτητα και των δύο αντιδράσεων κατά έναν παράγοντα της τάξης  $10^6$  !!!

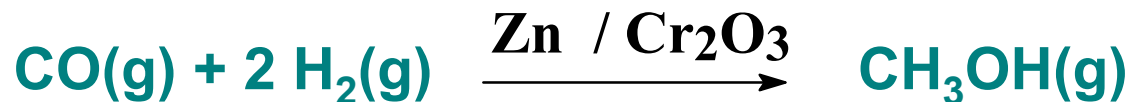
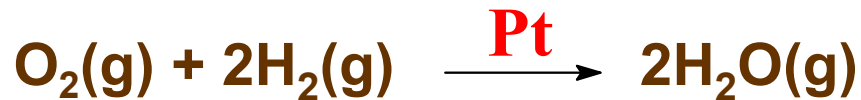
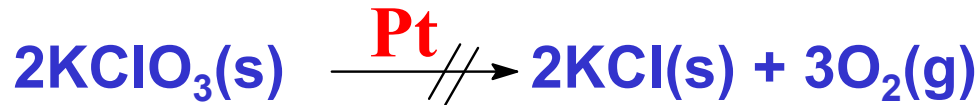
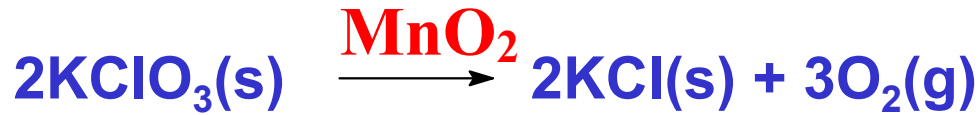
# Άσκηση 5

Αφού ένας καταλύτης ανακτάται πλήρως στο τέλος της αντίδρασης, γιατί πρέπει περιοδικά να αναγεννιέται ή ακόμα και να αντικαθίσταται;

Το αναλλοίωτο των καταλυτών είναι θεωρητικό, διότι βαθμιαία καθίστανται ανενεργοί, δηλαδή ανίκανος για καταλυτική δράση, είτε λόγω προσροφήσεως διαφόρων προσμίξεων, που συνυπάρχουν με τα αντιδρώντα σώματα, είτε λόγω επιδράσεως διαφόρων φυσικοχημικών αιτίων ⇒ **δηλητηρίαση του καταλύτη**

# Άσκηση 6

Αναφέρετε παραδείγματα, τα οποία να δείχνουν ότι η δράση των καταλυτών είναι εξειδικευμένη.



Μέθοδος Fischer-Tropsch παραγωγής συνθετικής βενζίνης από υδραέριο.

# Άσκηση 6

## Ένζυμα: Βιοκαταλύτες

Κάθε ένζυμο εξυπηρετεί μια ειδική λειτουργία σε βιολογικές αντιδράσεις, π.χ.



# Άσκηση 7

Η αναγωγή του  $\text{HNO}_3$  από  $\text{KI}$  είναι αντίδραση αυτοκατάλυσης. Διατυπώστε την αντίστοιχη χημική εξίσωση και προτείνετε τρόπους διαπίστωσης της ουσίας που αποτελεί τον καταλύτη.



Η μόνη ουσία που μπορεί να δράσει ως καταλύτης στην αυτοκαταλυόμενη αυτή αντίδραση είναι το  $\text{NO}(\text{g})$ .

Για διαπίστωση  $\Rightarrow$  διαβίβαση αερίου  $\text{NO}$  στην αρχή και έλεγχος της ταχύτητας αντιδράσεως

# Άσκηση 8

Με ποιους τρόπους μπορεί να αυξηθεί η δραστικότητα ενός καταλύτη;

(α) Αύξηση επιφάνειας (μεγάλα εμβαδά επιφάνειας ανά μονάδα μάζας  $\Rightarrow$  αύξηση αριθμού ενεργών κέντρων).

(β) Προσθήκη προωθητών (ενεργοποιητών), π.χ.



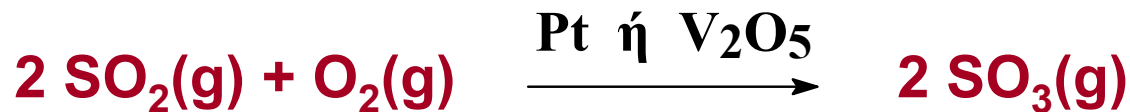


# Άσκηση 9

Ποια διαφορά υπάρχει ανάμεσα στις ουσίες που χαρακτηρίζονται ως δηλητήρια καταλυτών και σ' εκείνες που ονομάζονται παρεμποδιστές;

Παρεμποδιστής (inhibitor): στοιχείο ή ένωση που χρησιμοποιείται σε μια αντίδραση, προκειμένου να μειώσει τη δράση ενός καταλύτη (π.χ.  $\text{H}_3\text{PO}_4$  σε  $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

Δηλητήριο καταλύτη (catalytic poison): ουσία που χημειοροφάται πολύ έντονα, μη αντιστρεπτά και εκλεκτικά στα ενεργά κέντρα, με αποτέλεσμα να τα καλύπτει, απενεργοποιώντας έτσι τελείως τον καταλύτη, π.χ.



As = δηλητήριο του Pt

# Άσκηση 10

Όταν μια αντίδραση δεν πραγματοποιείται κάτω από ορισμένες συνθήκες, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με την προσθήκη κάποιου καταλύτη;

Καταλύτης: ουσία που αυξάνει την ταχύτητα μιας αντίδρασης, δηλαδή, η αντίδραση πρέπει έστω και κατ' ελάχιστο να λαμβάνει χώρα.

Άρα, αν μια αντίδραση δεν πραγματοποιείται καθόλου κάτω από κάποιες συνθήκες, δεν θα πραγματοποιηθεί ούτε παρουσία κάποιου καταλύτη.

# Άσκηση 11

Είναι δυνατόν η παρουσία ενός καταλύτη να καταστήσει μια αντίδραση περισσότερο ή λιγότερο εξώθερμη απ' ό,τι είναι; Γιατί;

Η μεταβολή  $\Delta H$  είναι ίδια για καταλυόμενη και μη καταλυόμενη αντίδραση. Δηλαδή, η απάντηση είναι ΟΧΙ.

# Άσκηση 11

