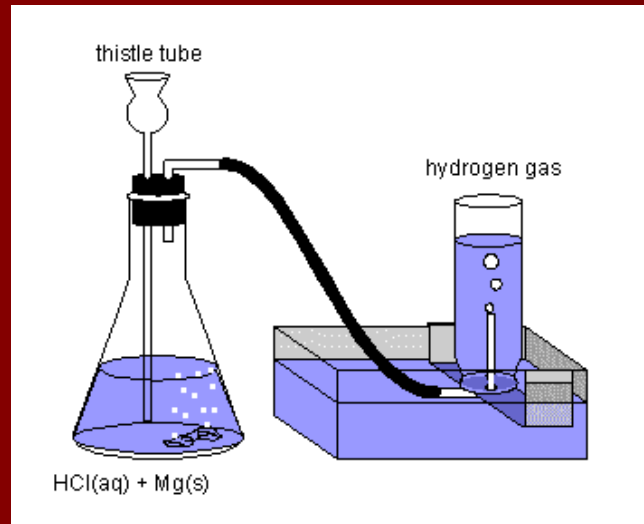




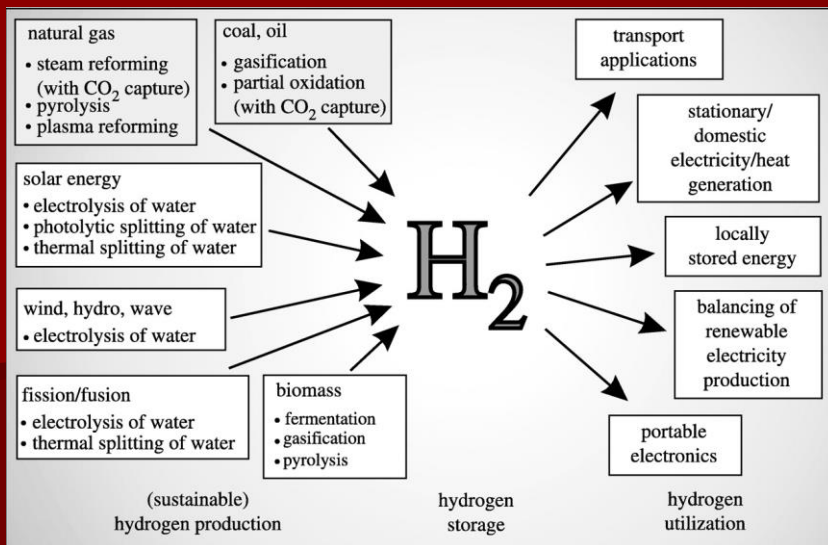
Life magazine 5 Jan 1953
Styrene production



Παραγωγή
αερίων

Τεχνολογία

Υδρογόνο



Aston Martin 13 Apr 2013
Hybrid Hydrogen Rapide S

Παραγωγή αερίων & χρήσεις

- Η χρήση ενώσεων σε αέρια μορφή είναι συνηθισμένη τόσο στην καθημερινότητα όσο και στη βιομηχανία
 - *χρήση φυσικού αερίου, καύση με οξυγόνο (αέρα), κλπ.*
- Αρκετές χημικές ουσίες και στοιχεία σε αέρια μορφή που παράγονται βιομηχανικά, συσκευάζονται και χρησιμοποιούνται σε άλλες βιομηχανικές δραστηριότητες.
- Κάποια αέρια παράγονται με εξειδικευμένη διαδικασία (π.χ., η αμμωνία) ή σαν παραπροϊόντα άλλων βιομηχανικών διαδικασιών

Παραγωγή αερίων

- **Ατμοσφαιρικά αέρια:** αργόν, το διοξείδιο του άνθρακα, το ήλιο, το άζωτο και το οξυγόνο
 - δηλ., αέριες ενώσεις ή στοιχεία τα οποία σε κανονικές συνθήκες αποτελούν μέρος της ατμόσφαιρας.
 - Διακρίνονται σε
 - μη δραστικά ή αδρανή
 - οξειδωτικά αέρια: οξυγόνο και διοξείδιο του αζώτου
- **Ar, O₂, N₂**
 - παράγονται κυρίως μέσω διαχωρισμού του αέρα στα συστατικά που τον αποτελούν
 - μειώνοντας τη θερμοκρασία του αέρα έως ότου κάθε συστατικό υγροποιηθεί και μπορεί να απομακρυνθεί.

Παραγωγή αερίων

■ CO₂

- παράγεται ως παραπροϊόν διαφόρων χημικών διεργασιών.

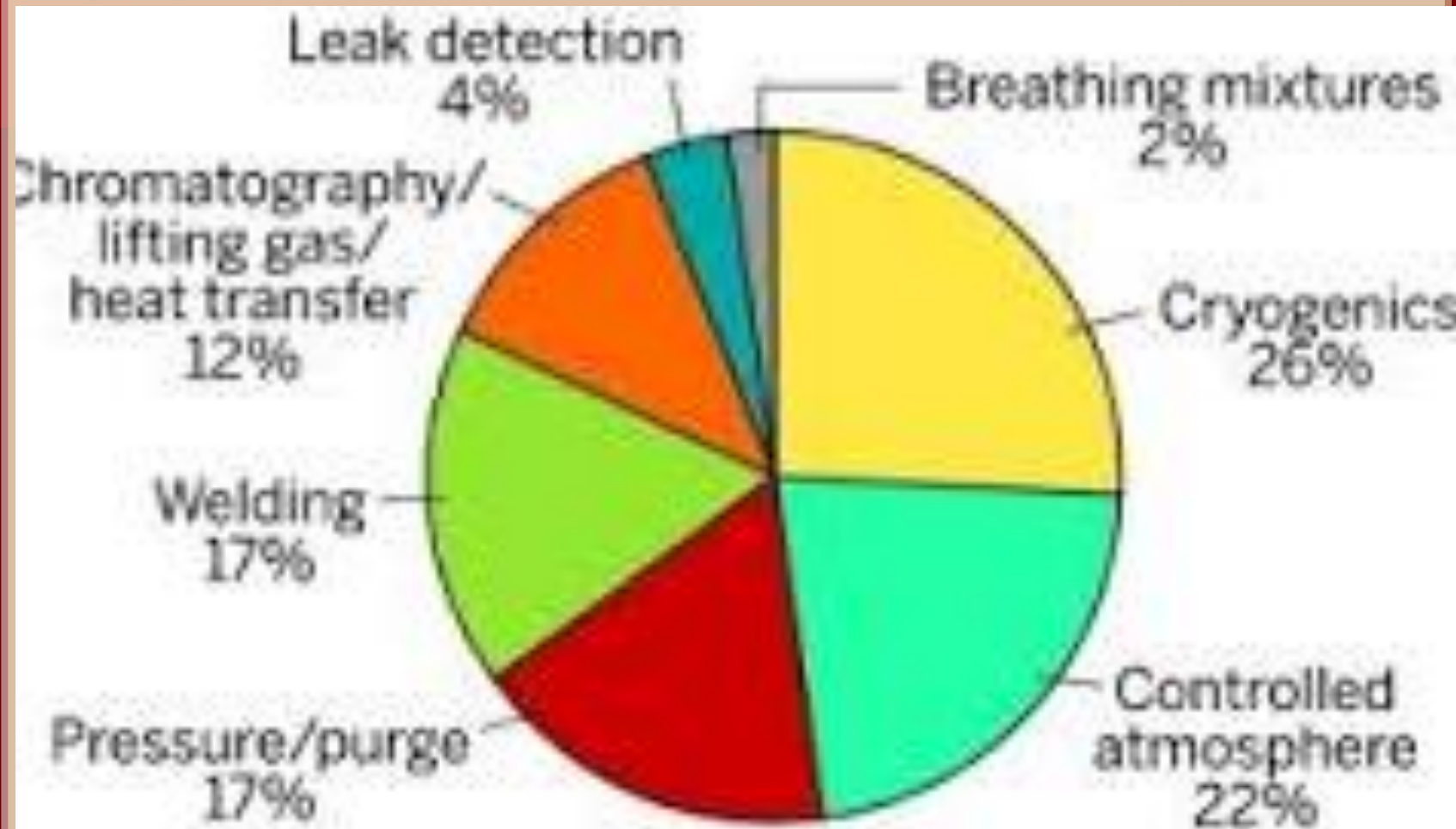
■ He

- εμφανίζεται στη φύση μόνο στο φλοιό της γης, παγιδευμένο σε μη πορώδεις θύλακες βράχων, όπως εμφανίζεται και το πετρέλαιο.
- Αυτοί οι θύλακες ηλίου βρίσκονται μόνο σε ορισμένες περιοχές της γης με τις κατάλληλες γεωλογικές ιδιότητες, με αποτέλεσμα το ήλιο να είναι ένα σπάνιο και ακριβό αέριο.

Χρήσεις

- Μίγματα των ευγενών στοιχείων (αργόν, ήλιου, κλπ.) χρησιμοποιούνται στη συγκόλληση.
 - Προστατεύουν την τελική συγκόλληση από τις επιδράσεις του οξυγόνου και του αζώτου που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα
 - Ενισχύουν ιδιότητες του μετάλλου συγκόλλησης, π.χ., αντοχή, αντίσταση στη διάβρωση και σκληρότητα
 - Βελτιστοποιούν το σχήμα και το μέγεθος του κορδονιού συγκόλλησης, τη συγκόλληση πορώδους υλικού καθώς και τη σύντηξη της συγκόλλησης.

Χρήσεις



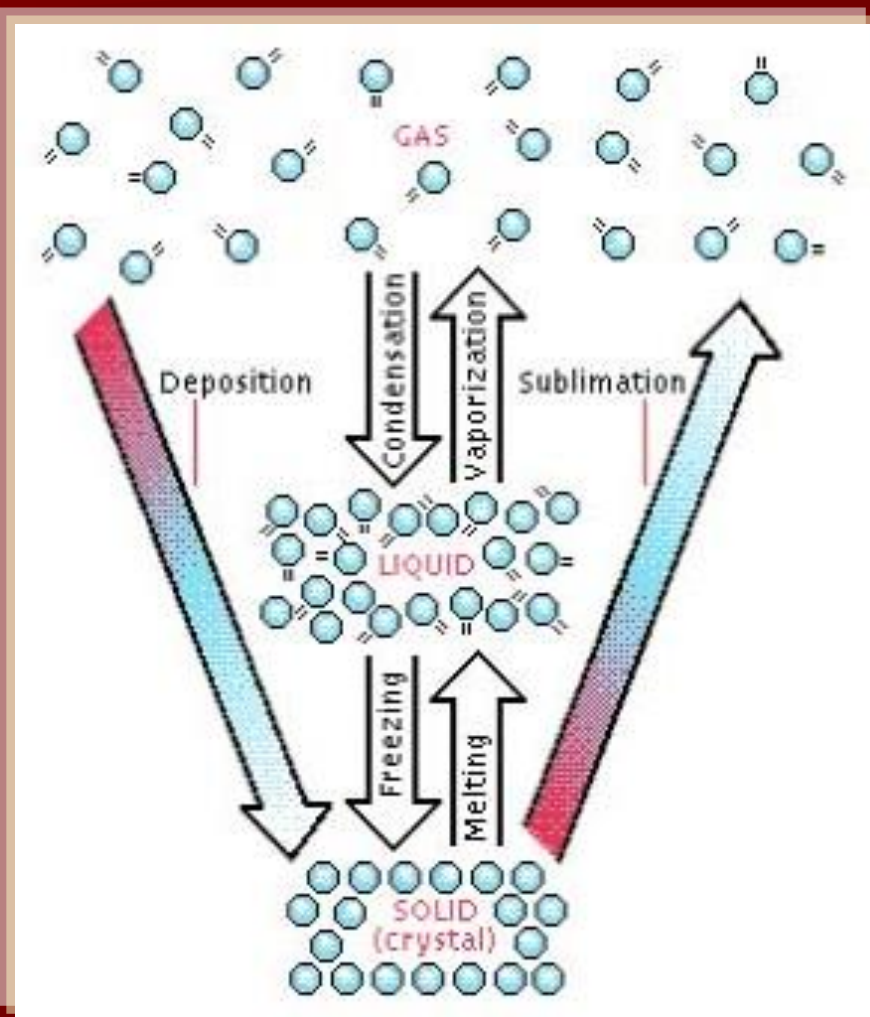
Helium use in 2011 = 1.6 billion cu ft

Χρήσεις

- Το διοξείδιο του άνθρακα σε μορφή νιφάδων (ξηρός πάγος), είναι ένα πολύ αποτελεσματικό και εύχρηστο μέσο ψύξης.
 - Συσκευάζεται συνήθως σε φιάλες ψεκασμού με ειδικά σχεδιασμένα ακροφύσια.
 - Το υγρό διοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε νιφάδες στερεού διοξειδίου του άνθρακα στους -79°C , οπότε αφήνεται να διασταλεί σε ατμοσφαιρική πίεση.
 - Όταν έρχονται σε στενή επαφή με κάποιο τρόφιμο, οι νιφάδες διοξειδίου του άνθρακα προκαλούν έντονη ψύξη.

Χρήσεις

- Η κρυογονική κατάψυξη τροφίμων με υγρό άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα είναι μια καθιερωμένη πρακτική η οποία βασίζεται στις χαμηλές θερμοκρασίες των αερίων αυτών (-196°C για το N_2) καθώς έρχονται σε επαφή με τα τρόφιμα.
- Τα αέρια για χρήση στα τρόφιμα πρέπει να συμμορφώνονται με την
 - οδηγία 96/77/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τα πρόσθετα τροφίμων σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης



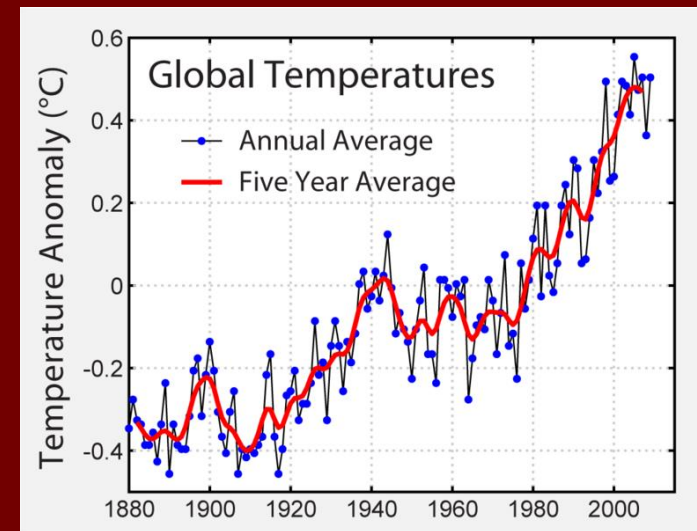
Παγκόσμια ενεργειακή κατάσταση

Αυξανόμενη χρήση ορυκτών καυσίμων



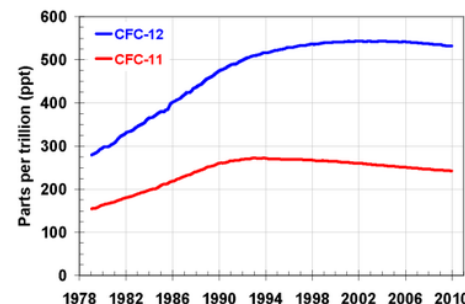
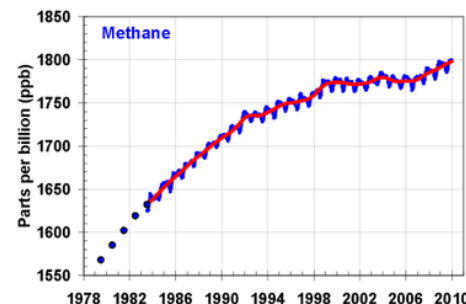
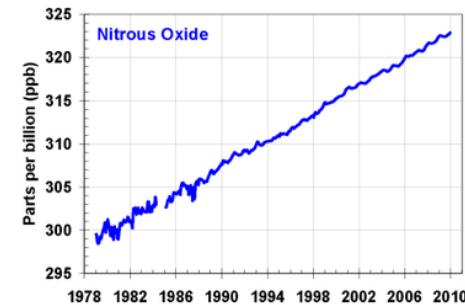
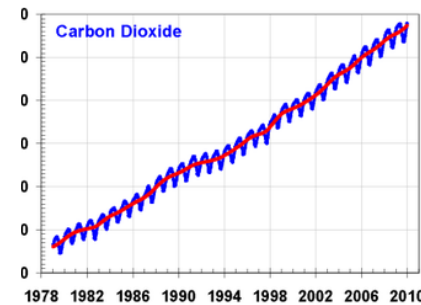
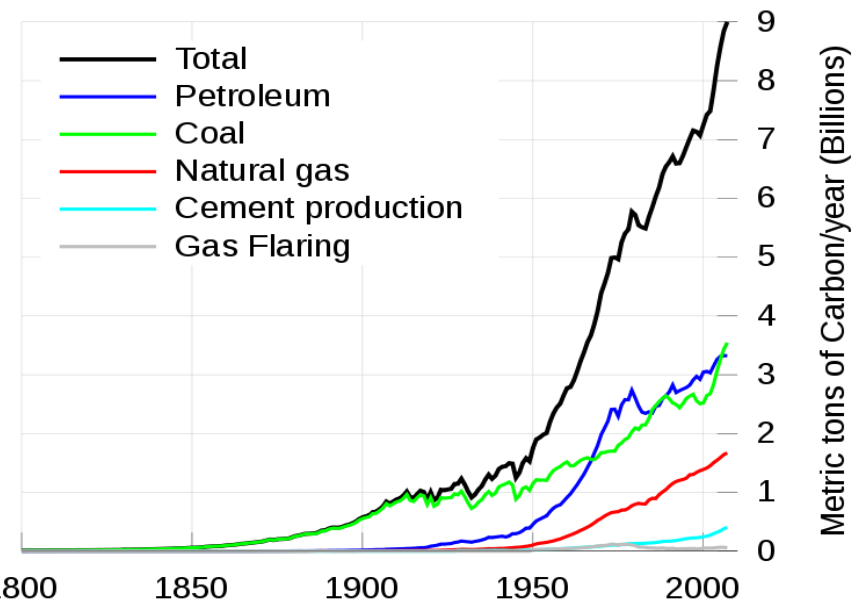
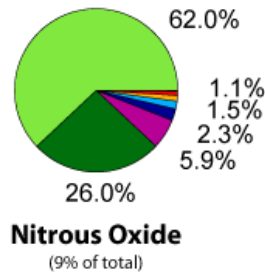
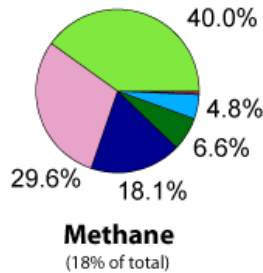
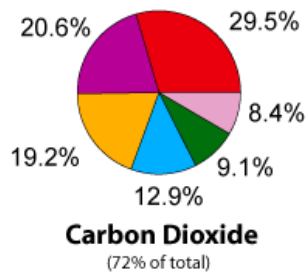
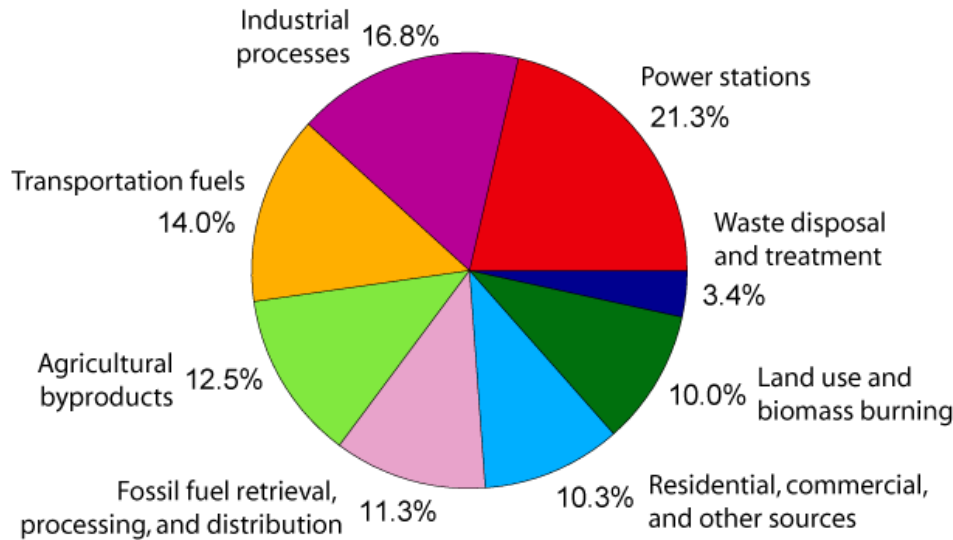
- Αύξηση θερμοκρασίας του πλανήτη έως 6.2 °C μέχρι το 2100
- Εξαφάνιση χλωρίδας - πανίδας
- Αύξηση ασθενειών
- Παραγωγές χώρες (Μέση Ανατολή) με πολιτική αστάθεια
- Οικονομική ύφεση

(Πηγή: Hadley Centre for Climate Prediction and Research)



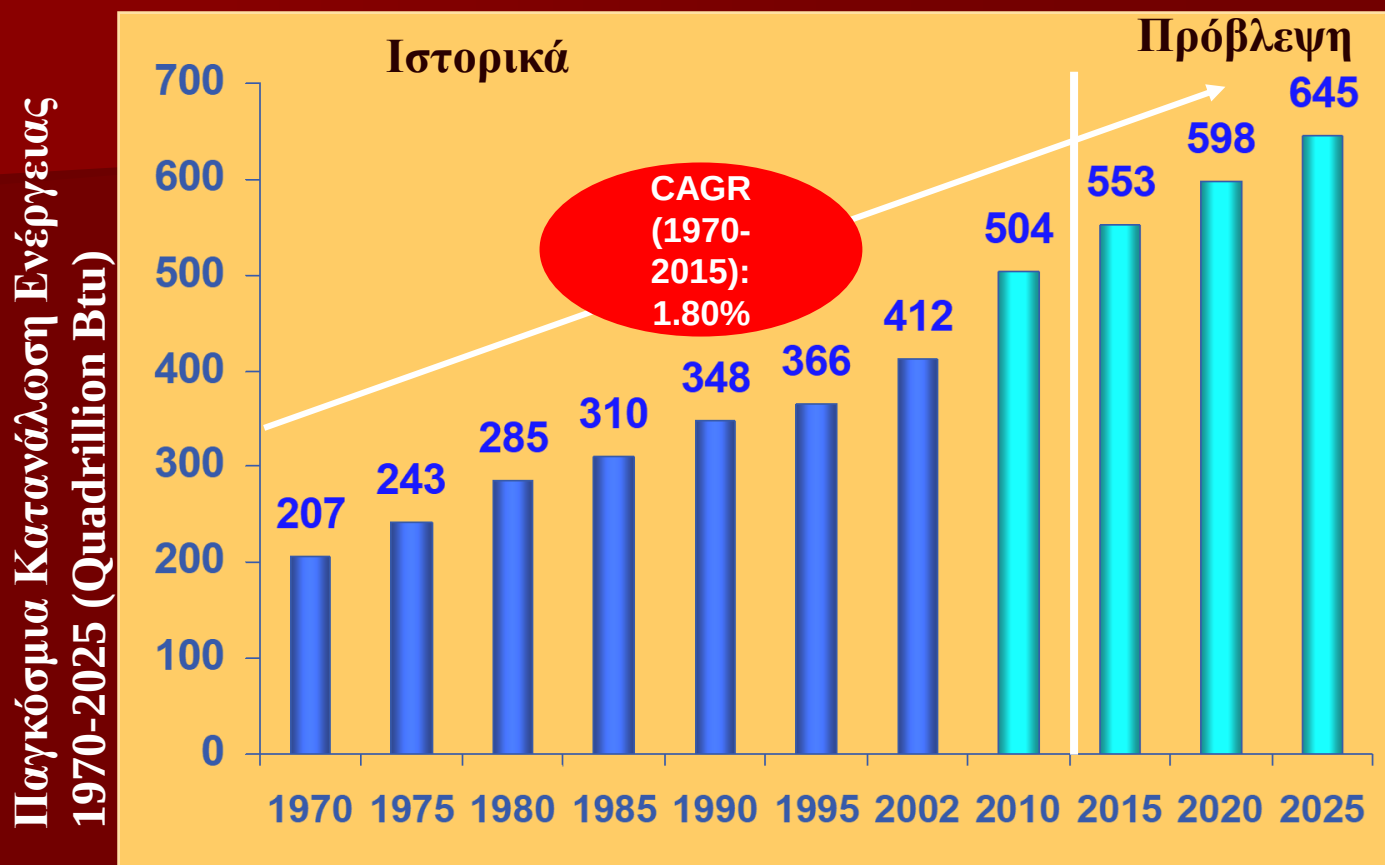
Παγκόσμια ενεργειακή κατάσταση

Annual Greenhouse Gas Emissions by Sector



Πηγή: IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)

Παγκόσμια ενεργειακή κατάσταση



Η μεγαλύτερη αύξηση στην κατανάλωση θα σημειωθεί στις αναδυόμενες οικονομίες

CAGR = Compounded Annual Growth Rate: Ολικός ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης

Πηγή: EIA International Energy Outlook (2007)

Παγκόσμια ενεργειακή κατάσταση

- Το 85% της παγκόσμιας ενέργειας προέρχεται από ορυκτά καύσιμα (40% πετρέλαιο, 22% άνθρακας, 23% φυσικό αέριο).
- Για κάθε νέο βαρέλι συμβατικού αργού πετρελαίου καταναλώνονται περίπου δύο.
 - Μόλυνση περιβάλλοντος + δραματική αύξηση παγκόσμιου πληθυσμού συνεπάγονται την εξάντληση ορυκτών καυσίμων



Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας

- *Ηλιακή*
- *Αιολική*
- *Υδροηλεκτρική*
- *Γεωθερμία*
- *Βιομάζα*
- *Πυρηνική*



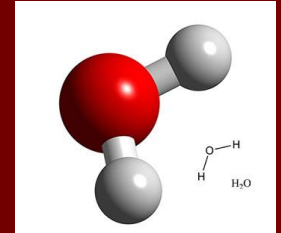
- Διαλείπουσα διαθεσιμότητα
- Περιορισμένη απόδοση
- Παραγωγή ισχύος με διακυμάνσεις
- Κίνδυνος ατυχημάτων

H_2O & H_2 ως πηγή ενέργειας

- Κυψέλες καυσίμου (Fuel Cells): Μετατροπή του υδρογόνου σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια
 - Christian Friedrich Schönbein (1838), Stanley Meyer, (1990)

Λόγω του H_2 , το H_2O αποτελεί μια τεράστια δεξαμενή καυσίμου

Υδρογόνο



- Είναι το πλέον άφθονο στοιχείο στο Σύμπαν
- Σε αφθονία στους υδρογονάνθρακες, στα φυτά και στη βιομάζα

“Water will be the coal of the future.”

-Jules Verne, 1874

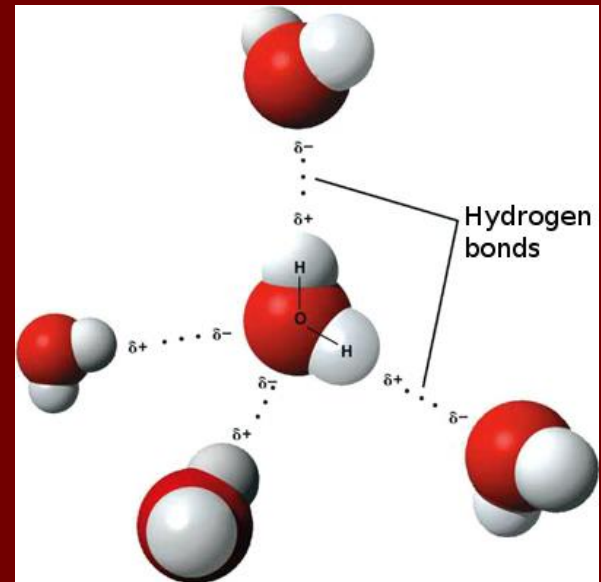


H_2O & H_2 ως πηγή ενέργειας

□ Το υδρογόνο (άρα και το νερό) είναι φορέας και όχι πρωτογενής πηγή ενέργειας

Οι δεσμοί υδρογόνου προσδίδουν στο νερό ασυνήθιστες φυσικές ιδιότητες (πυκνότητα, ιξώδες, επιφανειακή τάση, σημεία ζέσεως και πήξεως, κλπ.)

Η περιεχόμενη στο νερό ενέργεια οφείλεται στην ενέργεια των δεσμών υδρογόνου (περίπου 30 KJ/mol). Κάθε μόριο ύδατος συμμετέχει κατά μέσο όρο σε 3.59 δεσμούς υδρογόνου, στους 25 °C.



Το υδρογόνο εμφανίζει το υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα βάρους από οποιοδήποτε άλλο γνωστό καύσιμο:
120.7 KJ/Kg

3x της βενζίνης & 2x του φυσικού αερίου

H_2O & H_2 ως πηγή ενέργειας

Πλεονεκτήματα

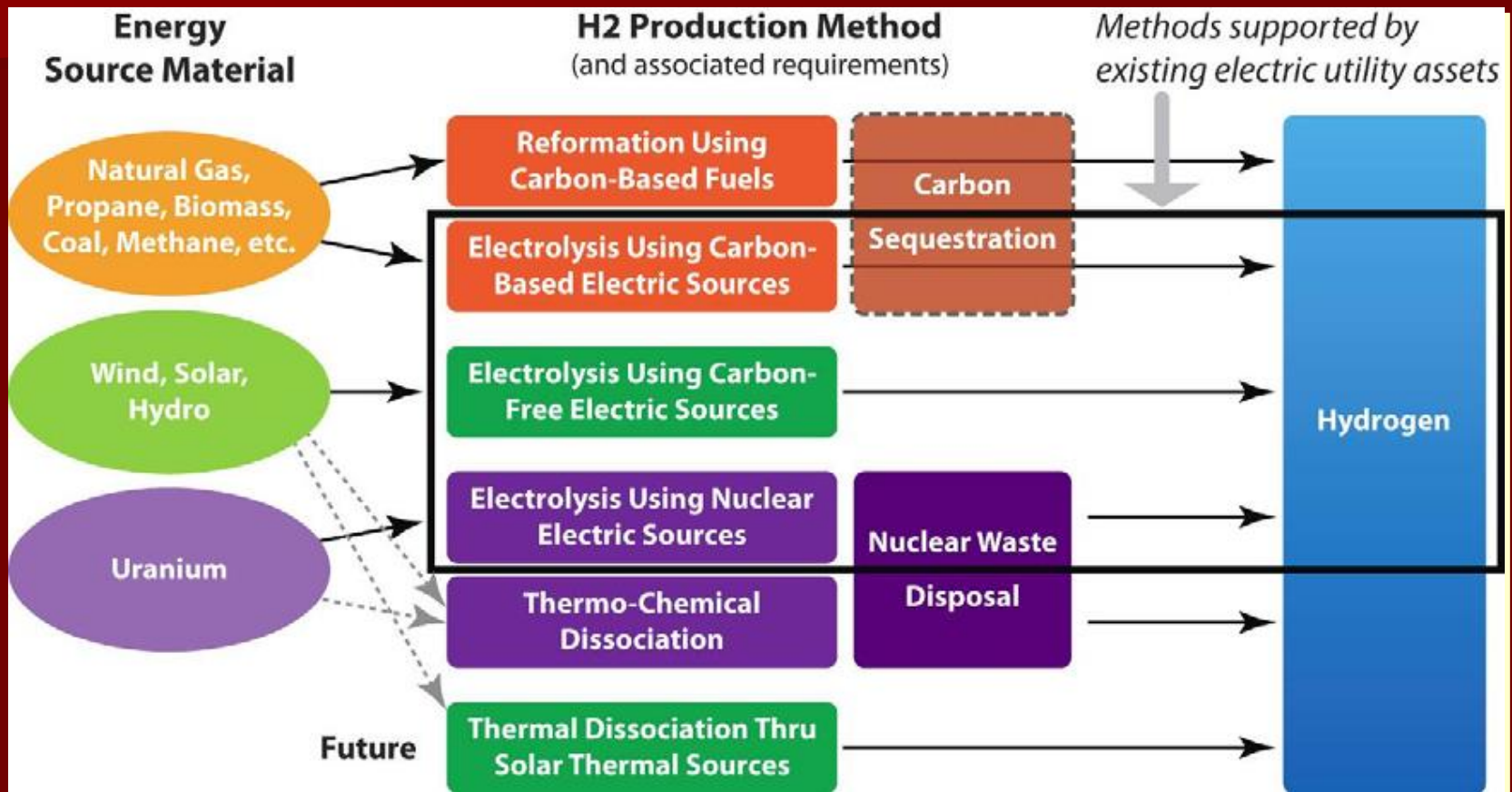
- ✓ Αφθονία στη φύση
- ✓ Υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο
 - ✓ 1 ποτήρι περιέχει τόσο H_2 , όσο χρειάζεται ένα αυτοκίνητο για 100 χλμ
- ✓ Υψηλός λόγος ενέργειας/βάρος
 - ✓ η καύση 1 kg υδρογόνου παράγει 120 MJ
 - ✓ η καύση 1 kg πετρελαίου παράγει 6,1 MJ
- ✓ Καίγεται με το οξυγόνο παράγοντας μόνο νερό και θερμότητα
- ✓ Λιγότερο εύφλεκτο απουσία αέρα
- ✓ Ποικιλία μεθόδων παραγωγής
- ✓ Μεγαλύτερος βαθμός ενεργειακής μετατροπής (90%) σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα (35%)

Μειονεκτήματα

- ο Άχρωμο και άοσμο
 - ο δυσκολία στην ανίχνευση σε περίπτωση διαρροής
- ο Έχει σ.ζ. στους $-257\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - ο δυσκολία στην υγροποίηση
- ο Πολύ ελαφρύ
 - ο έχει 14.5 φορές μικρότερη πυκνότητα – (0.09 g/l) από τον αέρα
 - ο δυσκολία στην αποθήκευση)
- ο Ακριβή τεχνολογία
 - ο κόστος παραγωγής και κόστος κατασκευής κυψελών
- ο Εκτοπίζει το οξυγόνο ενός χώρου
 - ο Υπό προϋποθέσεις επικίνδυνο
- ο Έλλειψη οργανωμένου δικτύου διανομής

Τεχνολογία υδρογόνου

➤ Μέθοδοι Παραγωγής Υδρογόνου από Διαφορετικές Πηγές*



* B. Kroposki, J. Levene, and K. Harrison, P.K. Sen, F. Novachek, *Technical Report* NREL/TP-581-40605: Electrolysis: Information and Opportunities for Electric Power Utilities, September 2006.

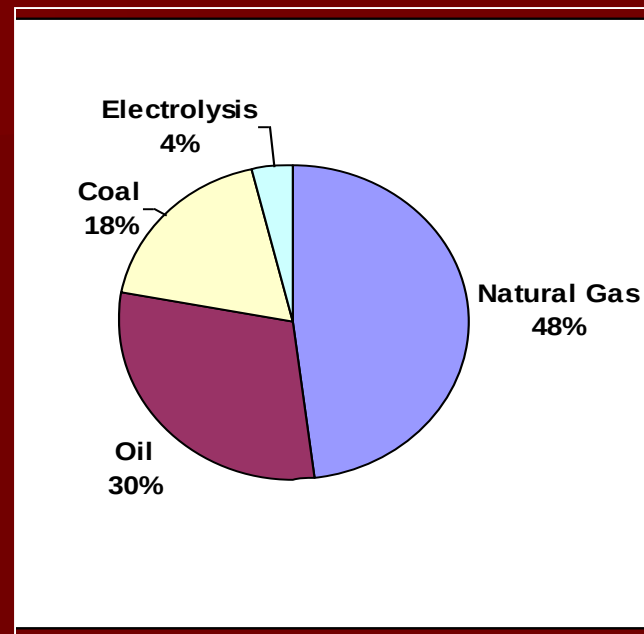
Τεχνολογία υδρογόνου

Πηγές

- 48% φυσικό αέριο
- 30% πετρέλαιο
- 18% άνθρακας
- 4% ηλεκτρόλυση

■ Παγκόσμια παραγωγή

- 50 εκατ. τόνοι/έτος
- Ρυθμός αύξησης 10%/ έτος



Πηγή: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry

- ❖ Η παγκόσμια παραγωγή υδρογόνου αντιστοιχεί στο 10% περίπου της αντίστοιχης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισοδυναμώντας με ισχύ περίπου 200 GW
- ❖ Η οικονομική αξία του παραγόμενου υδρογόνου υπολογίζεται σε 150 M\$/έτος

Τεχνολογία υδρογόνου

Θερμικές Διεργασίες Παραγωγής Υδρογόνου

Αναμόρφωση καυσίμων βασισμένων σε C (π.χ. φυσικό αέριο)



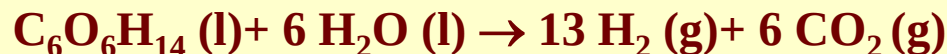
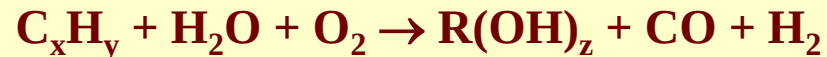
Steam-hydrocarbon ~ 700-1100 °C



Water-gas shift reaction ~ 130°C

- ☐ Θερμοδυναμική απόδοση συγκρίσιμη (↓) των συμβατικών
- ☐ Συγκρίσιμο (↑) κόστος διεργασίας
- ☐ Παράλληλη παραγωγή CO₂

Αεριοποίηση βιομάζας: Παραγωγή αιθανόλης ή βιο-καυσίμων υπό πίεση παρουσία υπέρθερμου ατμού



7.1 Εφαρμογές (2)

- Μονάδα εισάγει μεθάνιο (CH_4) για την παραγωγή υδρογόνου από αναμόρφωση υδρογονανθράκων, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:
 - $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$ (87%)
 - $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$ (90%)
- Το 28,4% της ποσότητας του μεθανίου χρησιμοποιείται στην παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας.
- Εάν η μονάδα εισάγει 150 tn μεθανίου (CH_4)/ημέρα, μπορεί να ανταποκριθεί σε παραγγελία 52 tn υδρογόνου/ημέρα;
- Εάν όχι, πόσο πρέπει να μειωθεί το ποσοστό της α΄ύλης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας (και πιθανόν να αντικατασταθεί από άλλο μέσο) προκειμένου να μπορέσει η εταιρεία να αναλάβει το συμβόλαιο παροχής υδρογόνου;
- Δίνονται: AB: C=12, H=1

7.1 Εφαρμογές (2)

- Έλεγχος δυνατότητας παραγωγής χωρίς αντικατάσταση ενεργειακής πηγής

- **Μεθάνιο: 150 tn**

- Παραγωγή ενέργειας: $0,284 \times 150 = 42,6 \text{ tn}$

- Παραγωγή υδρογόνου: $150 - 42,6 = 107,4 \text{ tn}$

- $\text{Mmoles} = 107,4 / 16 = 6,7125$

- Χημικό σύστημα



- 6,7125**

- 5,84**

- 17,52**



- 5,84**

- 5,256**

Συνολικά: $22,776 \times 2 = 45,55 \text{tn}$

Δεν επαρκεί

7.1 Εφαρμογές (2)

■ Έλεγχος παραγωγής με αντικατάσταση ενεργειακής πηγής

■ Χημικό σύστημα



$$\alpha \qquad \qquad \qquad 0,87\alpha \qquad 2,61\alpha$$



$$- 0,87\alpha \qquad \qquad \qquad 0,783\alpha$$

$$\text{Συνολικά: } (2,61\alpha + 0,783\alpha) \times 2 = 52$$

$$\alpha = 7,66 \text{ Mmoles}$$

$$\text{CH}_4: 7,66 \times 16 = 122,6 \text{ tn}$$

$$\begin{aligned} \text{CH}_4 \text{ προς παραγωγή ενέργειας: } 150 - 122,6 \text{ tn} \\ = 27,4 \text{ tn} \end{aligned}$$

Ενεργειακά πρέπει να αντικαταστήσει

$$\text{τη διαφορά: } 28,4 - 18,26 = 10,14\%$$

ή 18,26% της αύλης

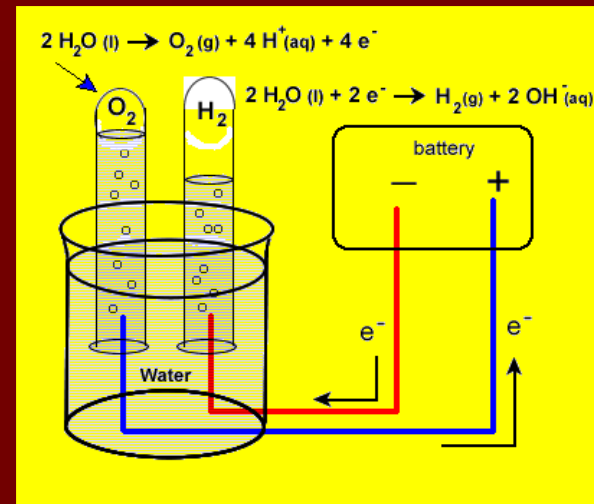
Τεχνολογία υδρογόνου

Ηλεκτρολυτικές Διεργασίες Παραγωγής Υδρογόνου

Κλασική Ηλεκτρόλυση

Για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός ανθρώπου στην Ευρώπη, αρκεί μόνο το 2% της συνολικής κατανάλωσης νερού από αυτόν, ώστε να πραγματοποιηθεί η ηλεκτρόλυση

→ Θεωρητική απόδοση 71% και 30-45% πραγματική



Ηλεκτρόλυση υψηλής θερμοκρασίας

Μέρος της απαιτούμενης ενέργειας τροφοδοτείται με τη μορφή θερμικής ενέργειας (π.χ. από πυρηνικό αντιδραστήρα) → Πραγματική απόδοση 45-50%

Φωτο-Ηλεκτρόλυση

Ηλεκτρόλυση μέσω απορρόφησης ακτινοβολίας από ημιαγωγούς κατάλληλου διακένου (π.χ. TiO_2) σε ξεχωριστά κελιά

- χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
- Περιορισμένη απόδοση (3-32%)

Ηλεκτρόλυση

Μη

αποδοτική διεργασία
για την παραγωγή H_2

Τεχνολογία υδρογόνου

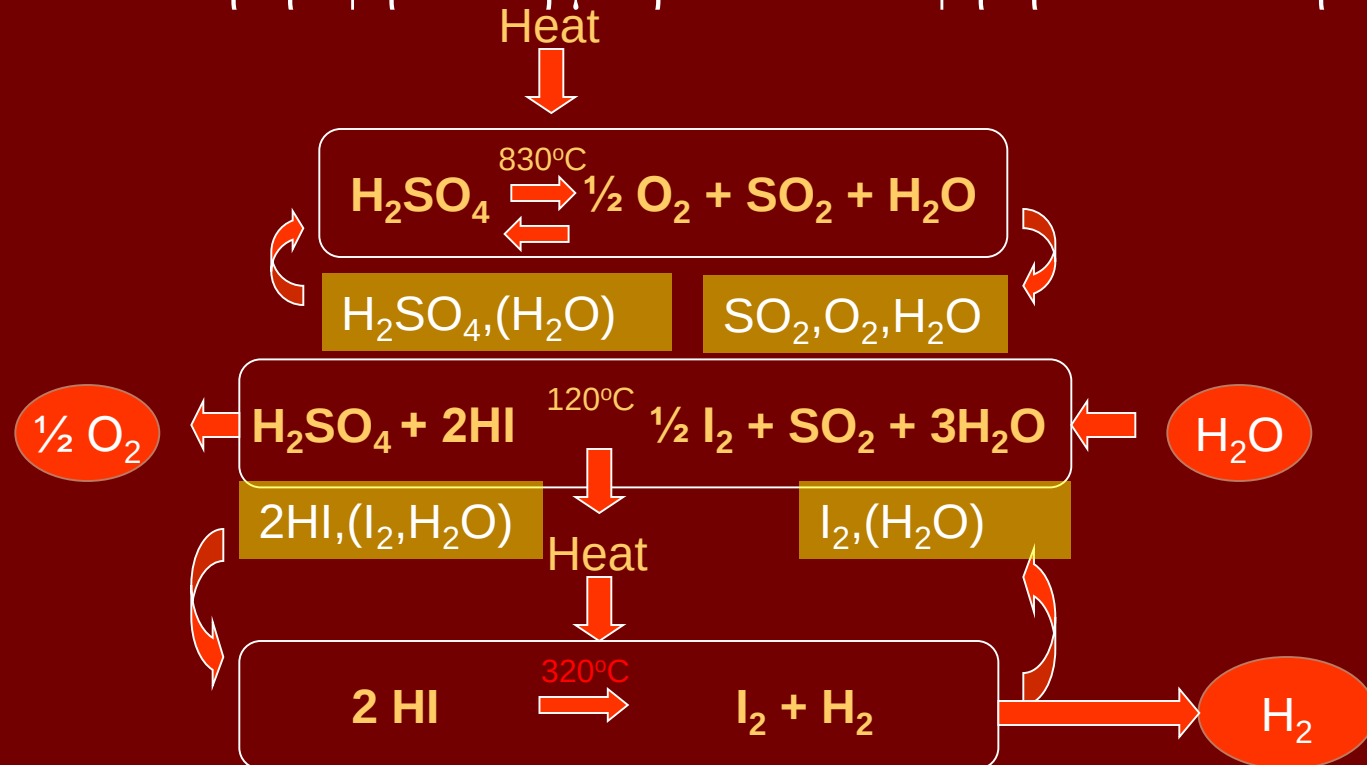
Θερμοχημικοί Κύκλοι Παραγωγής Υδρογόνου

Διάσπαση νερού από κυκλικές ενδόθερμες χημικές αντιδράσεις

✓ Απόδοση 45-50%

✓ Δεν παράγεται CO₂

Απαίτηση υψηλών θερμοκρασιών → Υψηλή κατανάλωση ενέργειας



Αποθήκευση υδρογόνου

A. Στην αέρια φάση

- Μικρό ενεργειακό περιεχόμενο ανά όγκο
 - απαιτείται συμπίεση (250 – 400 bar)
 - ενέργεια 2.5 KWh/kg (11% του ενεργειακού περιεχομένου)
- Μεγάλος όγκος και βάρος δεξαμενών
 - για ποσότητα καυσίμου αντίστοιχης ενός τυπικού απαιτείται χώρος περίπου ίσος με το χώρο αποσκευών)
- Ψαθυροποίηση μετάλλων (Fe, Ti)
 - κίνδυνος διαρροής



B. Στην υγρή φάση

- Κρυογενικά
 - Πολύπλοκη διαδικασία – μικρότερες δεξαμενές - υψηλά ποσά ενέργειας (30% του ενεργειακού περιεχομένου)
- Το υγρό υδρογόνο διαστέλλεται εύκολα με μικρή αύξηση της T,
 - η μόνωση των δεξαμενών επηρεάζει τη μάζα και τον όγκο τους
- Απώλειες λόγω εξάτμισης (~ 2%)
- Μικρότερος χώρος δεξαμενής, αλλά αναγκαιότητα διατήρησης υπέρψυξης
 - -120 έως -196 °C

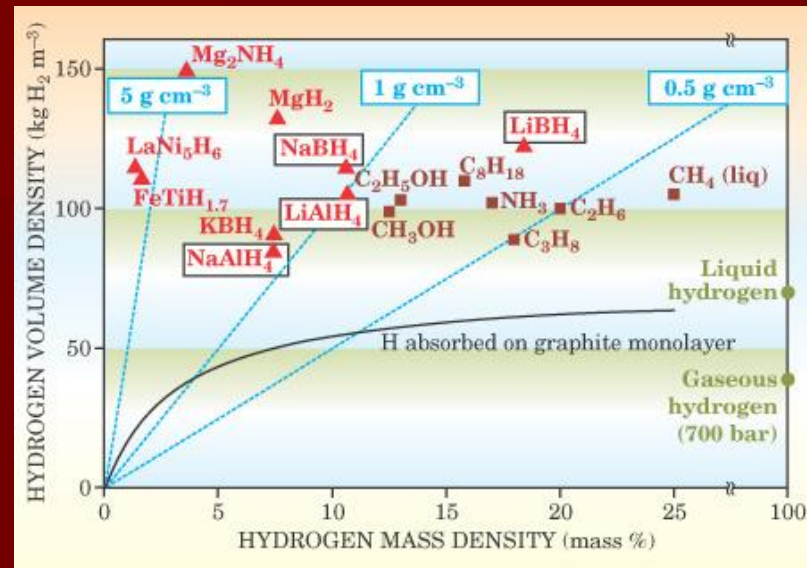


Αποθήκευση υδρογόνου

Στη στερεά φάση

Χημικά δεσμευμένο ως υδρίδιο μετάλλων

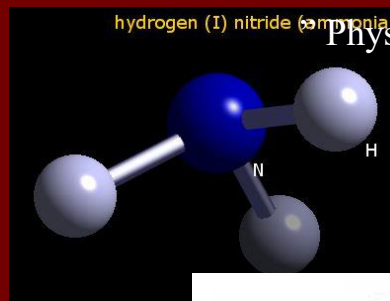
- Ενδογενώς ασφαλές → απαιτείται ενέργεια για την αποδέσμευση του υδρογόνου
- Μικρός όγκος, 1/3-1/4 του όγκου συμπιεσμένου H_2
- Διατηρείται σε χαμηλές ή/και ατμοσφαιρική πίεση
- Συστήματα μεγάλης μάζας ($5Kg H_2 \sim 300Kg M_xH_z$)



Πηγή: Crabtree et al., "The Hydrogen Economy, Physics Today, Dec 2004

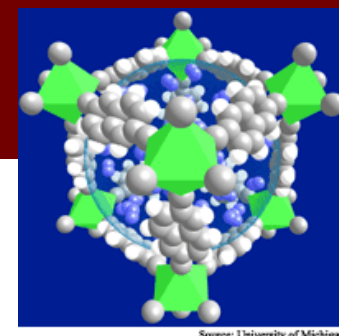
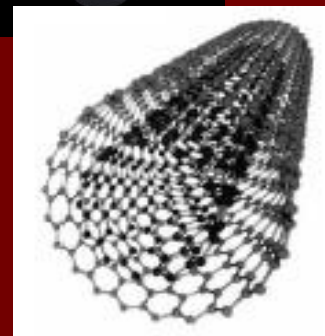
Χημικά δεσμευμένο ως αμμωνία

- Εξαιρετικά υψηλές πυκνότητες ενέργειας
- Υψηλή τοξικότητα και ενεργοβόρα διαδικασία



Σε νανοδομημένες ενώσεις άνθρακα

- Υψηλή πυκνότητα ενέργειας
- Πρόσφατη τεχνολογία, δεν έχουν αξιολογηθεί πειραματικά επαρκώς πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα



Source: University of Michigan
This graphic depicts a metal-organic framework, a molecular structure that can store hydrogen. The hydrogen atoms are represented by blue spheres.

7.2 Εφαρμογές (1)

- Η καύση του υδρογόνου με το οξυγόνο για την παραγωγή υδρατμών
 - $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- είναι εξαιρετικά έντονη και εξώθερμη.
- Επειδή απελευθερώνονται μεγάλα ποσά ενέργειας για μια δεδομένη μάζα υδρογόνου ή οξυγόνου, η αντίδραση αυτή χρησιμοποιείται από τη NASA για να τροφοδοτήσει τη διαστημικά οχήματα.
- Οι μηχανικοί της NASA υπολογίζουν την ποσότητα της κάθε α΄ ύλης που απαιτείται για την πτήση έτσι ώστε να μην υπάρξει περίσσεια καυσίμου σε τροχιά.
- Να υπολογίστε
 - την ποσότητα (σε tn) του υδρογόνου που πρέπει να μεταφέρει κάθε όχημα για κάθε tn οξυγόνου που φέρει
 - τη χωρητικότητα (σε m^3) των δεξαμενών οξυγόνου και υδρογόνου, αν η ποσότητα οξυγόνου είναι 2,7 tn.
- Δίνονται: πυκνότητα οξυγόνου $1,43 \text{ kg/m}^3$, πυκνότητα υδρογόνου $0,09 \text{ kg/m}^3$. AB: O = 16, H = 1.

7.2 Εφαρμογές (1)



0,168

$2,7/32 = 0,084$ Mmoles

$\times 2 = 0,336$ tn = 336 kg

■ $\text{O}_2: 2700 \text{ kg} / 1,43 \text{ kg/m}^3 = 1888,11 \text{ m}^3$

■ $\text{H}_2: 336 \text{ kg} / 0,09 \text{ kg/m}^3 = 3733,33 \text{ m}^3$

Μεταφορά υδρογόνου

- Σημαντικά εμπόδια λόγω τεχνικών απαιτήσεων, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις υγροποίησης και συμπίεσης αερίου
- ❖ Νέα υποδομή. Προσεγγίσεις:
 - Πολλές μονάδες παραγωγής διασυνδεδεμένες με αγωγούς.
 - Τοπική παραγωγή.
 - Οικιακή παραγωγή. Ο καθένας παραγωγός της δικής του ενέργειας. Το περίσσειμα το διαθέτει σε άλλους
 - HEW (Hydrogen Energy Web) – Ανάπτυξη αποκεντρωμένων συστημάτων παραγωγής ενέργειας

παραγωγή υδρογόνου on-site & on-demand



Παραγωγή ενέργειας

Χρήση του Υδρογόνου σε Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως (ΜΕΚ)

- Πλεονεκτήματα
 - Υψηλή ειδική ενέργεια
 - Καίγεται εύκολα με παραγωγή υδρατμών
 - Κατάλληλο σε μηχανές Diesel με φτωχό μείγμα αέρα καυσίμου υπό υψηλή συμπίεση
- Μειονεκτήματα
 - Μικρότερη ιπποδύναμη
 - Μικρότερη αυτονομία
 - Σε σχέση με τη βενζίνη, για το ίδιο ποσό ενέργειας απαιτεί μεγαλύτερο όγκο



Παραγωγή ενέργειας

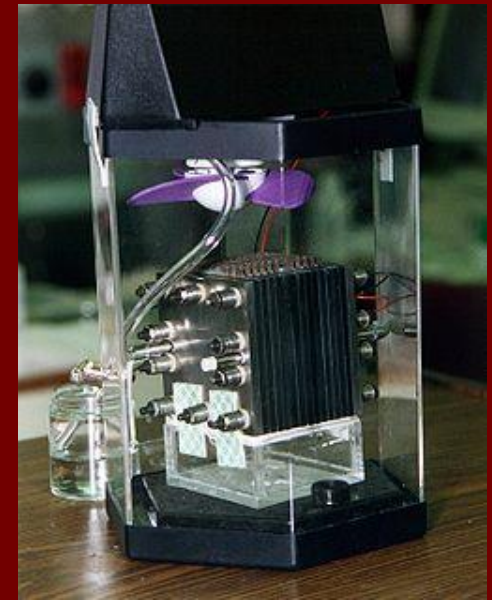
Χρήση του Υδρογόνου σε Κυψέλες Καυσίμου

- Πλεονεκτήματα

- Συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των συσσωρευτών (ανύπαρκτος θόρυβος, μηδενικές εκπομπές ρύπων) με τα πλεονεκτήματα των υγρών καυσίμων (υψηλή ενεργειακή απόδοση)
- Απλή κατασκευή – δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη
- Προοπτική μαζικής παραγωγής (δεκαπλάσια αύξηση στην πυκνότητα ισχύος και δεκαπλάσια μείωση του κόστους κατασκευής την τελευταία 5-ετία)

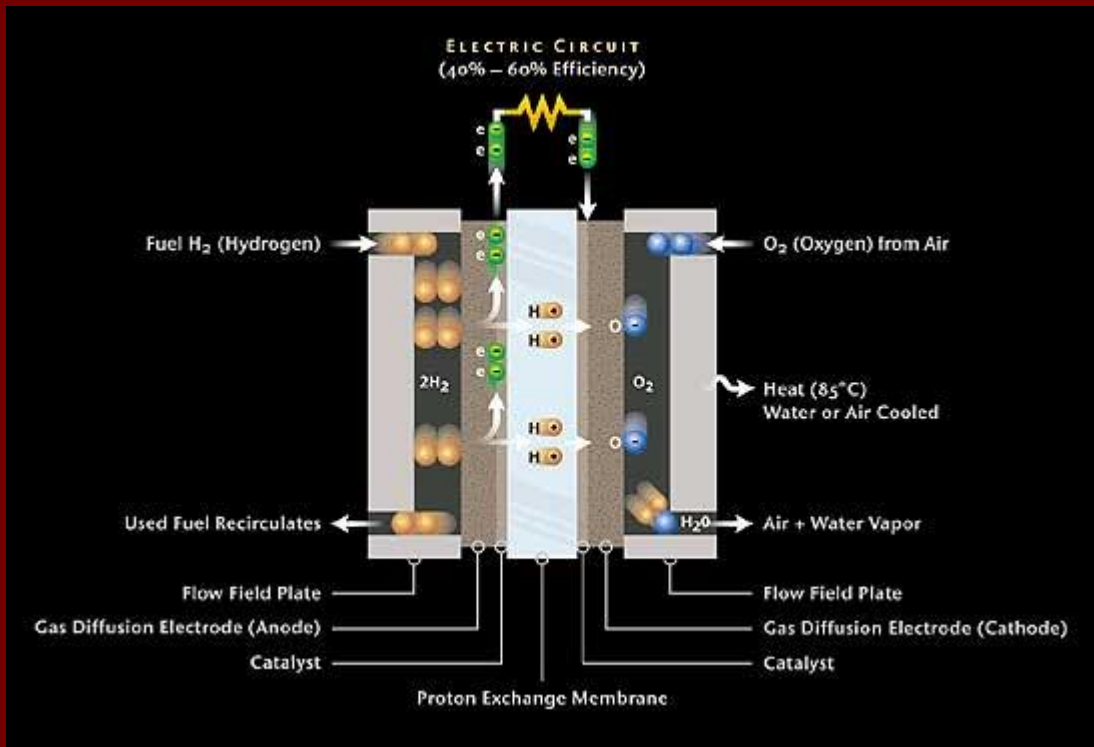
- Μειονεκτήματα

- Παραμένει ακριβή τεχνολογία



Κυψέλες καυσίμου

- Είναι η συνηθέστερη διάταξη (ηλεκτροχημική) για την παραγωγή ενέργειας με πρώτη ύλη το υδρογόνο
- Συνδυάζει το υδρογόνο με οξυγόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με νερό και θερμότητα ως παραπροϊόντα
- Όλες οι κυψέλες στηρίζονται στην ίδια τεχνολογία (αντίστροφη ηλεκτρόλυση μέσω ενός ηλεκτρολύτη και 2 ηλεκτροδίων) και διακρίνονται με βάση το είδος του ηλεκτρολύτη

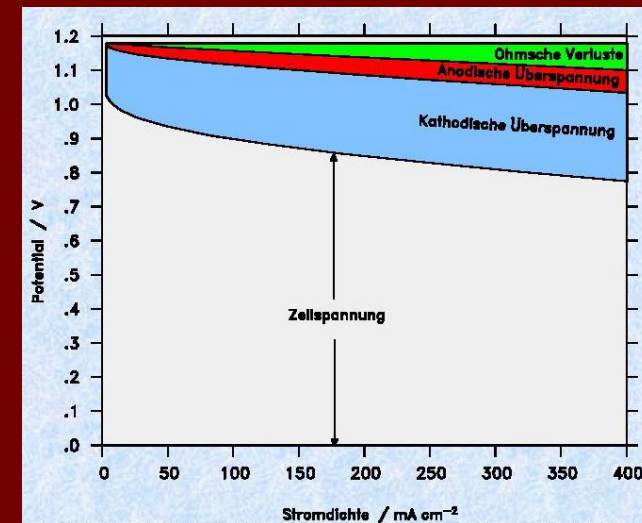
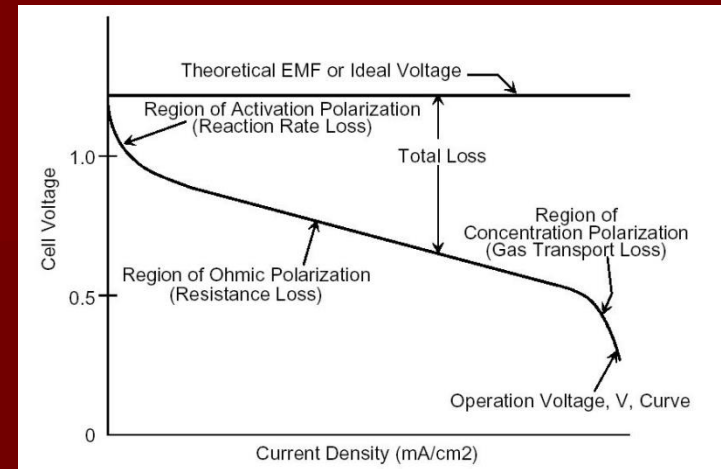


- Η ελεύθερη ενέργεια Gibbs (άρα και η τάση) του συστήματος επηρεάζεται από:
 - Συγκέντρωση αντιδρώντων
 - Θερμοκρασία
 - Πίεση

Κυψέλες καυσίμου

- Εξίσωση Nernst

$$E = E^0 + \frac{RT}{2Ne} \ln \left[\frac{c_{H_2} \cdot c_{O_2}^{1/2}}{c_{H_2O}} \right] + \frac{RT}{4Ne} \ln[P]$$



Ισχύς: $P=VI$

Ενέργεια: $E=VIt$

Πηγή: T. Jacob, FHI Seminar, 2004

$$E_{prac} \approx 0.6 - 0.7V$$

Πραγματική Απόδοση: 50-62%

Τύποι κυψελών καυσίμου

Τύπος	Ιόν	T °C	απόδοση	Εφαρμογές-Παρατηρήσεις
Πολύμερ. Μembrάνης PEM	H ⁺	70-90	50-80%	Οχήματα και φορητές διατάξεις 20 kW
Μεθανόλης DMFC	H ⁺	70-90	35-60%	Υπό ανάπτυξη – Φορητές συσκευές Πιθανή λύση στο πρόβλημα της αποθήκευσης H ₂
Φωσφορικού οξέος PAFC	H ⁺	150-210	35-45%	Εμπορικά διαθέσιμο. Μεγάλες μονάδες συμπαραγωγής 500 kW
Στερεού οξειδίου SOFC	O ⁻²	1000- 1100	50-60%	Γεννήτριες → 500 kW - 100 MW
Τηγμένου άνθρακα MCFC	CO ₃ ⁻²	550-650	45-60%	Γεννήτριες → 500 kW - 100 MW
Αλκαλικού Ηλεκ/τη AEFC	OH ⁻	70-90	50-65%	Αεροδιαστημική, 200 kW

Οφέλη χρήσης κυψελών καυσίμου

1. Στατικοί Σταθμοί Παραγωγής Ισχύος

- Ενεργειακή απεξάρτηση
- Φυσική ασφάλεια (π.χ. έναντι τρομοκρατικών επιθέσεων)
- Απόδοση (έως και 90%)



2. Μεταφορές

- Αυτονομία
- Απόδοση



3. Τηλεπικοινωνίες

- 99,99% Αξιοπιστία

4. Διατάξεις μικρής ισχύος

- Μεγαλύτερη αυτονομία (κινητά, προσωπικοί Η/Υ, κ.α)

5. Στρατιωτικές εφαρμογές



6. Περιβαλλοντικά οφέλη

- Μηδενική εκπομπή ρύπων