

9 ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

9.1. Πυρηνική Ενέργεια

Μέχρι και τη δεκαετία του 1940, με τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο, η ηλεκτρική ενέργεια παραγόταν από το πετρέλαιο, το κάρβουνο και το νερό. Προς το τέλος όμως του 2^{ου} Παγκόσμιου Πολέμου, αναδύθηκε από τα εργαστήρια της φυσικής μια νέα πηγή ενέργειας, η πυρηνική. Οι πρώτοι πυρηνικοί αντιδραστήρες δεν χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, βοήθησαν όμως τους επιστήμονες να ανακαλύψουν τα μυστικά των πυρηνικών φαινομένων.

Τα υπέρ και τα κατά της πυρηνικής ενέργειας

Η πυρηνική ενέργεια έχει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Από άποψη αποτελεσματικότητας, είναι αξεπέραστη: η ενέργεια που εκλύεται κατά την *πυρηνική σχάση* 1 g ουρανίου-235 (για την πυρηνική σχάση βλ. παρακάτω) υπολογίζεται σε $9,6 \times 10^7$ kJ. Η ενέργεια που εκλύεται κατά τη χημική αντίδραση καύσης 1 g άνθρακα σε μορφή ανθρακίτη είναι 34,3 kJ, δηλαδή σχεδόν 3 εκατομμύρια φορές μικρότερη. Δεν πρέπει όμως να ξεχνάμε ότι στη Χιροσίμα, στις 6 Αυγούστου 1945, η ανθρωπότητα ανακάλυψε με τρόμο τη φοβερή δύναμη του ατόμου.

Σήμερα η πυρηνική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για ειρηνικούς σκοπούς, με κυριότερο την



Περίπου το ένα τρίτο του πληθυσμού της Χιροσίμας έχασε τη ζωή του μέσα σε μία εβδομάδα από την έκρηξη της πυρηνικής (ή ατομικής) βόμβας. Από τότε, πολλοί επιπλέον πέθαναν λόγω έκθεσής τους στη ραδιενέργεια που οφειλόταν στο γεγονός αυτό.



Έκρηξη πυρηνικής βόμβας

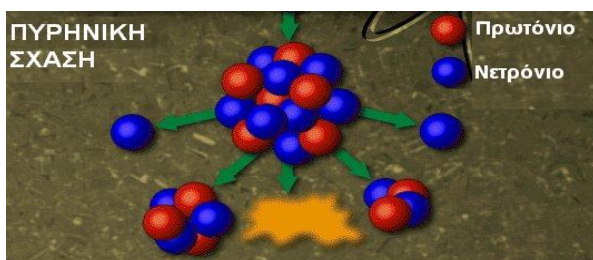
παραγωγή φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ασφαλής όμως λειτουργία ενός εργοστασίου πυρηνικής ενέργειας αποτελεί μια τεράστια πρόκληση.

Το 1986 συνέβη μια φοβερή έκρηξη σε εργοστάσιο πυρηνικής ενέργειας στο Τσερνόμπιλ της Ουκρανίας, με βαρύτατες βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες συνέπειες, όχι μόνο για την υγεία των ζωντανών οργανισμών (ανθρώπων, ζώων και φυτών) κοντά στο εργοστάσιο, αλλά και σε όλη την Ευρώπη και πέρα από αυτήν.

Πρόσφατα (Μάρτιος 2011) συνέβη νέο σοβαρότατο ατύχημα στην βορειοανατολική Ιαπωνία, που προκλήθηκε από το τσουνάμι που ακολούθησε τη φοβερή σεισμική δόνηση έντασης 8,9 στην κλίμακα Richter. Στο τελευταίο αυτό πυρηνικό ατύχημα θα επιστρέψουμε παρακάτω, αφού πρώτα μελετήσουμε καλύτερα τη λειτουργία των πυρηνικών αντιδραστήρων.

9.1.α. Πυρηνική σχάση

Ξέρουμε ότι το άτομο ενός χημικού στοιχείου αποτελείται από έναν πυρήνα που περιβάλλεται από ένα ηλεκτρονιακό νέφος. Ο πυρήνας αυτός αποτελείται από νετρόνια και πρωτόνια, ο αριθμός των οποίων ποικίλει. Ο αριθμός των πρωτονίων καθορίζει την ταυτότητα του ατόμου, άρα και του στοιχείου, και ονομάζεται *ατομικός αριθμός*.

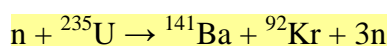


Η ασφαλής λειτουργία ενός εργοστασίου πυρηνικής ενέργειας μπορεί καταρχήν να επιτευχθεί με την αύξηση των φραγμάτων ανάμεσα στον πυρηνικό αντιδραστήρα και το περιβάλλον, ενώ η τραυματική εμπειρία από παλιότερα και πρόσφατα πυρηνικά ατυχήματα έχει δείξει ότι 100% ασφαλής λειτουργία των πυρηνικών εργοστασίων δεν είναι δυνατή.

Ο συνολικός αριθμός πρωτονίων και νετρονίων ονομάζεται *μαζικός αριθμός*. Αυτά τα σωματίδια συγκρατούνται μεταξύ τους με μια πολύ ισχυρή πυρηνική δύναμη.

Στη φύση, οι ατομικοί πυρήνες των περισσότερων στοιχείων είναι σταθεροί. Ένας συγκεκριμένος πυρήνας, αυτός του *ισοτόπου* του στοιχείου ουράνιο, U, με μαζικό αριθμό 235 (^{235}U ή U-235), συγκρούμενος με ένα νετρόνιο, μπορεί να διασπαστεί, απελευθερώνοντας μια σημαντική ποσότητα ενέργειας. Η διάσπαση αυτή ονομάζεται **πυρηνική σχάση**. Υπάρχουν και άλλα τεχνητά στοιχεία (που τα έφτιαξαν οι επιστήμονες στα εργαστήρια), όπως το πλουτόνιο, Pu, που μπορεί επίσης να διασπαστούν με αυτόν τον τρόπο.

Η σχάση του U-235 δεν είναι αυθόρμητη διαδικασία, αλλά συμβαίνει όταν ένας πυρήνας U-235 συγκρουσθεί με ένα νετρόνιο. Κατά τη σχάση ενός πυρήνα U-235 παράγονται ένας αριθμός νετρονίων (σηνήθως 2 ή 3) και δύο ελαφρότεροι πυρήνες με παραπλήσιες μάζες, όπως π.χ. αυτοί του μετάλλου βάριο (Ba) (που ανήκει στη 2^η ομάδα του περιοδικού πίνακα, τις αλκαλικές γαίες) και του ευγενούς αερίου κρυπτόν (Kr). Η αντίδραση αυτή παριστάνεται με την ακόλουθη πυρηνική εξίσωση (το n παριστάνει ένα νετρόνιο):



Τα παραγόμενα με τη σχάση νετρόνια μπορούν να συγκρουστούν με άλλους πυρήνες U-235, προκαλώντας πάλι σχάση, απελευθερώνοντας και άλλα νετρόνια και ενέργεια, κ.ο.κ. Αυτή είναι η πολυσυσζητημένη *αλυσιδωτή αντίδραση*, που αν

Ισότοπα

Ισότοπα ονομάζονται άτομα του ίδιου χημικού στοιχείου (οι πυρήνες τους έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων - ίδιο ατομικό αριθμό) που διαφέρουν στον αριθμό των νετρονίων, δηλαδή στον μαζικό αριθμό.

Το ραδιενεργό ορυκτό ουράνιο (U) που βρίσκεται στον στερεό φλοιό της γης, με τη μορφή του ορυκτού ουρανίτης, περιέχει μέχρι 20% καθαρό U. Το φυσικό U αποτελείται κυρίως από δύο ισότοπα, το U-235 (^{235}U) και το U-238 (^{238}U), κατά κανόνα σε αναλογία 0,7% και 99,3% αντιστοίχως. Μόνο το U-235 χρησιμοποιείται στους πυρηνικούς αντιδραστήρες, διότι έχει μεγάλη πιθανότητα να παθαίνει σχάση, σε αντίθεση με το U-238.

Η τεράστια ποσότητα ενέργειας που ελευθερώνεται με την αντίδραση σχάσης οφείλεται στο ότι η μάζα του ουρανίου που σχάστηκε είναι μεγαλύτερη από τη μάζα των θραυσμάτων της σχάσης κατά Δm . Η εκλυόμενη ενέργεια ΔE σχετίζεται με τη διαφορά μάζας Δm μέσω της εξίσωσης του Einstein:

$$\Delta E = \Delta m c^2,$$

όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός (3×10^8 m/s).

γίνεται με σταθερό ρυθμό (αν δηλαδή ο αριθμός των σχάσεων ανά δευτερόλεπτο είναι σταθερός), αποτελεί τον μηχανισμό παραγωγής της ενέργειας στους πυρηνικούς αντιδραστήρες. Αν όμως ο ρυθμός της αλυσιδωτής αντίδρασης αυξάνει συνεχώς, σε κλάσμα του δευτερολέπτου εκλύονται τεράστιες ποσότητες ενέργειας και προκαλείται ισχυρότατη έκρηξη, όπως συμβαίνει στην *ατομική βόμβα* (σωστότερα: *πυρηνική βόμβα*).

Στο φυσικό ορυκτό ουράνιο δεν συμβαίνει αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης, ακόμα και παρουσία νερού, ή όταν διαλυθεί σε νερό, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς του σε U-235. Για την επίτευξη της αλυσιδωτής αντίδρασης σχάσης, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες χρησιμοποιούν ως καύσιμο το λεγόμενο *εμπλουτισμένο ουράνιο*.

9.1.β. Πυρηνικός αντιδραστήρας

Υπάρχουν πολλά είδη πυρηνικών αντιδραστήρων. Ο πιο κοινός είναι ο *αντιδραστήρας πεπιεσμένου νερού*, τον οποίο και θα περιγράψουμε

Όπως είδαμε, η σχάση των πυρήνων του U-235 παράγει νετρόνια. Η αντίδραση συντηρείται μόνον όταν ο αριθμός των νετρονίων που προκαλούν σχάση παραμένει σταθερός με τον χρόνο, και συγκεκριμένα όταν, από τα νετρόνια που προκύπτουν από τη σχάση, μόνο ένα προκαλεί νέα σχάση, συναντώντας έναν άλλο πυρήνα U-235.

Όμως πέρα από τη διατήρηση αυτού του ισοζυγίου, πρέπει τα νετρόνια να επιβραδυνθούν, καθώς η σχάση είναι πιο αποδοτική με νετρόνια χαμηλής ενέργειας. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται επιβραδυντής των νετρονίων που είναι κατά κανόνα το νερό. Αυτό το νερό ονομάζεται

Εμπλουτισμένο ουράνιο

Λόγω του ότι το ισότοπο U-235 έχει μεγάλη πιθανότητα να παθαίνει σχάση, ενώ το U-238 μικρή, απαιτείται το φυσικό ουράνιο να εμπλουτίζεται με ειδική διαδικασία, που αφαιρεί μεγάλο μέρος του U-238, μέχρι η περιεκτικότητα σε U-235 να ανέβει στο 3-5%. Το απομακρυνόμενο μέρος του ορυκτού είναι σχεδόν καθαρό ουράνιο U-238 και ονομάζεται *απεμπλουτισμένο ουράνιο*.



Πυρηνικός αντιδραστήρας

πρωτεύον νερό, κυκλοφορεί στην καρδιά του αντιδραστήρα και δεν ενεργεί μόνο ως επιβραδυντής των νετρονίων, αλλά και ως μέσο ελέγχου της θερμοκρασίας, αποτρέποντας την υπερθέρμανση της καρδιάς του αντιδραστήρα. Το πρωτεύον νερό επιτελεί μία επιπλέον σημαντική λειτουργία: θερμαινόμενο από το πυρηνικό καύσιμο, κυκλοφορεί μέσω σωληνώσεων και στον χώρο της *γεννήτριας υδρατμών*, όπου υπάρχει το *δευτερεύον νερό*. Το δευτερεύον νερό θερμαίνεται αρκετά και γι' αυτό τον λόγο εξατμίζεται. Οι δημιουργούμενοι υδρατμοί μεταβιβάζονται σε μια τεράστια *ηλεκτρογεννήτρια* που παράγει ηλεκτρισμό. Αυτή είναι και η βασική χρησιμότητα του πυρηνικού αντιδραστήρα.

Ο υδρατμός δεν αποβάλλεται στο περιβάλλον, αλλά έρχεται σε επαφή με ένα κύκλωμα ψύξης και υγροποιείται. Το κύκλωμα αυτό λειτουργεί με κρύο νερό από τη θάλασσα ή από κάποιο ποτάμι. Αυτό το νερό είναι το *τριτεύον νερό*. Για τον λόγο αυτόν, τα πυρηνικά εργοστάσια κατασκευάζονται συχνά πολύ κοντά στη θάλασσα, όπως στην περίπτωση της Φουκουσίμα της Ιαπωνίας. Ένας σταθμός με αντλίες τροφοδοτεί το κύκλωμα ψύξης.

Το νερό ανακυκλώνεται στο κάθε κύκλωμα. Το τριτεύον νερό επιστρέφει στη θάλασσα ή στο ποτάμι, το δευτερεύον νερό επιστρέφει στη γεννήτρια ατμού και το πρωτεύον στην καρδιά του αντιδραστήρα. Αυτά τα τρία κυκλώματα ανταλλάσσουν θερμότητα, αλλά ποτέ, υπό κανονικές συνθήκες, νερό. Έτσι μειώνονται οι πιθανότητες ρύπανσης του περιβάλλοντος με ραδιενέργεια, αφού μόνο το πρωτεύον νερό είναι ραδιενεργό και έρχεται σε επαφή με τα στοιχεία του πυρηνικού καυσίμου.



Οι κατεστραμμένοι πυρηνικοί αντιδραστήρες No. 3 και No. 4 του πυρηνικού σταθμού Φουκουσίμα της Ιαπωνίας

Επομένως, υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, ραδιενέργεια από την καρδιά του αντιδραστήρα και το πρωτεύον νερό δεν μεταβιβάζεται ούτε στο δευτερεύον ούτε στο τριτεύον νερό.

Τον Μάρτιο του 2011, στον πυρηνικό σταθμό της πόλης Φουκουσίμα της Ιαπωνίας προκλήθηκαν καταστροφές λόγω εκρήξεων αέριου υδρογόνου, που θεωρείται ότι παράχθηκε από τη διάσπαση του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο, στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύχθηκαν (το νερό διασπάται σε θερμοκρασίες πάνω από 2000°C). Οι υψηλές θερμοκρασίες προέκυψαν από τη διακοπή της κυκλοφορίας του χρησιμοποιούμενου ως ψυκτικού θαλασσινού νερού (*τριτεύον νερό*), λόγω διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος. Αποτέλεσμα των καταστροφών στον αντιδραστήρα ήταν να απελευθερωθεί μεγάλη ποσότητα ραδιενέργειας, τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στη θάλασσα, με σημαντικές συνέπειες για τη ζωή και την οικονομία τουλάχιστον σε όλη την Ιαπωνία.

9.1.γ. Ραδιενέργεια

Στα άτομα των περισσότερων στοιχείων που συναντούμε στη φύση, οι πυρήνες τους είναι σταθεροί. Άτομα, όμως, με μεγάλο συνήθως αριθμό πρωτονίων και νετρονίων έχουν συχνά ασταθείς πυρήνες και *μεταπίπτουν* σε άτομα άλλων στοιχείων, με εκπομπή *πυρηνικής ακτινοβολίας* ή *ραδιενέργειας*. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ραδιενεργός διάσπαση**. Τα αντίστοιχα στοιχεία ονομάζονται **ραδιενεργά** ή **ραδιοϊσότοπα**. Τα περισσότερα έχουν και σταθερά ραδιενεργά ισότοπα.

Πολλά ραδιοϊσότοπα βρίσκονται στη φύση (*φυσικά ραδιοϊσότοπα*). Η ραδιενέργεια που εκπέμπουν ονομάζεται *φυσική ραδιενέργεια*. Ένας



Κάτοικοι της περιοχής κοντά στο πυρηνικό εργοστάσιο Φουκουσίμα περιμένουν για ελέγχους ραδιενέργειας



Η Μαρία Κιουρί ήταν η πρώτη γυναίκα που τιμήθηκε με το Βραβείο Νομπέλ, το οποίο μοιράστηκε με τον σύζυγό της Πιερ και τον Ανρί Μπεκερέλ για την ανακάλυψη της ραδιενέργειας (1903).

μεγάλος αριθμός ραδιοϊσοτόπων έχει παρασκευαστεί σε πυρηνικούς αντιδραστήρες (*τεχνητά ραδιοϊσότοπα*). Η ραδιενέργεια που εκπέμπουν ονομάζεται *τεχνητή ραδιενέργεια*.

Η ραδιενεργός ακτινοβολία αποτελεί έναν άορατο εχθρό με σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Η πυρηνική βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρισμού, τα ορυχεία εξόρυξης ουρανίου, καθώς και τα ερευνητικά κέντρα ή νοσοκομεία που χρησιμοποιούν ραδιοϊσότοπα είναι πηγές ραδιενεργών αποβλήτων. Η συσσώρευσή τους αυξάνει επικίνδυνα τα ποσοστά ακτινοβολίας που δέχονται οι ζωντανοί οργανισμοί. Επίσης οι δοκιμές πυρηνικών όπλων και τα ατυχήματα σε πυρηνικούς σταθμούς επιβαρύνουν το περιβάλλον με ακτινοβολία και ραδιενεργά υλικά.

Η ραδιενέργεια δεν μπορεί να εξουδετερωθεί, παρά μόνο με την ασφαλή αποθήκευση των ραδιενεργών υλικών για χρονικό διάστημα αρκετό για να «απενεργοποιηθούν» μέσω της ραδιενεργού διάσπασης. Για μερικά βαρέα ισότοπα, αυτό πρακτικά απαιτεί αρκετούς αιώνες! Η ραδιενέργεια των αποβλήτων, στις περιοχές όπου αποθηκεύονται, απειλεί με εκτεταμένη ρύπανση τη βιόσφαιρα.

9.1.δ. Ιοντίζουσες ακτινοβολίες

Ιοντίζουσες ακτινοβολίες ονομάζονται οι ακτινοβολίες που μεταφέρουν ενέργεια ικανή να προκαλέσει ιοντισμό των ατόμων της, και επομένως να διασπάσει χημικούς δεσμούς, προκαλώντας έτσι βιολογικές βλάβες στους ζωντανούς οργανισμούς.

Οι γνωστότερες ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι οι *ακτίνες X*, που παράγονται στις καθοδικές λυχνίες των ακτινολογικών μηχανημάτων και

Η ραδιενεργός ακτινοβολία αποτελείται από τρεις διαφορετικούς τύπους:

Σωματία άλφα

Κάθε σωματίο α αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια (πυρήνας ηλίου, ${}^4\text{He}$). Τα σωματία α έχουν θετικό φορτίο και γι' αυτό εκτρέπονται από το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο.

Σωματία βήτα

Τα σωματία β είναι ηλεκτρόνια, έχουν αρνητικό φορτίο και εκτρέπονται από το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο.

Ακτίνες γάμμα

Οι ακτίνες γ είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα και γι' αυτό δεν εκτρέπονται από το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Έχουν πάρα πολύ μεγάλη διεισδυτική ικανότητα.

Ανίχνευση και μέτρηση της ραδιενέργειας

Η ραδιενεργός ακτινοβολία μπορεί να ανιχνευτεί από τα αποτελέσματα που επιφέρει στην ύλη, π.χ. μαυρίζει τα φωτογραφικά φιλμ. Ακόμη, όταν επιδρά σε ορισμένες χημικές ουσίες, προκαλεί φθορισμό ή φωσφορισμό, ενώ διαπερνά υλικά ορισμένου πάχους.

Με βάση αυτές τις ιδιότητες, η ραδιενέργεια ανιχνεύεται και μετρείται με ειδικές συσκευές που ονομάζονται απαριθμητές Geiger-Müller.

χρησιμοποιούνται ευρέως στην ιατρική. Άλλες μορφές είναι οι ακτινοβολίες α , β , και γ που εκπέμπονται από τους ραδιενεργούς πυρήνες ατόμων.

Η διεισδυτικότητα των διαφόρων ακτινοβολιών στην ύλη εξαρτάται από το είδος τους και την ενέργεια που μεταφέρουν. Τα σωματία α απορροφούνται από ένα φύλλο χαρτιού, τα σωματία β από μερικά χιλιοστά πλεξιγκλάς, ενώ η υψηλής ενέργειας ακτινοβολία γ είναι πολύ διεισδυτική και απαιτεί σχετικά μεγάλα πάχη επιλεγμένων υλικών για να απορροφηθεί πλήρως (π.χ. μολύβδου ή σκυροδέματος).

Η ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται από την ακτινοβολία στην ύλη ανά χιλιόγραμμο μάζας ονομάζεται *δόση της ακτινοβολίας*. Η πιθανότητα βλάβης της υγείας σχετίζεται άμεσα με τη δόση της ακτινοβολίας και το είδος της (π.χ. τα σωματία α προκαλούν 10 φορές μεγαλύτερο βιολογικό αποτέλεσμα από τις ακτίνες X ή τις ακτίνες γ).

9.1.ε. Πυρηνικά απόβλητα

Υπάρχουν διάφορα είδη πυρηνικών αποβλήτων, ανάλογα με την προέλευσή τους και τη ραδιενέργειά τους. Ως επί το πλείστον έχουν ελάχιστη ή μέτρια ραδιενέργεια και σύντομο διάστημα ζωής. Μεταξύ αυτών είναι τα ρούχα ή τα γάντια, οι λαμπτήρες και οι βελόνες των νοσοκομείων. Ενώ αποτελούν το 95% του συνόλου των πυρηνικών αποβλήτων, εκπέμπουν λιγότερη ραδιενέργεια από το 1% της συνολικής ραδιενέργειας και γι' αυτό δεν αποτελούν σοβαρό πρόβλημα. Μπορούν να αποθηκευτούν σε τσιμεντένιες χωματερές. Πυρηνικά κατάλοιπα περιέχονται επίσης στα υγρά ψύξης των πυρηνικών αντιδραστήρων.

Η δόση ακτινοβολίας που προκαλεί το ίδιο βιολογικό αποτέλεσμα με εκείνο που συνεπάγεται η επίδραση 1 rad ακτίνων X ονομάζεται 1 rem .

1 rem (rad equivalent for man: ισοδύναμο σε rad για τον άνθρωπο). Το 1 rad είναι παλαιότερη μονάδα μέτρησης της δόσης ιοντίζουσας ακτινοβολίας.

1 rad = 0.01 Gy, όπου 1 Gy (1 gray) ορίζεται ως η απορρόφηση 1 j ιοντίζουσας ακτινοβολίας από 1 kg ύλης (συνήθως ανθρώπινου ιστού).

Η φυσική ραδιενέργεια που παίρνει κανείς ετησίως είναι 0,1-0,15 rem. Το όριο που τίθεται σήμερα για τον γενικό πληθυσμό είναι 0,2 rem. Η θανατηφόρος δόση είναι 600 rem.

Τα πυρηνικά απόβλητα που προκαλούν τη μεγαλύτερη ανησυχία είναι αυτά με υψηλή ραδιενέργεια. Αυτά αποτελούν το 1% των συνολικών πυρηνικών αποβλήτων, αλλά εκπέμπουν το 99% της συνολικής ραδιενέργειας, ενώ η διάρκεια ζωής τους είναι δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Αυτά τα απόβλητα προέρχονται κυρίως από τα «σβησμένα καύσιμα» των εργοστασίων πυρηνικής ενέργειας. *Το κύριο πρόβλημα όμως με τα πυρηνικά απόβλητα δεν είναι η υψηλή ραδιενέργεια, αλλά η χημική τοξικότητά τους.* Τέλος, ένα ακόμη πρόβλημα που προκαλούν τα πυρηνικά εργοστάσια είναι αυτό της *θερμικής ρύπανσης*.

Σε ένα εργοστάσιο πυρηνικής ενέργειας, ένα καύσιμο σπάνια διαρκεί πάνω από 3-4 χρόνια και μετά παύει να είναι αποτελεσματικό. Το πρόβλημα είναι το πώς θα διατεθούν αυτά τα «σβησμένα καύσιμα». Τα σβησμένα καύσιμα δεν περιέχουν μόνο άχρηστες ουσίες αλλά μπορεί να ανακυκλωθούν για να παραγάγουν νέο πυρηνικό καύσιμο. Γι' αυτό ορισμένες χώρες τα ανακυκλώνουν.

9.1.στ. Ραδιενέργεια και υγεία

Τόσο η φυσική όσο και η τεχνητή ραδιενέργεια επιδρούν στους βιολογικούς ιστούς των ζωντανών οργανισμών και επιφέρουν αλλοιώσεις στα κύτταρα και το γενετικό τους υλικό, προκαλώντας *μεταλλάξεις*. Αυτό μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ασθένειες, τόσο στους ίδιους όσο και στους απογόνους τους, ανάλογα με την ποσότητα και το είδος της ραδιενεργού ακτινοβολίας στην οποία έχουν εκτεθεί.

Με τις δοκιμές των πυρηνικών όπλων συσσωρεύεται μεγάλη ποσότητα ραδιενεργών ουσιών στο περιβάλλον. Ιδιαίτερα επικίνδυνο είναι το



Το πυρηνικό εργοστάσιο Vermont Yankee στις ΗΠΑ εκβάλλει θερμό νερό στον ποταμό Connecticut προκαλώντας θερμική ρύπανση.

Θερμική ρύπανση

Η ανύψωση ή ταπείνωση της θερμοκρασίας του νερού πάνω ή κάτω από τις κανονικές εποχιακές τιμές σε ρεύματα, ποτάμια, λίμνες, εκβολές ποταμών, θάλασσες και ωκεανούς ως αποτέλεσμα της αποβολής θερμού ή ψυχρού νερού από διάφορες βιομηχανικές ή βιοτεχνικές μονάδες.



ραδιοϊσότοπο στρόντιο-90 (^{90}Sr), το οποίο εισέρχεται εύκολα στον ανθρώπινο οργανισμό με την τροφή και αποτίθεται στα οστά, όπως ακριβώς και το ασβέστιο (το Sr ανήκει στην 2^η ομάδα του περιοδικού πίνακα, όπως και το Ca). Από εκεί εκπέμπει ακτινοβολία που επηρεάζει την παραγωγή των ερυθρών αιμοσφαιρίων στον μυελό των οστών και προκαλεί λευχαιμία. Είναι επίσης δυνατό, μέσω του θηλασμού, να περάσει από τη μητέρα στο βρέφος και να προκαλέσει σοβαρές βλάβες.

Ένα από τα προϊόντα της ραδιενεργού διάσπασης του U-238 είναι το αέριο ραδόνιο-222 (^{222}Rn). Το Rn εισέρχεται στο ανθρώπινο σώμα μέσω του αναπνευστικού συστήματος και η ακτινοβολία α που εκπέμπει προκαλεί καρκίνο των πνευμόνων.

Τα ραδιοϊσότοπα βρίσκουν εφαρμογές σε πολλούς τομείς, π.χ. στην ιατρική για διαγνωστικούς και θεραπευτικούς σκοπούς. Τα καρκινογόνα κύτταρα είναι πιο ευαίσθητα στην ραδιενεργό ακτινοβολία από τα υγιή. Με τις κατάλληλες προφυλάξεις, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σήμερα στην αντιμετώπιση του καρκίνου. Στη βιολογία και τη γεωργία είναι δυνατό, με τη χρήση ραδιοϊσοτόπων, να παρακολουθούμε την πορεία των προϊόντων μεταβολισμού σε ζώα και φυτά.



Το U-238 βρίσκεται σε μικρές ποσότητες στο έδαφος και κυρίως σε διάφορα πετρώματα

Απεμπλουτισμένο ουράνιο

Είδαμε ότι το U-238, προκύπτει από τον εμπλουτισμό του φυσικού U σε U-235 και ονομάζεται *απεμπλουτισμένο ουράνιο*. Παρόλο ότι και το U-238 είναι ραδιενεργό, το κύριο πρόβλημα είναι η χημική τοξικότητά του και όχι η ραδιενέργεια, γι' αυτό η αποθήκευσή του είναι το ζητούμενο. Το U-238 χρησιμοποιείται συχνά με εναλλακτικούς τρόπους. Για παράδειγμα, η ιδιαίτερα υψηλή πυκνότητά του το καθιστά «ιδανικό» για την επικάλυψη σφαιρών και βλημάτων επειδή διαθέτει μεγάλη διατρητική ικανότητα. Εκτός από τη βιομηχανία όπλων, χρησιμοποιείται επίσης και στην αεροναυπηγική. Βλήματα κατασκευασμένα από U-238 χρησιμοποιήθηκαν τη δεκαετία του 1990 στον πόλεμο του Κοσσυφοπεδίου, με τις αρνητικές συνέπειες στην υγεία του άμαχου πληθυσμού και των στρατιωτών για πολλές δεκαετίες μετά τη πολεμική σύρραξη.



Έκρηξη από ρίψη βόμβας απεμπλουτισμένου ουρανίου

9.1.ζ. Ο θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας

Ένας άλλος τύπος πυρηνικού αντιδραστήρα είναι ο θερμοπυρηνικός, ο οποίος ελπίζεται ότι θα οδηγήσει στην κατασκευή εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας την **πυρηνική σύντηξη** του *υδρογόνου* σε ήλιο.

Η πυρηνική αυτή αντίδραση πιστεύεται ότι γίνεται στον ήλιο και σε αυτήν αποδίδονται οι τεράστιες ποσότητες ενέργειας που εκπέπονται/μεταφέρονται από τον ήλιο. Κατά την αντίδραση, το υδρογόνο μετατρέπεται στο ευγενές αέριο ήλιον (He), ενώ ταυτόχρονα παράγεται ακτινοβολία και σωματίδια με μεγάλη κινητική ενέργεια. Η πυρηνική εξίσωση που αποδίδει την πυρηνική σύντηξη είναι:



Η ενέργεια που μεταφέρεται (αποδεσμεύεται) από τη σύντηξη 1 γραμμαρίου ατόμων υδρογόνου (1 mol ατομικού υδρογόνου) είναι ίση με την ενέργεια που ελευθερώνεται από την καύση περίπου 23.000 λίτρων βενζίνης (από την οποία παίρνουμε τόση ενέργεια, όση ηλεκτρική ενέργεια καταναλίσκει περίπου όλη η Ελλάδα σε μία ώρα!)

Από το 1954, οπότε έγινε η πρώτη δοκιμή βόμβας υδρογόνου, οι φυσικοί είχαν ήδη αρχίσει τις προσπάθειες για την ειρηνική χρήση αυτής της νέας πηγής ενέργειας, της σύντηξης του υδρογόνου. Ο στόχος αυτός όμως αποδείχθηκε πολύ δυσκολότερος από την αντίστοιχη προσπάθεια για την τιθάσευση της ατομικής ενέργειας από τη διάσπαση (σχάση) του ουρανίου. Ο λόγος είναι ότι η σύντηξη του υδρογόνου πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες πολλών



Ο ήλιος είναι ένας φυσικός αντιδραστήρας σύντηξης υδρογόνου. Υπολογίζεται ότι στον ήλιο κάθε δευτερόλεπτο, 6×10^{11} kg ${}^1\text{H}$ μετατρέπονται σε ${}^4\text{He}$.

εκατομμυρίων βαθμών Κελσίου, ενώ ακόμη και τα πιο ανθεκτικά στερεά υλικά που διαθέτουμε στη γη τήκονται στους 3.000 ή 4.000 χιλιάδες βαθμούς.

Είναι δυνατό να κατασκευασθεί αντιδραστήρας που να αντέχει σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες; Μέχρι σήμερα έχουν δοκιμαστεί πολλές ιδέες. Μία από τις πρώτες ιδέες, που αποδείχθηκε και η πιο επιτυχημένη, ήταν η χρήση ενός μαγνητικού πεδίου ως «αόρατου τοιχώματος» του αντιδραστήρα. Στις υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται για τη σύντηξη, το υδρογόνο είναι ιοντισμένο και το αέριο είναι πια ένα μείγμα από πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Το μείγμα αυτό ονομάζεται *πλάσμα*. Σύμφωνα όμως με τη φυσική, το πλάσμα «απωθείται» από τις περιοχές όπου υπάρχει ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Επομένως το μόνο που χρειάζεται για να «συγκρατήσουμε» το πλάσμα μακριά από τα τοιχώματα του θερμοπυρηνικού αντιδραστήρα είναι να τοποθετήσουμε μια σειρά από μαγνήτες με τέτοιο τρόπο ώστε το *μαγνητικό πεδίο να είναι ασθενές στο κέντρο του αντιδραστήρα και ισχυρό κοντά στα τοιχώματα*.

9.2. Ήπιες μορφές ενέργειας

Οι ήπιες μορφές ενέργειας ή «ανανεώσιμες πηγές ενέργειας» (ΑΠΕ) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δύο βασικά χαρακτηριστικά τους:

Το υδρογόνο υπάρχει στο νερό και μπορούμε να το πάρουμε από αυτό, οπότε η κατασκευή θερμοπυρηνικών αντιδραστήρων θεωρείται ότι θα έλυσε το ενεργειακό πρόβλημα των κατοίκων του πλανήτη μας για πολλές χιλιετίες.

- 1) Για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, π.χ. εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απαιτείται απλώς η εκμετάλλευση της ήδη συμβαίνουσας ροής ενέργειας στη φύση.
- 2) Πρόκειται για μορφές «καθαρής» ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα.

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα). Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, αφού και ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια, δεν ανανεώνονται παρά σε κλίμακα χιλιετιών.

Μια άλλη λύση που από πολλούς θεωρείται καλή είναι η πυρηνική ενέργεια. Αυτή, ωστόσο, παρουσιάζει όπως είδαμε τα δικά της προβλήματα.

Η βιομηχανική και τεχνολογική ανάπτυξη έχει συνδεθεί με την καταστροφή σημαντικών οικοσυστημάτων και άλλες δυσμενείς συνέπειες για το φυσικό περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια καταβάλλεται παγκοσμίως μεγάλη προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος.

Οι σημερινοί ρυθμοί κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων φέρνουν την ανθρωπότητα μπροστά σε κρίσιμα και πιεστικά προβλήματα. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με δύο τρόπους:



Σπίτι ενεργειακά αυτόνομο

Στις ΗΠΑ, το 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), αναμένεται το ποσοστό αυτό να φθάσει σύντομα στο 25% (κυρίως από υδροηλεκτρικά έργα και από τη βιομάζα). Τελευταία, η ΕΕ υιοθετεί νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές σε όλα τα κράτη-μέλη

1. Τη συνετή χρησιμοποίηση των περιορισμένων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων.
2. Την προσφυγή σε εναλλακτικές ήπιες και ανανεώσιμες μορφές ενέργειας.

Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας

- Ηλιακή ενέργεια
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Αιολική ενέργεια
- Παλιρροιακή ενέργεια και ενέργεια των κυμάτων
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ενέργεια από το βιοαέριο.



9.2α. Ηλιακή ενέργεια

Ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία, πλαίσια ηλιακών κυψελίδων και γιγάντια κάτοπτρα.

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας έχει πάρα πολλά θετικά στοιχεία, γιατί θα υπάρχει «για πάντα» και δεν ρυπαίνει την ατμόσφαιρα της γης. Οι ηλιακές συσκευές όμως κοστίζουν **πολύ ακριβά**.

Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος

Ένας τρόπος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι τα ηλιακά ηλεκτρικά συστήματα (τα



Ο Αρχιμήδης χρησιμοποίησε συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια και έκαψε τον ρωμαϊκό στόλο έξω από τις Συρακούσες, το 212 π. Χ.

γνωστά μας φωτοβολταϊκά συστήματα) που πρωτοχρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στους διαστημικούς δορυφόρους.

Τα ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία κατασκευάζονται από πυρίτιο. Το πυρίτιο είναι ημιαγωγός και όταν εμπλουτιστεί με κάποια άλλα κατάλληλα στοιχεία, επιτρέπει την ροή των ηλεκτρονίων. Ένα ηλιακό ηλεκτρικό στοιχείο αποτελείται από δύο στρώματα πυριτίου, ένα εμπλουτισμένο με θετικά ιόντα και ένα με αρνητικά. Όταν το ηλιακό φως πέφτει πάνω στην επιφάνεια, ελευθερώνονται ηλεκτρόνια, τα οποία συλλέγονται από ένα πλέγμα αγωγών που υπάρχουν και στις δύο επιφάνειες. Όταν συνδεθεί το στοιχείο με ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, τα ηλεκτρόνια κινούνται από την αρνητική προς την θετική επιφάνεια δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα.

9.2.β. Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η εκμετάλλευση της δύναμης του νερού αποτελεί την αρχαιότερη και πλέον εξελιγμένη απ' όλες της τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας. Τρεις χιλιάδες χρόνια πριν, οι τροχοί που κινούνταν με νερό παρείχαν στους ανθρώπους την πρώτη εναλλακτική της μυϊκής δύναμης πηγή ενέργειας και αποτέλεσαν τους προγόνους των σημερινών γιγαντιαίων προηγμένων υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων που παράγουν το 19% της παγκόσμιας ηλεκτρικής ενέργειας, με αποδοτικότητα που ξεπερνά το 90%.



Ηλιακά στοιχεία

Τα στοιχεία που τροφοδοτούν το πειραματικό ηλιακό αυτοκίνητο δεν διαθέτουν κινητά μέλη, επομένως χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση. Καθένα απ' αυτά δίνει τόση ενέργεια όση και η μπαταρία ενός φακού. Τα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά. Με αυτό τον τρόπο, μικρές ηλεκτρικές τάσεις προστίθενται και μας δίνουν μια πολύ μεγαλύτερη.



Η παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού είναι εντονότερη στις περιοχές που αποδίδονται με κόκκινο χρώμα, και ελάχιστη σε αυτές με βαθύ μπλε.



φράγμα

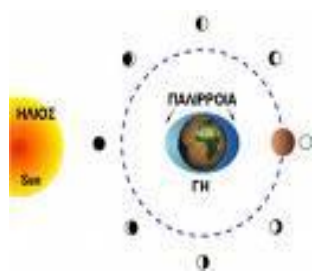
9.2.γ. Αιολική ενέργεια

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο, είναι οικονομικότερη παρά από τους σταθμούς που λειτουργούν με κάρβουνο ή πυρηνικά και η τεχνολογική πρόοδος οδηγεί την αιολική ενέργεια σε άμεσο ανταγωνιστικό κόστος με το φυσικό αέριο.

9.2.δ. Γεωθερμική ενέργεια

Είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Η Ελλάδα λόγω των ειδικών γεωλογικών συνθηκών της είναι πλούσια σε αυτή τη μορφή ενέργειας. Εκμεταλλευόμενοι τη γεωθερμική ενέργεια, μπορούμε να πετύχουμε τηλεθέρμανση κτηρίων σε ορισμένες περιοχές της χώρας και άλλα, όπως ανάπτυξη γεωθερμικών θερμοκηπίων.

9.2.ε. Παλιρροιακή ενέργεια και ενέργεια των κυμάτων



Η καθημερινή άνοδος και κάθοδος των νερών της θάλασσας καθώς και η δύναμη των κυμάτων μεταφέρει μια τεράστια, αν και ακόμη ανεκμετάλλευτη, πηγή ενέργειας.



αιολικό πάρκο

Μια διάταξη ανεμογεννητριών ονομάζεται αιολικό πάρκο.



Το ζεστό νερό μεταφέρεται με γεωτρήσεις από υπόγειες δεξαμενές σε ειδικές δεξαμενές και με την απελευθέρωση της πίεσης μετατρέπεται σε ατμό.



9.2.στ. Βιομάζα

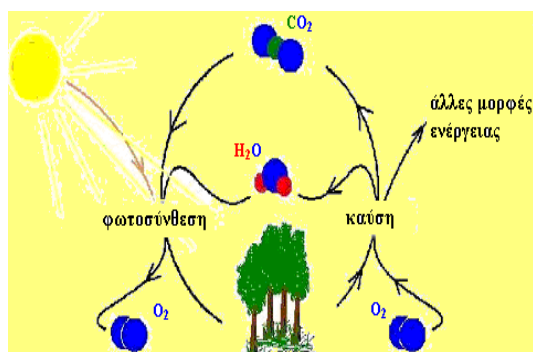
Μια από τις ανερχόμενες και περισσότερο αξιοποιήσιμες, τελευταία ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η **βιομάζα**.

Με τον όρο βιομάζα υποδηλώνονται τα παραπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, και δασικής παραγωγής, τα παραπροϊόντα τα οποία προέρχονται από τη βιομηχανική επεξεργασία των υλικών αυτών, τα αστικά λύματα και απορρίμματα, οι φυσικές ύλες που προέρχονται, είτε από φυσικά οικοσυστήματα (π.χ. αυτοφυή φυτά, δάση), είτε από τεχνητές φυτείες αγροτικού ή δασικού τύπου.

Τρεις σημαντικότερες πηγές βιομάζας είναι :

- Τα αγροτικά υπολείμματα.
- Τα δασικά υπολείμματα
- Τα κτηνοτροφικά υπολείμματα.

Με αξιοποίηση της βιομάζας μπορούμε να πάρουμε σημαντική ποσότητα ενέργειας με σαφώς μικρότερες εκπομπές βλαβερών ουσιών στο περιβάλλον από αυτές που προέρχονται από την καύση συμβατικών καυσίμων. Ως μειονεκτήματα της βιομάζας αναφέρουμε τη δυσκολία συλλογής και μεταποίησης. Επίσης το δαπανηρότερο των εγκαταστάσεών της και τη μικρότερή της θερμαντική ικανότητα σε σύγκριση με τα συμβατικά καύσιμα.



Ορισμένοι τύποι βιομάζας καίγονται θερμαίνοντας λέβητες με νερό και παράγεται ατμός που περιστρέφει μια τουρμπίνα, η οποία με τη σειρά της ενεργοποιεί μια γεννήτρια και παράγει ηλεκτρισμό.

Με τη βιοενέργεια επιλύεται το πρόβλημα των σκουπιδιών των μεγαλουπόλεων, μετατρέποντάς το από πρόβλημα σε προσοδοφόρο επένδυση παραγωγής βιοαερίου. Αυτό συμβαίνει ήδη σε πολλές πόλεις της Ευρώπης, ενώ, στην Αγγλία οι νοικοκυρές πληρώνονται επί πλέον για να παραδώσουν τα σκουπίδια τους.



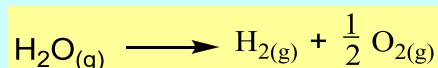
Περιβαλλοντικά όρια

Πολιτικές και οικονομικές δυνάμεις αναμένεται να υιοθετήσουν τον περιορισμό της χρήσης των ορυκτών καυσίμων στις επόμενες δεκαετίες. Κάθε φορά που τα ορυκτά καύσιμα καίγονται σε αυτοκίνητα και σταθμούς ενέργειας, απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο υπάρχει ήδη στην ατμόσφαιρα, παγιδεύοντας την ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνοντας την επιφάνεια της γης. Η υπερβολική αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα προκαλεί την υπερθέρμανση του πλανήτη (*φαινόμενο του θερμοκηπίου*).





Η ερευνητική ομάδα HYDROSOL στην οποία συμμετέχει και συντονίζει το Ελληνικό Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης/Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών ανέπτυξε έναν καινοτομικό, ηλιακό αντιδραστήρα, για την παραγωγή υδρογόνου από υδρατμούς, που μοιάζει με τον γνωστό καταλυτικό μετατροπέα των αυτοκινήτων. Ο κεραμικός αυτός αντιδραστήρας αποτελείται από πολλούς αυλούς και θερμαίνεται απορροφώντας συγκεντρωμένη (μέσω συστήματος κατόπτρων) ηλιακή ακτινοβολία. Οι αυλοί του αντιδραστήρα είναι επικαλυμμένοι με νανοδομημένα υλικά, τα οποία διασπούν το νερό που διέρχεται μέσα από τον αντιδραστήρα, δεσμεύουν το οξυγόνο και αφήνουν ως καθαρό προϊόν της διεργασίας το υδρογόνο:



Σε ένα επόμενο στάδιο, η νανοδομημένη επικάλυψη των αυλών αναγεννάται με τη βοήθεια ηλιακής ενέργειας (δηλαδή απελευθερώνει το οξυγόνο που έχει δεσμεύσει) και ως εκ τούτου μια κυκλική λειτουργία δύο σταδίων (παραγωγή υδρογόνου-αναγέννηση της επικάλυψης), λαμβάνει χώρα στο κλειστό σύστημα του αντιδραστήρα.



Η ηλιακή πλατφόρμα της Αλμερίας στην Ισπανία χρησιμοποιεί ειδικές διατάξεις κατόπτρων για τη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας