

# Η ενέργεια σύντηξης σαν ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας

Γκίνη Βερονίκη<sup>1</sup> και Καψάλα Σωτηρία<sup>2</sup>

1<sup>ο</sup> Πειραματικό Γενικό Λύκειο Θεσ/νίκης «Μανόλης Ανδρόνικος»

<sup>1</sup> gveroniki@hotmail.com, <sup>2</sup> sotkapsala08@yahoo.gr

**Επιβλέπων Καθηγητής : Δρ. Παπαδόπουλος Σταύρος**

Φυσικός, 1<sup>ο</sup> Πειραματικό Γενικό Λύκειο Θεσ/νίκης «Μανόλης Ανδρόνικος»

strapado@sch.gr

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Καθώς περνούν τα χρόνια η κοινωνία μας αυξάνει τις απαιτήσεις της σε ενέργεια, ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται ετησίως κατά 80 εκατομμύρια άτομα (δηλαδή 2 με 3 άνθρωποι το δευτερόλεπτο), οι αναπτυσσόμενες χώρες προσπαθούν να βελτιώσουν το επίπεδο ζωής τους, ενώ οι ανεπτυγμένες απαιτούν περισσότερη ενέργεια για την μεγαλύτερη οικονομική τους ανάπτυξη. Χρειαζόμαστε λοιπόν περισσότερη ενέργεια για να εξασφαλίσουμε το μέλλον μας.

Καθώς τα αποθέματα των συμβατικών καυσίμων ελαττώνονται, οι τιμές τους αυξάνονται ενώ η περιβαλλοντική ζημιά μέσω του CO<sub>2</sub> επίσης αυξάνεται. Σήμερα ο μέσος άνθρωπος βρίσκεται αντιμέτωπος με τις έννοιες του φαινομένου του θερμοκηπίου, της τρύπας του όζοντος, της μόλυνσης από ραδιενέργεια, αλλά και της πράσινης ανάπτυξης.

Ενεργειακές επιλογές είναι η πυρηνική σχάση, η πυρηνική σύντηξη, οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από κάρβουνο με παγίδευση και απομόνωση του άνθρακα και τέλος η χρήση του ενύδρου μεθανίου των ωκεανών και των πόλων.

Η προσομοίωση στην Γή των διαδικασιών που εκτελούνται στον Ήλιο φαίνεται ότι όχι μόνο είναι εφικτή, αλλά ότι μπορεί να οδηγήσει σε εμπορική χρήση της ενέργειας σύντηξης, με ασφάλεια για το περιβάλλον και τον άνθρωπο.

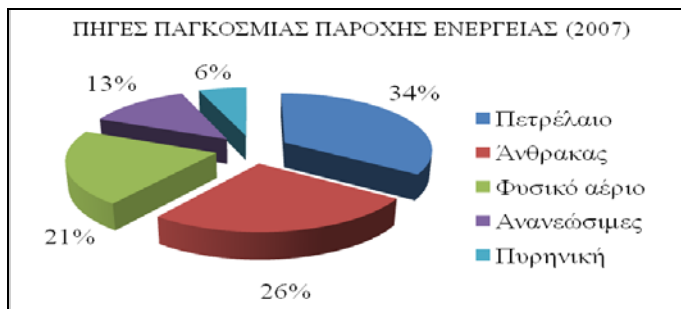
Στο άρθρο αυτό περιγράφεται, το πόσο κοντά βρισκόμαστε σήμερα στην υλοποίηση της παραγωγής συμφέρουσας, καθαρής ενέργειας από πυρηνική σύντηξη.

**ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ :** πλάσμα, θερμοπυρηνική σύντηξη, ανανεώσιμες πηγές, ΤΟΚΑΜΑΚ, περιβαλλοντικά προβλήματα.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όσο περνούν τα χρόνια η κοινωνία μας, πολλαπλασιαζόμενη και αναπτυσσόμενη, αυξάνει τις απαιτήσεις της σε ενέργεια, έτσι η κατανάλωση ανά άτομο μεγαλώνει διαρκώς. Χρειαζόμαστε λοιπόν ολόένα και περισσότερη ενέργεια. Πολλές προσπάθειες έγιναν για να αυξήσουμε και ενδεχομένως να βελτιώσουμε τις, ήδη πολλές, διαθέσιμες πηγές ενέργειας. Σήμερα χρησιμοποιούμε τα ορυκτά καύσιμα, την ηλιακή, γεωθερμική

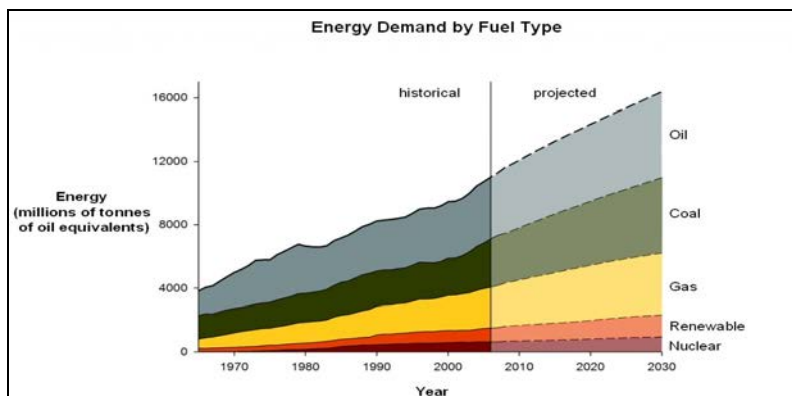
και αιολική ενέργεια, την ενέργεια βιομάζας, των ωκεάνιων κυμάτων και της παλίρροιας, την υδροηλεκτρική και τέλος την πυρηνική. Στην εικόνα 1 παρουσιάζεται η κατανομή των διαθέσιμων αυτών πηγών στην παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση (World Energy Outlook, 2009).



Τα τελευταία χρόνια έχει συζητηθεί εκτενώς η επίδραση του ανθρώπου στο κλίμα και έχει κατηγορηθεί (δίκαια) το CO<sub>2</sub> και γενικά ότι έχει να κάνει με τον άνθρακα. Σήμερα ο μέσος άνθρωπος βρίσκεται αντιμέτωπος με τις έννοιες του φαινομένου του θερμοκηπίου, της τρύπας του όζοντος, της μόλυνσης από ραδιενέργεια, αλλά και της πράσινης ανάπτυξης. Όσο περνά ο καιρός, αρχίζει να γίνεται κατανοητό ότι το ενεργειακό μας μέλλον δεν πρέπει να βασίζεται στα αποθέματα καυσίμων αλλά στην επιστημονική γνώση που θα μας παρέχει καθαρή, ασφαλή και φθηνή ενέργεια.

## ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΜΟΛΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Τα τελευταία 200 χρόνια η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας για τον άνθρωπο είναι τα ορυκτά καύσιμα. Ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, προμηθεύουν πάνω από το 80% των συνολικών ενεργειακών αναγκών μας.



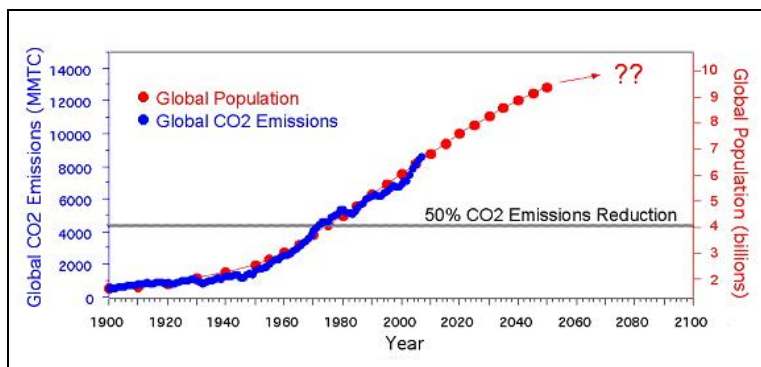
Εικόνα 2 : Ενεργειακή ζήτηση διαφόρων τύπων καυσίμων ανά έτος (η ενέργεια σε εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου)

Παρ' όλη την συνεχή αύξηση της ζήτησης σε ενέργεια, τα κοιτάσματα κυρίως γαιάνθρακα είναι τεράστια και φαίνεται ότι επαρκούν για τα επόμενα 100 χρόνια. Υπάρχουν όμως κάποια σημαντικά προβλήματα που εγείρονται:

α) Η χρήση των ορυκτών καυσίμων παράγει πολλούς ρύπους που μολύνουν την ατμόσφαιρα, όπως το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), διάφορα οξείδια του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) και μικροσωματίδια.

β) Το σχηματιζόμενο διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), δρα σαν επιστρωμα γύρω από την Γή που συγκρατεί την θερμότητα μεγεθύνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του πλανήτη.

Θα πρέπει να τονιστεί εδώ ότι το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την ζωή πάνω στην Γή. Αν δεν υπήρχε, η μέση θερμοκρασία της Γής θα ήταν  $33^\circ \text{C}$  χαμηλότερη, δηλαδή θα ήταν  $-20^\circ \text{C}$  ! Τα αέρια που συνεισφέρουν στο φαινόμενο αυτό είναι οι υδατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το μονοξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) και ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου.



Εικόνα 3 : Εξέλιξη της εκπομπής  $\text{CO}_2$  (σε εκατομμύρια μετρικούς τόνους C) και παγκόσμιου πληθυσμού (σε δισεκατομμύρια) με το πέρασμα των δεκαετιών

Το πρόβλημα λοιπόν προξενείται από την υπερβολική αύξηση ορισμένων από τα αέρια του θερμοκηπίου, όπως το  $\text{CO}_2$  που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων και το  $\text{CH}_4$  που ελευθερώνεται από τα φυτά, τα ορυχεία και τις αγελάδες.

Ο τεχνολογικός πολιτισμός αναγκαιεί ενέργεια, έτσι οι μεν αναπτυγμένες χώρες θέλουν να προοδεύσουν ακόμα πιο πολύ, καταναλώνοντας ενέργεια, οι δε αναπτυσσόμενες θέλουν ακριβώς να αναπτυχθούν. Δεν πρέπει να μας διαφεύγει επίσης το γεγονός της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού. Υπολογίζεται ότι σε 50 χρόνια, από 6 δισεκατομμύρια σήμερα, θα φτάσουμε στα 9 δισεκατομμύρια !

Έτσι αντί να μειώνεται, η παραγωγή  $\text{CO}_2$  κάθε χρόνο θα αυξάνεται. Χαρακτηριστική η εικόνα 3, (πηγή : για τον πληθυσμό το U.S. Census Bureau, για τις εκπομπές  $\text{CO}_2$  το Carbon Dioxide Information Analysis Center, στοιχεία του 2007).

## ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ανανεώσιμες πηγές είναι :

α) Η ηλιακή ενέργεια, την οποία συλλέγουμε μέσω των ηλιακών πάνελς.

β) Η αιολική ενέργεια, δηλαδή η ενέργεια του ανέμου που κινεί ανεμογεννήτριες οι οποίες στην συνέχεια την μετατρέπουν σε ηλεκτρική.

γ) Η ενέργεια του νερού, χρησιμοποιείται μέσω των υδροηλεκτρικών σταθμών.

δ) Η ενέργεια βιομάζας, που συλλέγεται από τα φυτά και τα δένδρα.

ε) Η γεωθερμική ενέργεια, που περικλείεται σε τεράστιες ποσότητες μέσα στην γη.

στ) Η ενέργεια των κυμάτων των ωκεανών.

Κοινό χαρακτηριστικών όλων των ανανεώσιμων πηγών (εκτός του ότι είναι προφανώς ανεξάντλητες) είναι το ότι δεν παράγουν αέρια του θερμοκηπίου, αλλά ούτε ραδιενεργά απόβλητα.

## Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΣΥΝΤΗΞΗ

Υπάρχει ένα είδος ενέργειας που απασχόλησε εδώ και χρόνια τους επιστήμονες και κατά μία έννοια θα μπορούσε να ονομαστεί ανανεώσιμη. Η πυρηνική ενέργεια από σύντηξη.



Εικόνα 4 : Ήλιος, το εργαστήριο της πυρηνικής σύντηξης

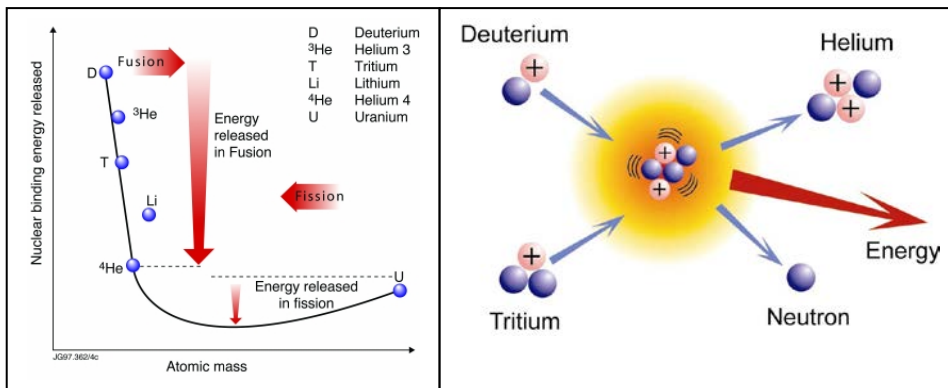
Πράγματι μπορούμε να θεωρήσουμε ότι πίσω από σχεδόν όλες τις πηγές ενέργειας κρύβεται ο Ήλιος. Για την ηλιακή ενέργεια βέβαια δεν τίθεται θέμα. Τα ορυκτά καύσιμα ήταν κάποτε φυτά που αναπτύχθηκαν από την ηλιακή ακτινοβολία. Ο άνεμος προκαλείται από θερμοκρασιακές διαφορές που οφείλονται στον Ήλιο. Ο κύκλος του νερού στην φύση, μέσω της ατμόσφαιρας, προκαλείται επίσης από τον Ήλιο. Και ο Ήλιος είναι μία «μηχανή» που τροφοδοτείται από την ενέργεια σύντηξης. Η σύντηξη είναι υπεύθυνη για την ενέργεια όχι μόνο του Ήλιου αλλά και όλων των αστέρων. Έτσι μπορούμε να την θεωρήσουμε σαν την πιο διαδεδομένη πηγή ενέργειας στο Σύμπαν.

## ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ Η ΘΕΡΜΟΠΥΡΗΝΙΚΗ ΣΥΝΤΗΞΗ

Πυρηνική σύντηξη είναι η διαδικασία κατά την οποία οι πυρήνες δύο ελαφρών ατόμων συνδυάζονται με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός νέου βαρύτερου πυρήνα. Κατά την σύντηξη απελευθερώνεται ένα τεράστιο ποσό ενέργειας (Εικόνα 5). Η μεγάλη σημασία της σύντηξης είναι η εκμετάλλευση αυτής ακριβώς της ενέργειας (Wilhelmsson H., 2000).

Ο πυρήνας που προέρχεται από την σύντηξη, είναι τελικά λίγο ελαφρότερος από το άθροισμα των αρχικών ατόμων. Σύμφωνα με την διάσημη εξίσωση του Einstein,  $E=mc^2$ ,

που εκφράζει την αρχή της ισοδυναμίας μάζας και ενέργειας (αρχή της υλοενέργειας), αυτό το μικρό έλλειμμα μάζας αντιστοιχεί στην τεράστια ποσότητα ενέργειας που εμφανίζεται.

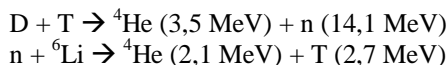


Εικόνα 5 : Εκλυόμενη ενέργεια κατά την σχάση και σύντηξη. Η σύντηξη D-T (δεξιά).

Οι καταλληλότεροι πυρήνες για την διαδικασία της σύντηξης είναι τα ισότοπα του υδρογόνου : δευτέριο D (1 πρωτόνιο και 1 νετρόνιο) και τρίτιο T (1 πρωτόνιο και 2 νετρόνια). Σχηματικά η σύντηξη δευτερίου-τριτίου παρουσιάζεται στην εικόνα 5.

Το δευτέριο μπορούμε να το εξασφαλίζουμε από το υδρογόνο που βρίσκεται στο θαλασσινό νερό με ηλεκτρόλυση, ενώ το τρίτιο παρασκευάζεται τεχνητά από δύο δευτέρια ή από βομβαρδισμό πυρήνων λιθίου με νετρόνια. Το λίθιο βρίσκεται σε αφθονία στον εξωτερικό φλοιό της Γης. Η σύντηξη D-T δημιουργεί έναν πυρήνα ηλίου He με κινητική ενέργεια 3,5 MeV και ένα νετρόνιο με κινητική ενέργεια 14,1 MeV .

Οι βασικές αντιδράσεις σύντηξης είναι οι εξής :



Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και άλλες αντιδράσεις σύντηξης, οι παραπάνω όμως είναι οι καλύτερες, τουλάχιστον για τους πρώτους αντιδραστήρες σύντηξης, καθώς χαρακτηρίζονται από χαμηλή θερμοκρασία έναρξης και αναγκαιούν χαμηλή συμπίεση. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα νετρόνια που εκλύονται, αφενός μεταφέρουν την ενέργεια που πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική, αφετέρου προκαλούν φθορές στα τοιχώματα του αντιδραστήρα και παράγουν το τρίτιο που είναι ραδιενεργό στοιχείο.

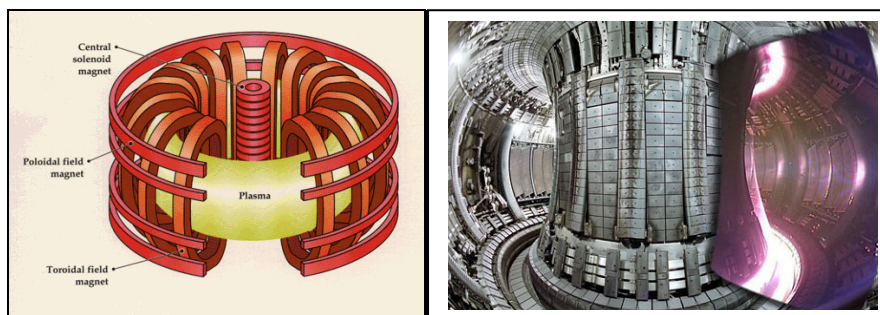
## ΤΟ ΠΛΑΣΜΑ ΚΑΙ ΟΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΣΥΝΤΗΞΗΣ

Για να βρεθούν δύο πυρήνες σε μικρή απόσταση μεταξύ τους πρέπει να δαπανηθούν τεράστια ποσά ενέργειας. Πράγματι οι κατάλληλες συνθήκες για σύντηξη απαιτούν θερμοκρασίες της τάξης των 100 εκατομμυρίων βαθμών Κέλβιν.

Στον Ήλιο η διαδικασία της σύντηξης συμβαίνει αυθόρμητα, λόγω και της μεγάλης συμπίεσης που προξενεί η βαρύτητά του. Η επιφάνεια του Ήλιου (και όλων των

αστέρων) βρίσκεται στην λεγόμενη τέταρτη κατάσταση της ύλης που προφανώς είναι η πιο διαδεδομένη κατάσταση στην οποία εμφανίζεται η ύλη στο Σύμπαν. Δεν μιλάμε για στερεή, υγρή ή αέρια κατάσταση, αλλά για την κατάσταση πλάσματος.

Ένα αέριο γίνεται πλάσμα όταν η προσθήκη θερμότητας ή άλλης ενέργειας αναγκάζει έναν σημαντικό αριθμό ατόμων να απελευθερώσουν μερικά ή όλα τα ηλεκτρόνια τους. Τα υπόλοιπα μέρη εκείνων των ατόμων αφήνονται με ένα θετικό φορτίο, και τα αποσυνδεδεμένα αρνητικά ηλεκτρόνια είναι ελεύθερα να μετακινηθούν. Το μίγμα των θετικά φορτισμένων πυρήνων και αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων είναι ένα πλάσμα.



Εικόνα 6 : Ο μαγνητικός περιορισμός του πλάσματος. Το εσωτερικό του Tokamak

Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για να υλοποιήσουν την πυρηνική σύντηξη είναι πολύπλοκες και πολυέξοδες. Μετά από πειραματικές προσπάθειες πολλών χρόνων, οι επιστήμονες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα περισσότερα πλεονεκτήματα για υλοποίηση της σύντηξης προσφέρουν οι αντιδραστήρες μαγνητικού περιορισμού τύπου TOKAMAK (Kadomtsev B.B., 1992).

Σε ένα TOKAMAK, το πλάσμα θερμαίνεται σε ένα δοχείο με μορφή κλειστού σωληνοειδούς (ή τόρου) και κρατιέται μακριά από τα τοιχώματα αυτού του δοχείου με την εφαρμογή μαγνητικών πεδίων (εικόνα 6).

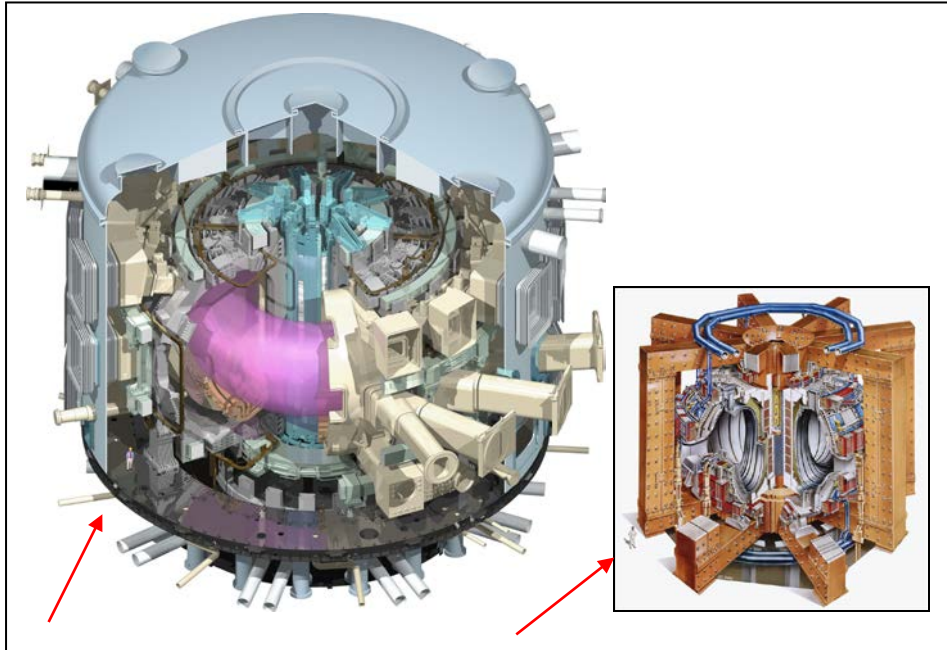
## Ο ΔΙΕΘΝΗΣ ΘΕΡΜΟΠΥΡΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ (ITER)

Το JET (Joint European Torus) είναι ο Κοινός Ευρωπαϊκός Αντιδραστήρας Σύντηξης που κατασκευάστηκε στο Culham, κοντά στην Οξφόρδη της Μ. Βρετανίας, από το 1978 έως το 1983. Πρόκειται για ένα μεγάλο ερευνητικό έργο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που έδωσε σημαντικά αποτελέσματα, συνεισφέροντας στο Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Σύντηξης, (Wesson J., 1999), (Culham Centre for Fusion Energy).

Το 1991 έγινε η πρώτη εγκατάσταση σύντηξης στον κόσμο που παρήγαγε σημαντική ποσότητα ενέργειας σύντηξης από δευτέριο και τρίτιο (εικόνα 7).

Το ITER είναι το επόμενο βήμα μεταξύ των σημερινών μελετών και των αυριανών Εργοστασίων Παραγωγής Ηλεκτρισμού με Πυρηνική Σύντηξη (Campbell D.J., 1999). Σήμερα αποτελεί ένα Διεθνές Ερευνητικό Πρόγραμμα με συμμετοχή της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της Αμερικής, της Ρωσίας, της Ιαπωνίας, της Κίνας (2003), της Κορέας (2003) και της Ινδίας (2005). Μαζί τα επτά αυτά μέρη αντιπροσωπεύουν πάνω από τον μισό παγκόσμιο πληθυσμό.





Εικόνα 7 : Τομή του αντιδραστήρα ITER. Θα είναι πολύ μεγαλύτερος του JET (πλαίσιο). Προσέξτε τις διαστάσεις του ανθρώπου στα δύο σχήματα (!!)

Ο τόπος κατασκευής για το ITER αποφασίστηκε μετά από μακροχρόνιες διαβουλεύσεις. Τον Ιούνιο του 2005 στην Μόσχα συμφωνήθηκε, ομόφωνα, η εγκατάσταση να πραγματοποιηθεί στο Cadarache στην νότια Γαλλία. Ο οργανισμός ITER συστάθηκε επίσημα το 2007 έχοντας έναν προϋπολογισμό 10 δισεκατομμυρίων δολαρίων και τα έργα κατασκευής άρχισαν άμεσα. Η ολοκλήρωση του έργου προβλέπεται ότι θα διαρκέσει μέχρι το 2017 (Bartlett D., 2006).

Οι εργασίες κατανέμονται σε δύο φάσεις: την προετοιμασία του χώρου και την κατασκευή των κτιρίων. Ο συνολικός χώρος που διατίθεται είναι 1800 στρέμματα. Τα μισά μόνο χρησιμοποιήθηκαν για το ITER, ενώ τα άλλα μισά παραμένουν δασική έκταση. Το 2009 ολοκληρώθηκε η προετοιμασία της πλατφόρμας στην οποία θα κτιστούν οι εγκαταστάσεις και ο αντιδραστήρας. Οι διαστάσεις της είναι: 1 km μήκος με 400 m πλάτος και αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες επίπεδες επιφάνειες που έφτιαξε ο άνθρωπος. Τα κτίρια του ITER θα ζυγίζουν 350000 τόνους, ενώ ο αντιδραστήρας θα έχει ύψος 57 m (ITER Organization).

Ο αντιδραστήρας θα είναι ο μεγάλος αδελφός του JET και θα χρησιμοποιεί όλη την τεχνογνωσία που αποκτήθηκε. Οι τεράστιες διαστάσεις του αντιδραστήρα παρόλο που ανεβάζουν το κόστος, επιβάλλονται από εμπειρικούς «νόμους κλιμάκωσης» οι οποίοι προβλέπουν την παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας, αλλά και ταυτόχρονα καλύτερη κατακράτηση ενέργειας από τα τοιχώματα ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα στην δομή του αντιδραστήρα (ITER Final Design Report, 2001).

Βασίζεται σε έναν αντιδραστήρα σύντηξης τύπου TOKAMAK, που θα λειτουργεί με D-T σε θερμοκρασία πάνω από 100 εκατομμύρια °C και θα παράγει περισσότερη ενέργεια από ότι θα καταναλώνει. Ο στόχος είναι από 50 MW ισχύ, να παράγουμε 500 MW, δηλαδή να έχουμε έναν πολλαπλασιαστικό συντελεστή 10.

Το 2013 θα αρχίσει η συναρμολόγηση του TOKAMAK και θα ολοκληρωθεί το 2017. Την αμέσως επόμενη χρονιά θα δημιουργηθεί το πρώτο πλάσμα.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ας θυμηθούμε εδώ τα σημαντικά πλεονεκτήματα της σύντηξης. Χρησιμοποιεί σαν πρώτη ύλη το θαλασσινό νερό, τα καύσιμα δηλαδή είναι ανεξάντλητα, άρα και τα αποθέματα ενέργειας. Δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με αέρια του θερμοκηπίου. Δεν παράγει ραδιενεργά κατάλοιπα. Το μόνο ραδιενεργό συστατικό, το τρίτιο, δεν θα μεταφέρεται από κάπου αλλού, αλλά θα παράγεται στον αντιδραστήρα και θα καταναλώνεται σχεδόν εξολοκλήρου. Έχει εξάλλου μικρό χρόνο ημιζωής και παράγει ακτινοβολία β<sup>-</sup> πολύ χαμηλής έντασης. Στον αέρα τα ηλεκτρόνια αυτής της ακτινοβολίας μπορούν να ταξιδεύσουν λίγα χιλιστά και δεν μπορούν να διαπεράσουν ούτε ένα φύλλο χαρτί. Δεν είναι αλυσιδωτή αντίδραση. Έτσι δεν υπάρχει κίνδυνος πυρηνικού ατυχήματος. Αν κάτι συμβεί, η αντίδραση σταματά αμέσως γιατί η ποσότητα του καυσίμου είναι πολύ μικρή σε κάθε δεδομένη στιγμή. Και φυσικά δεν χρειάζεται να υπάρξει κανένα σχέδιο εκκένωσης του τοπικού πληθυσμού.

Η ενέργεια από σύντηξη λοιπόν είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που όσο περνά ο καιρός φαίνεται ότι παίρνει την θέση που της αρμόζει στην αναζήτηση του ανθρώπου για περισσότερη ενέργεια.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bartlett D., (2006), The European Fusion Programme, Volos Summer School and Workshop.
- Campbell D.J., (1999), "Physics Goals of RTO/RC ITER", *Plasma Phys. Control. Fusion* 41 B381.
- Culham Centre for Fusion Energy (CCFE), [www.ccf.ac.uk](http://www.ccf.ac.uk)
- Energy, Powering Your World, (2005), FOM-Institute for Plasma Physics, Rijnhuizen.
- EURATOM/UKAEA Fusion Programme (2004-05), Annual Report.
- Fusion for Energy, <http://fusionforenergy.europa.eu>
- ITER Organization, [www.iter.org](http://www.iter.org)
- Kadomtsev B.B., (1992), "Tokamak Plasma: a Complex Physical System", IOP Publishing, Bristol.
- Key World Energy Statistics, (2009), International Energy Agency (IEA).
- Wesson J., (1999), "The Science of JET" *Report JETR (99) 13, OX14 3EA*, JET, Abingdon, Oxon.
- Wilhelmsson H., (2000), *A Voyage Through the Plasma Universe*, IOP Publishing Ltd.
- World Energy Model 2009, Methodology and Assumptions, International Energy Agency (IEA).
- World Energy Outlook 2009, Executive Summary, International Energy Agency (IEA).