

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

ΤΟΥ ΑΛΚΗ ΓΑΛΔΑΔΑ
algaldadas@yahoo.gr

Το πρώτο, έστω και μόλις τετρασέλιδο, ενημερωτικό δελτίο που έφθασε στην εφημερίδα από την ομάδα έκανε λόγο αποκλειστικά για τη σύντηξη. Όπως αναφέρεται στην πρώτη σελίδα: «Καθώς όλο και περισσότερο συζητείται η σύντηξη ως πηγή ασφαλούς και άφθονης ενέργειας και συχνά οι επιτυχίες προς τον σκοπό αυτόν γίνονται πρωτοσέλιδα, είναι υποχρέωση αυτών που εργάζονται ερευνητικά στη χώρα μας να πληροφορήσουν σχετικά το ευρύ κοινό, την επιστημονική κοινότητα και την ελληνική βιομηχανία». Στη συνέχεια μαθαίνουμε ότι έχει ιδρυθεί από το 1999 ένα Εθνικό Πρόγραμμα Σύντηξης όπου συμμετέχουν ερευνητικές ομάδες από το ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» και άλλα ελληνικά πανεπιστήμια. Με αντικείμενο ενασχόλησης, μεταξύ άλλων, την έρευνα σχετικά με τις συσκευές σύντηξης όπως το ITER στη Γαλλία, το JET στο Κάλαμ της Αγγλίας και αργότερα το DEMO που θα είναι η συνέχεια του ITER. Μια θετική είδηση είναι η ενασχόληση και ελλήνων επιστημόνων με τη σύντηξη. Παρόλο που τα δέκα τελευταία χρόνια έχουμε διαβάσει τα μύρια όσα αρνητικά σχετικά με τον ITER και τις προσπάθειες για ενέργεια με λιγότερο δυσμενείς συνθήκες για τον πλανήτη από ό,τι η πυρηνική σχάση και η καύση υδρογονανθράκων.

Μικροί ήλιοι

Πρόκειται για έναν Διεθνή Θερμοπυρηνικό Πειραματικό Αντιδραστήρα, που κατασκευάζεται στο Κανταράς της Νότιας Γαλλίας και για συντομία προφέρεται «ιτέρ» (στα λατινικά σημαίνει το ταξίδι, το πέραςμα, ο δρόμος). Από τα αρχικά γράμματα των λέξεων International Thermonuclear Experimental Reactor.

Για όποιον έχει χάσει μερικές συνέχειες η αρχή βρίσκεται στην προσπάθεια από τον άνθρωπο να αντιγράψει την παραγωγή ενέργειας που γνωρίζει πλέον καλά ότι συμβαίνει στην καρδιά του Ηλίου. Εκεί πυρήνες υδρογόνου συντήκονται δίνοντας πυρήνες του στοιχείου Ηλιον (He) με ταυτόχρονα μεγάλη απελευθέρωση θερμικής ενέργειας. Η αντιγραφή αυτού του φαινομένου στην επιφάνεια της Γης αποδείχθηκε μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για το μυαλό αλλά και τα χέρια του ανθρώπου.

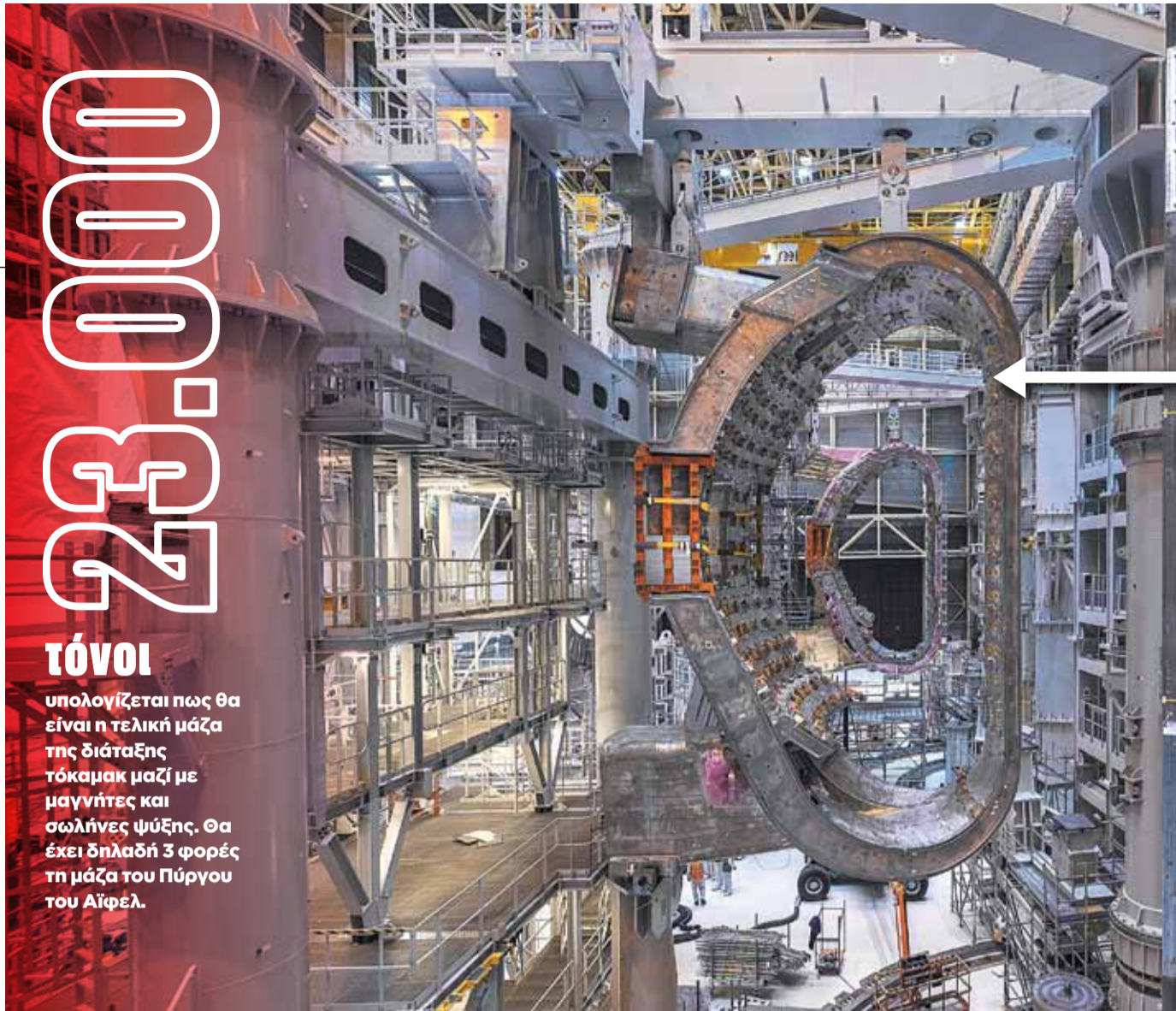
Όπως εξηγεί η δρ **Κωνσταντίνα Μεργιά**, διευθύντρια Ερευνών στον «Δημόκριτο»: «Η διαδικασία της σύντηξης λαμβάνει χώρα με το

Δύο από τα γιγάντια τμήματα που όταν συναρμολογηθούν και συγκολληθούν θα δημιουργήσουν τον χώρο όπου σε συνθήκες κενού, τεράστιων πιέσεων και θερμοκρασιών θα επιτυγχάνεται μέσα από το πλάσμα η σύντηξη των πυρήνων

καύσιμο να βρίσκεται στην τέταρτη μορφή της ύλης που ονομάζεται πλάσμα. Το πλάσμα είναι σε ασύλληπτα υψηλές θερμοκρασίες και πλέον υπό μορφή ιονισμένου αερίου (δηλαδή τα ηλεκτρόνια έχουν αποδεσμευθεί από τις πειθαρχημένες τροχιές τους ως προς τους πυρήνες). Αρα είναι ανάγκη να συγκρατείται με ισχυρά μαγνητικά πεδία σε πολύ περιορισμένο χώρο για να επιτυγχάνεται η δημιουργία βαρύτερων πυρήνων, όπως το στοιχείο ήλιον, από τη συνένωση των πυρήνων υδρογόνου και ισοτόπων αυτού (σύντηξη) αποδίδοντας ταυτόχρονα ωφέλιμη ενέργεια. Στην παραγωγή ενέργειας από σύντηξη ενσωματώνονται σύγχρονες τεχνολογικές ανακαλύψεις ενώ εξ ανάγκης παράλληλα αναπτύσσονται νέες τεχνολογίες. Η ομάδα μας, σε συνεργασία με τα μεγαλύτερα ευρωπαϊκά Κέντρα, εργάζεται για την κατανόηση της αλληλεπίδρασης του πλάσματος με τα συστήματα που το περιβάλλουν και για την ανάπτυξη κατάλληλων υλικών που αντέχουν στο αντίξοο περιβάλλον της σύντηξης καθώς και για την ανάπτυξη τεχνολογιών ανίχνευσης νετρονίων. Οι νέες τεχνολογίες και τα υλικά τα οποία αναπτύσσονται έχουν εφαρμογή και σε άλλες ερευνητικές περιοχές, όπως για παράδειγμα το Διάστημα».

Διεθνής συνεργασία

Το εγχείρημα της κατασκευής του ITER στη Νότια Γαλλία αποτελεί μια διεθνή προσπάθεια της ΕΕ και έξι ακόμη χωρών που κατέχουν το 88% του παγκόσμιου προϊόντος και είναι ένα έργο μεγάλης πολυπλοκότητας και μοναδικό στο είδος του. Σκοπός είναι να αποδειχθεί ότι μπορεί να κατασκευαστεί ένας μικρός Ηλιος στη Γη και να τον χρησιμοποιήσουμε για παραγωγή ωφέλιμης ενέργειας. «Οι συμμετέχοντες στο εγχείρημα δεν συνεισφέρουν μόνο με χρήματα αλλά και με τεχνογνωσία και κατασκευή διαφόρων τμημάτων του αντιδραστήρα. Το σημαντικότερο για εμένα είναι πως επιστήμονες από 35 κράτη, από τε-



3.23

ΤΟΝΟΙ

υπολογίζεται πως θα είναι η τελική μάζα της διάταξης τόκαμακ μαζί με μαγνήτες και σωλήνες ψύξης. Θα έχει δηλαδή 3 φορές τη μάζα του Πύργου του Αϊφελ.

Ο... ΔΡΟΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΟΣ ΕΠΙΓΕΙΟΥ «ΗΛΙΟΥ»

Στον Διεθνή Θερμοπυρηνικό Πειραματικό Αντιδραστήρα (ITER) που κατασκευάζεται στη Γαλλία οι ερευνητές θα αντιγράφουν τις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στο μητρικό μας άστρο με στόχο την παραγωγή άφθονης και καθαρής ενέργειας. Προς το παρόν επιλύουν τα προβλήματα που ανακύπτουν

λείως διαφορετικούς πολιτισμούς, συνεργάζονται και συνθέτουν τεχνολογίες για να κάνουν πραγματικότητα ένα παγκόσμιο όνειρο. Καθαρή και άφθονη ενέργεια για όλους τους λαούς. Ως Ελληνίδα είμαι υπερήφανη γιατί συμπατριώτες μας είναι υψηλόβαθμα στελέχη σε αυτή την προσπάθεια». Ας μην ξεχνάμε πως ο ITER όταν λειτουργήσει με επιτυχία θα είναι ένα ενδιάμεσο στάδιο διότι δεν θα λειτουργήσει ως παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας. Θα έχει αποδείξει «απλά»(;) ότι οι ιδέες και η τεχνολογία που υπάρχει και αναπτύσσεται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας. Αμέσως μετά θα πρέπει να δημιουργηθεί ο DEMO. Σύμφωνα με τη συνομιλήτριά μας, «θα είναι ο πρώτος πιλοτικός αντιδραστήρας ο οποίος θα παράγει ενέργεια που θα συνδέε-

ται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η ομάδα του Δημόκριτου εργάζεται για την επίλυση τεχνολογικών προβλημάτων ώστε να είναι δυνατή η κατασκευή του DEMO, η οποία υπολογίζεται να ξεκινήσει στα τέλη της δεκαετίας του 2030. Επίσης όλοι οι ερευνητές αναμένουμε τη λειτουργία του ITER για να δούμε τι προβλήματα παρουσιάζονται προς επίλυση».

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν τα θετικά και αυτά που θα θέλαμε να είναι λίγο πιο θετικά στην υπόθεση. Διότι κατά την άποψη της κυρίας Μεργιά «ήδη υπάρχουν σημαντικά οφέλη της ερευνητικής δραστηριότητας που εκτελεί η ομάδα μας στον Δημόκριτο. Έχει μισθοδοτηθεί μεγάλος αριθμός νέων επιστημόνων από ευρωπαϊκά και εθνικά κονδύλια, αλλά το σημαντικότερο όλων, νέοι ερευνη-



200
χιλιόμετρα

είναι το μήκος των καλωδίων που έχουν χρησιμοποιηθεί έως τώρα.

Μία ιδεατή εικόνα από το μέλλον, ίσως πέντε με δέκα χρόνια μετά από τώρα, όταν η όλη εγκατάσταση θα λειτουργεί τέλεια. Διακρίνεται το πλάσμα (ροζ νέφος) στο εσωτερικό του χώρου όπου σε κενό αέρος θα λαμβάνει χώρα η σύντηξη. Το πλάσμα φαίνεται να περιβάλλεται από τη μεταλλική θωράκιση που σε χωριστά τμήματα μεταφέρεται για να συναρμολογηθεί επί τόπου

3.000

τόνους

Ζυγίζουν οι μαγνήτες που περιβάλλουν τον θάλαμο σύντηξης και βρίσκονται σε θερμοκρασία -269 βαθμών Κελσίου.

Πριν αρχίσει η συναρμολόγηση του χώρου όπου θα γίνεται η σύντηξη έπρεπε να δημιουργηθεί ο κεντρικός αγωγός από όπου θα περνούν οι σπείρες των γιγάντιων πηνίων που θα περιβάλλουν τον χώρο της σύντηξης δημιουργώντας το απαραίτητο μαγνητικό πεδίο για τον περιορισμό των πυρήνων σε έναν «αέρινο» δακτύλιο, για την επίτευξη της σύντηξης

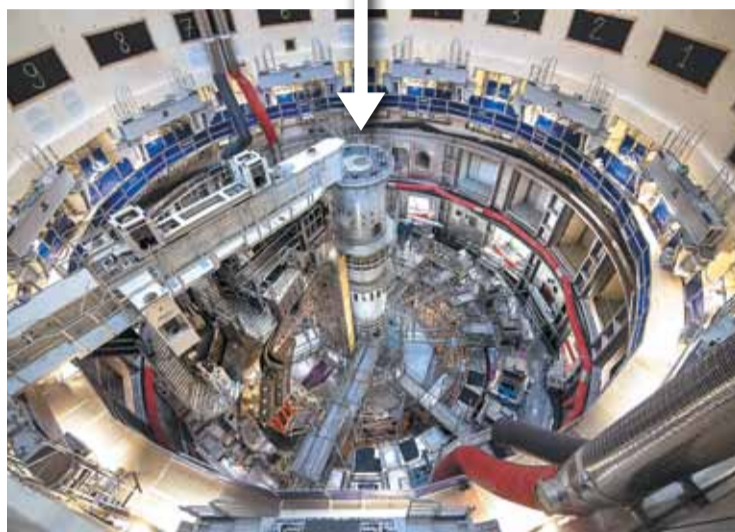
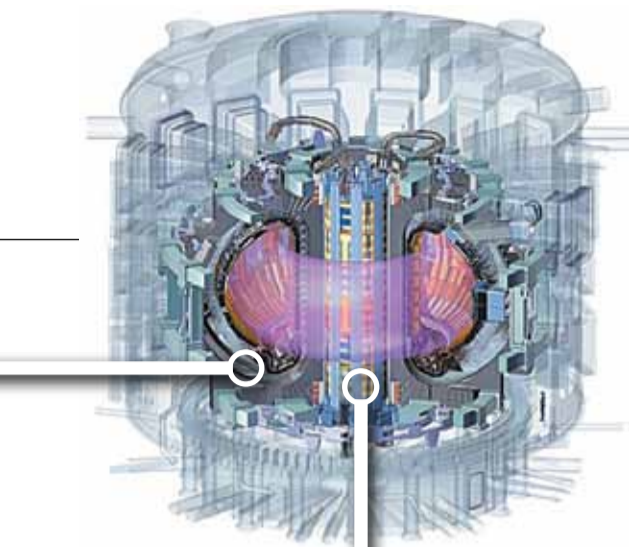
ΤΑ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ

Στο Εθνικό Κέντρο Ερευνας Φυσικών Επιστημών (ΕΚΕΦΕ) «Δημόκριτος» έχει την έδρα της η Ομάδα Τεχνολογίας Σύντηξης και οι δραστηριότητες της εντάσσονται στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Κοινοπραξίας EUROfusion. Ζητήσαμε από τη δόκτορα Κωνσταντίνα Μεργιά, διευθύντρια Ερευνών του Κέντρου, περισσότερες πληροφορίες για τις ερευνητικές δραστηριότητες αυτής της ομάδας. Στην απάντησή της μας ανέφερε ότι αντικείμενα έρευνας των ελλήνων επιστημόνων της ομάδας του «Δημοκρίτου» είναι:

- **Η κατανόηση** της αλληλεπίδρασης του πλάσματος με τα υλικά που το περιβάλλουν σε υπάρχουσες πειραματικές συσκευές σύντηξης (JET, WEST) με στόχο τη βελτίωση της αντοχής τους και την παράταση της διάρκειας της ζωής τους.
- **Μελέτη** της επίδρασης των νετρονίων στις ιδιότητες των υλικών, συνεισφέροντας στον σχεδιασμό νέων προηγμένων υλικών.
- **Μελέτη** της ενεργοποίησης των υλικών και της διαχείρισης αυτών καθώς και ανάπτυξη τεχνολογίας για την ανίχνευση των νετρονίων και τον προσδιορισμό της ενέργειάς τους στο περιβάλλον της σύντηξης.

Τα παραπάνω συνοδεύονται από σχετικές εργασίες σε έγκριτα διεθνή περιοδικά ενώ η ομάδα συνεργάζεται με ευρωπαϊκά Ερευνητικά Κέντρα και οργανισμούς όπως Culham Center for Fusion Energy (CCFE, Ηνωμένο Βασίλειο), Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA, Ιταλία), SCKCEN (Βέλγιο), CEA (Γαλλία).

Οι σημαντικότερες εργασίες της ομάδας είναι στην περιοχή των υλικών. Εκεί γίνεται προσπάθεια: α) για την κατανόηση της επίδρασης νετρονίων, που παράγονται κατά την αντίδραση της σύντηξης, στη δομή και στις ιδιότητες του βολφραμίου, ενός υλικού το οποίο χρειάζεται να αντέξει στις πιο ακραίες συνθήκες στον αντιδραστήρα σύντηξης και η ομάδα διερευνά για το πώς μπορούν να «θεραπευθούν» τις βλάβες που προκαλούνται από τα νετρόνια στο υλικό αυτό, και β) η μελέτη της δέσμευσης του καυσίμου (του δευτερίου, ισότοπου του υδρογόνου) από τα υλικά που περιβάλλουν το πλάσμα και πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στον πειραματικό αντιδραστήρα σύντηξης ITER. Ένα επίσης σημαντικό πρόβλημα στην τεχνολογία της σύντηξης που έχει οδηγήσει σε σημαντικό αριθμό δημοσιεύσεων είναι και ο πειραματικός προσδιορισμός της ροής των νετρονίων. Η ομάδα Τεχνολογίας Σύντηξης του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος» αποτελείται από οκτώ μόνιμους ερευνητές, τέσσερις μεταδιδακτορικούς ερευνητές, τέσσερις υποψήφιους διδάκτορες και μεγάλο αριθμό μεταπτυχιακών και προπτυχιακών φοιτητών από τρία Ινστιτούτα του ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος». Ετσι συνδυάζεται η τεχνολογία από διάφορες περιοχές όπως επιστήμη και τεχνολογία των υλικών, πυρηνική φυσική και τεχνολογία, ανιχνευτές, μικρο-ηλεκτρονική κ.λπ. Η έρευνα διεξάγεται με τη συνεργασία των ερευνητών όλων αυτών των ειδικοτήτων δεδομένου ότι η παραγωγή ενέργειας μέσω σύντηξης αποτελεί ένα ευρύ πολυθεματικό ερευνητικό αντικείμενο που απαιτεί οριζόντιες συνεργασίες και τεχνολογία σε πολλαπλά επιστημονικά πεδία. Περισσότερες πληροφορίες για τις δραστηριότητες και το επιστημονικό έργο της ομάδας του «Δημοκρίτου» μπορείτε να αναζητήσετε στην ιστοσελίδα <https://ftg.demokritos.gr/>.



τές έχουν εκπαιδευτεί σε τεχνολογίες αιχμής. Που με τη σειρά τους μεταφέρουν αυτή την τεχνογνωσία στα ΑΕΙ ή στις βιομηχανίες όπου εργάζονται. Δυστυχώς όμως μέχρι σήμερα δεν έχει υπάρξει συμμετοχή της ελληνικής βιομηχανίας στην κατασκευή του ITER στη Νότια Γαλλία. Ελπίζουμε ότι στο εγγύς μέλλον με τη βοήθεια της Γενικής Γραμματείας Ερευνας και Καινοτομίας (ΓΤΕΚ), του Συνδέσμου Ελλήνων Βιομηχάνων (ΣΕΒ) αλλά και των Μέσων Επικοινωνίας θα μπορέσει να επιτευχθεί η συμμετοχή ελληνικών βιομηχανιών στις ευρωπαϊκές κοινοπραξίες τόσο για τον ITER όσο και για τους μελλοντικούς αντιδραστήρες σύντηξης». Το ερευνητικό έργο και η χρηματοδότηση είναι κοινή δράση μεταξύ της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) και της

Ελλάδας μέσω της Γενικής Γραμματείας Ερευνας και Καινοτομίας (ΓΤΕΚ). Έχει επιτευχθεί επαρκής χρηματοδότηση από την ΕΕ και η ΓΤΕΚ έχει γενναιοδωρα συμβάλει με την ανάλογη συγχρηματοδότηση. Χρειάζεται όμως η εγγύηση ότι η συμβολή της ΓΤΕΚ θα συνεχιστεί και παράλληλα είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός σύγχρονου και ανεξάρτητου διοικητικού συστήματος ώστε να επεκταθεί και να ενισχυθεί και η συμμετοχή των ΑΕΙ, της ελληνικής βιομηχανίας και νεοφυών εταιρειών.

Η αισιόδοξη ματιά

Παρ' όλες τις κατασκευαστικές δυσκολίες στη Γαλλία του γιγάντιου αυτού έργου, με καθυστερήσεις, αστοχία υλικών, τεχνικά προβλήματα στα μεταλλικά τμήματα που θα περιβάλλουν τον κεντρικό θάλαμο

(τόκαμακ) και ακόμη και προβλήματα ραδιενέργειας από το τρίτο, η κυρία Μεργιά θέλησε να τονίσει περισσότερο τα θετικά σε αυτό το γιγάντιο έργο: «Η πρόοδος που έχει σημειωθεί αφορά όλα τα στάδια κατασκευής και εγκατάστασης τεχνολογικών συστημάτων στον ITER, όπως για παράδειγμα οι υπεραγωγάμοι μαγνήτες. Προβλήματα υπάρχουν και θα υπάρχουν καθώς πρόκειται για ένα έργο πολύ μεγάλης κλίμακας και πολύπλοκότητας, μοναδικό στο είδος του, όπου δοκιμάζονται τελειώς νέες τεχνολογίες. Όσον αφορά το ραδιενεργό τρίτο, πρέπει να σημειωθεί ότι ραδιενεργές ουσίες χρησιμοποιούνται στην Ιατρική και για θεραπευτικούς και για διαγνωστικούς σκοπούς. Το βασικό θέμα είναι οι διαδικασίες διαχείρισης των

ραδιενεργών ουσιών σε όλες τις δραστηριότητες χρήσης τους. Η επιστημονική γνώση όπως παρουσιάζεται σε έγκριτα διεθνή περιοδικά αποδεικνύει ότι η παραγωγή καθαρής ενέργειας από τη σύντηξη είναι εφικτή και σε αυτή τη γνώση προσυπογράφουν οι κυβερνήσεις 35 χωρών οι οποίες χρηματοδοτούν τον ITER. Επίσης υπάρχουν 26 ιδιωτικές εταιρείες με χρηματοδότηση από τις χρηματαγορές οι οποίες εξετάζουν παρόμοιες ή διαφορετικές τεχνολογικές προσεγγίσεις για παραγωγή ενέργειας από τη σύντηξη. Σε κάθε προσπάθεια για βελτίωση της ανθρώπινης ζωής υπάρχουν και προβλήματα και αρνητές του καινούργιου. Και όμως η ανθρωπότητα προχωράει πάντα μπροστά, στον δρόμο που χάραξε ο Γαλιλαίος».

Η ΔΙΑΤΑΞΗ «ΤΟΚΑΜΑΚ» ΚΑΙ ΟΙ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ

Στην καρδιά του όλου έργου θα βρίσκεται μια τεράστια εγκατάσταση σε σχήμα δακτυλιοειδούς θαλάμου (όπως τα ντόνατ, δηλαδή οι αμερικανικοί λουκουμάδες). Αυτή είναι η λεγόμενη διάταξη «τόκαμακ» (από τα αρχικά των λέξεων τοροειδής θάλαμος με μαγνητικά πηνία, αλλά στα ρωσικά). Ισότοπα υδρογόνου που είναι συνήθως μείγμα δευτερίου (πρωτόνιο και νετρόνιο στον πυρήνα) και τρίτιου (πρωτόνιο και δύο νετρόνια) με χαμηλή πίεση εισέρχονται στον υπό κενό θάλαμο. Εκεί με ηλεκτρικό ρεύμα το αέριο θερμαίνεται και δημιουργείται το πλάσμα, δηλαδή γυμνοί πυρήνες και ελεύθερα ηλεκτρόνια, που συγκρούονται ανεβάζοντας τη θερμοκρασία σε 150-300 εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου. Τεράστιοι μαγνήτες που αγκαλιάζουν τον θάλαμο δημιουργούν ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο ικανό να συγκρατεί σε μικρό χώρο αυτή την τόσο θερμή μάζα με αποτέλεσμα οι πυρήνες του υδρογόνου να συντίκονται σε πυρήνες ηλίου. Ταυτόχρονα παράγεται ενέργεια που μεταδίδεται στα απελευθερωμένα νετρόνια και αυτά προσκρούοντας με τεράστιες ταχύτητες στα τοιχώματα παράγουν θερμική ενέργεια. Προς το παρόν στους πειραματικούς αντιδραστήρες αυτή η θερμική ενέργεια δεν χρησιμοποιείται. Η φαινομενικά απλή αυτή διαδικασία είναι στην πραγματικότητα ένα από τα δυσκολότερα αυτή τη στιγμή τεχνικά έργα. Και γι' αυτό αν και έχει ξεκινήσει το «κτίσιμο» του ITER το 2015, σήμερα βρισκόμαστε στο 75%-80% του έργου. Το έργο ξεκίνησε με προϋπολογισμό 5 δισεκατομμυρίων ευρώ και τώρα θεωρείται πιθανό να φθάσει τα 20 δισεκατομμύρια ευρώ.



Η γενική άποψη του εργοταξίου στη Νότια Γαλλία