

Πυρηνική Σύντηξη και εφαρμογή της για την παραγωγή ενέργειας

Αλέξανδρος Ρέκκας, Μηνάς Σπανόπουλος-Καραλεξίδης, Βασίλης Χαβαλές, Υψηλάντης Παπαγεωργίου
2ο Γυμνάσιο Πυλαίας

Εισαγωγή

Η ενέργεια που παράχουν οι αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης αντιπροσωπεύει τη βασική πηγή ισχύος των αστείων. Η πυρηνική σύντηξη εμπλέκει την αλληλεπίδραση της ύλης και της ενέργειας και αναφέρεται τόσο στα μικροσκοπικά υποατομικά σωματίδια όσο και στους τεράστιους Κόκκινους Υπεργίγαντες. Η ανθρωπότητα φοβάται την ύπαρξη της στο εργαστήριο πυρηνικής σύντηξης που λειτουργεί με μόνιμη βάση στον Ήλιο. Οι παρακαταθήκες των ορυκτών καυσίμων, ο αμοιβάδης του πολλαπλού μας, δημιουργούνται καθώς τα φυτά δεσμεύουν και αποθηκεύουν την ηλιακή ενέργεια. Οι παρακαταθήκες αυτές, που δημιουργήθηκαν με την πάροδο εκατομμυρίων ετών, φαίνεται ότι θα εξαντληθούν σε λίγους αιώνες από σήμερα. Οι επιστημονικές επιχειρήσεις να αντικαταστήσουν αυτές τις ενεργειακές παρακαταθήκες με μία άλλη, πρακτικά ανεξάντλητη: την **πυρηνική σύντηξη**.

Σε μια αντίδραση πυρηνικής σύντηξης, δύο ελαφρά άτομα συνδυάζονται ή συγχωνεύονται, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός βαρύτερου ατόμου και την απελευθέρωση ενέργειας. Η πυρηνική σύντηξη είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία όλων των στοιχείων που είναι βαρύτερα από το υδρογόνο στο σύμπαν. Ακόμη, και η αντίδραση πυρηνικής σύντηξης μία μικρή ποσότητα ύλης «κάνεται», καθώς μετατρέπεται σε ενέργεια. Αυτή η ενέργεια προσδοτεί το θερμοπυρηνικό εργαστήριο του Ήλιου και των αστείων, παρέχοντας πρακτικά το σύνολο της ενέργειας που είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της ζωής στη Γη.

Ιονισμός και Δημιουργία πλάσματος

Όταν ένα ηλεκτρόνιο απομακρυνθεί από το άτομο, αυτό που απομένει ονομάζεται ιόν και είναι, προφανώς, θετικά φορτισμένο αφού υπερέχουν σε αυτό τα πρωτόνια. Κατά συνέπεια, τα ιόντα επηρεάζονται από οποιοδήποτε ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο στο οποίο μπορεί να βρεθούν. Προκειμένου να δημιουργηθεί πλάσμα, δηλαδή την τέταρτη κατάσταση της ύλης, πρέπει να ξεκινήσουμε προκαλώντας ιονισμό ενός αερίου. Αυτό επιτυγχάνεται, για παράδειγμα, εάν εξαγκάσουμε το αέριο να βρεθεί σε ισχυρή τάση ηλεκτρικού πεδίου: σ' αυτές τις συνθήκες τα ηλεκτρόνια της εξωτερικότερης τροχιάς των ατόμων του αερίου «ξελακώνουν» από τους πυρήνες. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια επιταχύνονται, υπό την επίδραση πάντοτε του πολύ ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου στο οποίο τα εκθέτουμε, και συγκρούονται με μη ιονισμένα άτομα του αερίου. Η σύγκρουση αυτή είναι τόσο βίαιη, ώστε τα άτομα αυτά ionίζονται επίσης.

Τι είναι πυρηνική σύντηξη (Nuclear Fusion)

Η έρευνα του φαινομένου της πυρηνικής σύντηξης με στόχο την παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιεί εξαιρετικά θερμό πλάσμα. Σκοπός της έρευνας αυτής είναι να προσδώσουμε στα ιόντα του πλάσματος τόσο υψηλή ενέργεια, ώστε η σύγκρουσή τους να τα οδηγήσει στη συγχώνευσή τους, δηλαδή στη ΣΥΝΤΗΞΗ των πυρήνων τους. Όταν οι πυρήνες συνθίκονται, απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Όταν η σύντηξη των πυρήνων ξεκινά, απελευθερώνεται ενέργεια και δημιουργούνται νέα χημικά στοιχεία. Η διαδικασία της πυρηνικής σύντηξης με την οποία, βάζοντας στον αντιδραστήρα μας χημικά στοιχεία μικρότερης μάζας θα οδηγήσει τη λήψη χημικών στοιχείων μεγαλύτερης μάζας (πυρήνωση), με ταυτόχρονη παραγωγή τεράστιων και ικανών να χρησιμοποιηθούν από τον άνθρωπο ποσοτήτων ενέργειας, μπορεί να γίνει κάποτε πραγματικότητα.

Πόση ενέργεια παράγεται κατά την πυρηνική σύντηξη;

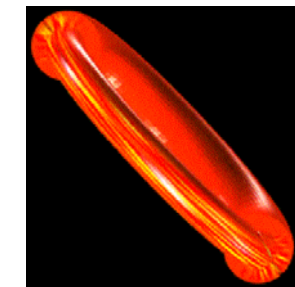
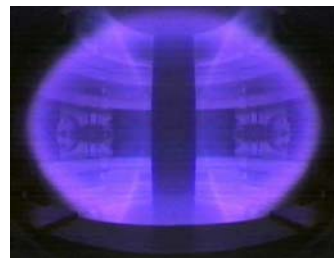
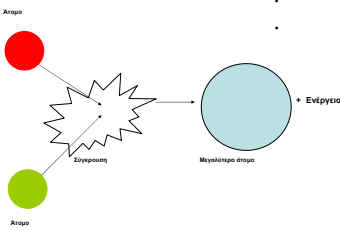
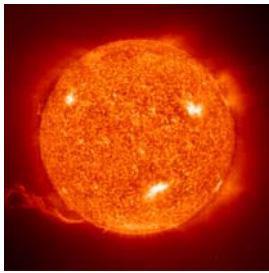
Στην κλασική εξίσωση $E=mc^2$, ο Αλβανός διατύπωσε την ισοδυναμία ενέργειας και ύλης. Η ύλη μπορεί να μετατρέπεται σε ενέργεια, αλλά και η ενέργεια μπορεί να μετατρέπεται σε ύλη. Η ποσότητα της ενέργειας που περιέχεται στην ύλη είναι εντυπωσιακή. Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, εάν όσον η μάζα που μετατρέπεται σε ενέργεια πρέπει να πολλαπλασιαστεί με την ταχύτητα του φωτός ($3 \times 10^8 \text{ m/sec}$), ακόμη και η απίστευτα ελάχιστη μάζας ύλης απελευθερώνει τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Κατά τη διάρκεια μιας αντίδρασης πυρηνικής σύντηξης δύο ατόμων υδρογόνου προς ένα άτομο ηλίου το 0,38% της συνολικής αρχικής μάζας τους «κάνονται», καθώς μετατρέπονται σε ενέργεια. Για παράδειγμα, κατά τη μετατροπή 4gr ατόμων Η σε He, με πυρηνική σύντηξη, 0,152 gr μετατρέπονται σε ενέργεια: $E=mc^2$, άρα $E=0,000152 \text{ kg} \times (3 \times 10^8 \text{ m/sec})^2$, δηλαδή $E=1,368 \times 10^{11}$ Joules, ενέργεια που ισοδυναμεί με αυτή που απελευθερώνει η έκρηξη 100 τόνων ντρογλυκερίνης!

Πώς μπορούμε να προκαλέσουμε πυρηνική σύντηξη στη Γη;

Στις αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης που παρατηρούνται στη φύση το πλάσμα δημιουργείται και πυρακτώνεται από τις τεράστιες θερμοκρασίες που επικρατούν σε ορισμένες περιοχές του σύμπαντος και περιέχεται στο κενό του σύμπαντος, «φυλακισμένο» από την ίδια του τη βαρύτητα. Εδώ στη Γη, δύο μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για να συγκρατηθεί το πλάσμα στην κατάσταση αυτή: ο περιορισμός αδράνειας και ο μαγνητικός περιορισμός. Σύμφωνα με την ιδέα του περιορισμού αδράνειας, η χρήση ενεργειακής ακτινοβολίας όπως τα laser, μπορεί να συμπύκνωση και να θερμάνει ελαχιστού μεγέθους βιολύβου παγωμένου υδρογόνου με τόσο μεγάλη ταχύτητα, ώστε η σύντηξη να συμβεί πριν μπορέσουν να διαφύγουν τα άτομα. Για να πεθεί σε εφαρμογή αυτή η ιδέα, απαιτούνται θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 50.000.000 Κ και πυκνότητες 20 φορές μεγαλύτερες από αυτή του μολύβδου. Μία από τις περισσότερα υποσχόμενες ιδέες για την επίτευξη της πυρηνικής σύντηξης, είναι η ιδέα του μαγνητικού περιορισμού. Πανίσχυρα μαγνητικά πεδία μπορούν να δημιουργήσουν ένα «μαγνητικό μπουκάλι» που να περιορίζει στο εσωτερικό του το πλάσμα, χωρίς να το αφήνει να έλθει σε επαφή με τα τοιχώματα του θαλάμου στο οποίο αυτό περιέχεται και θερμαίνεται στις απαιτούμενες θερμοκρασίες.

ΤΟΚΑΜΑΚ

Ιδιαίτερα πολλά υποσχόμενη συσκευή σε ό,τι αφορά την πρακτική εφαρμογή αυτής της ιδέας είναι το **ΤΟΚΑΜΑΚ**, μια συσκευή Σοβιετικής (ρωσικής) επινόησης. Το τόκαμακ έχει σχήμα κούφιοι ντόνι ή λουκουμά Μέσα στην κούφια αυτή του «λουκουμά» ενάγονται δακτύλιο και Τρίπο, τα οποία ionίζονται με ηλεκτρικές εκκενώσεις. Το πλάσμα που προκύπτει εκκενώνεται σε θερμοκρασίες σύντηξης με τη βοήθεια δεσμίδων νετρονίων ή laser, μικροκυμάτων και επίμονης θέρμανσης. Έξω και γύρω από το «λουκουμά» υπάρχουν πανίσχυροι μαγνήτες, που συγκρατούν το πλάσμα στην κατάσταση αυτή.



Αυτό καθίσταται δυνατό από τα ίδια τα φυσικά χαρακτηριστικά του πλάσματος, καθώς αυτό είναι ηλεκτρικά φορτισμένο και άγει τον ηλεκτρισμό. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από αυτούς τους μαγνητικές συγκρατεί το πλάσμα στον αλά του τόκαμακ, και δεν του επιτρέπει να αγγίξει το εσωτερικό των τοιχωμάτων του – και τέτοιο θα είχε μοιραίες συνέπειες, γιατί από οποιοδήποτε υλικό και αν κατασκευαστεί το τόκαμακ, αυτό δεν θα μπορούσε να αντέξει την επαφή με το υπερθερμό πλάσμα.

Η σύγκρουση των πυρήνων του δευτερίου και του τριπίου, ύστερα από κάποια θερμοκρασία γίνεται με τόση δύναμη, ώστε οι πυρήνες συγχωνεύονται και προκύπτει το στοιχείο ηλίου, ενώ απελευθερώνονται ένα νετρόνιο και ενέργεια.

Αξίζει τον κόπο να ασχοληθεί κανείς με αυτήν την ιδέα;

Αν εξερίσει κανείς τις περιστασιακές διακυμάνσεις στις πηγές του πετρελίου, του φυσικού αερίου και του ηλεκτρικού ρεύματος, η κοινή γνώμη δεν αντιλαμβάνει σήμερα ιδιαίτερα για την ενεργειακή κρίση. Παρ' όλα αυτά, στις αρχές του επόμενου αιώνα και εφόσον οι ρυθμικοί καταναλωτές ενέργειας πτόνουν παραμένει σταθερή, οι παρακαταθήκες πετρελίου στη Γη θα πληρώσουν στο μηδέν. Οι πηγές φυσικού αερίου πιθανώς θα επαρκούν για έναν ακόμη αιώνα. Οι τεράστιες παρακαταθήκες κάρβουνου, που διαθέτουμε, θα επαρκούν για αρκετούς ακόμη αιώνες, αλλά η καύση κάρβουνου για να καλυφθούν όλες τις ενεργειακές μας ανάγκες θα επιβραδύνει πολύ σημαντικά το περιβάλλον. Μόνο σε ό,τι αφορά τις ΗΠΑ (οι οποίες, πάντως, καταναλώνουν προεκτικά ποσά ενέργειας σε σύγκριση με τον υπόλοιπο κόσμο), από το 1990 μέχρι σήμερα απελευθερώνονται κατά έτος περισσότερα από 1,3 δισεκατομμύρια μετρικοί τόνοι διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, ως αποτέλεσμα της καύσης κάρβουνου και άλλων ορυκτών καυσίμων.

Πλεονεκτήματα της πυρηνικής σύντηξης ως μεθόδου παραγωγής χρήσιμης για τον άνθρωπο ενέργειας

Παρά την ύπαρξη μεγάλων τεχνικών εμποδίων στο δρόμο για τη χρήση της πυρηνικής σύντηξης για την παραγωγή χρήσιμης στον άνθρωπο ενέργειας, η ιδέα εξακολουθεί να παραμένει εξαιρετικά γοητευτική, καθώς εν αυτή περιλαμβάνει τα «καύσιμα» που απαιτεί υπάρχουν σε αφθονία στη φύση και είναι εύκολα προσπελάσιμα τα «καύσιμα» αυτά διαθέτουν εξαιρετικά υψηλή «ενεργειακή πυκνότητα» η ασφαλεία της μεθόδου είναι υψηλή. Τα «καύσιμα» της πυρηνικής σύντηξης, το δευτερίο και το τρίπιο, είναι ουσιαστικά ανεξάντλητα. Το δευτερίο μπορεί να απομονωθεί εύκολα από το θαλασσινό νερό, στο οποίο τα άτομα δευτερίου αποτελούν το 1/6500 των ατόμων υδρογόνου. Το τρίπιο μπορεί να παραχθεί εύκολα σαν υποπροϊόν της αντίδρασης της πυρηνικής σύντηξης, με τη χρήση ενός ενεργοποιημένου νετρονίου και ενός ελαφρού μετάλλου που βρίσκεται σε αφθονία στη φύση, του λίθιου.

Τα «απόβλητα» ενός αντιδραστήρα σύντηξης είναι το αέριο ηλίου, το στατιστικό που χρησιμοποιείται στα ελαφρά παθικά μπαταρίες. Αντίστοιχα, η διάθεση (απομάκρυνση) των αποβλήτων των αντιδραστήρων οχάσης είναι εξαιρετικά δύσκολη και καταστροφική για το περιβάλλον, διότι αυτά έχουν υψηλή ραδιενέργεια και πάρα πολύ μεγάλη περίοδο ημιζωής (δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται ώστε τα απόβλητα αυτά να χάσουν τη μισή από τη ραδιενέργειά που διαθέτουν είναι πάρα πολύ μακριά – εκατοντάδες ή χιλιάδες χρόνια!). Στον αντιδραστήρα σύντηξης, ραδιενέργεια παράγεται μόνον κατά τη διαδικασία του τεραστιαίου της σύντηξης και είναι ελάχιστη. Το μόνο ραδιενεργό υλικό που εμφανίζεται στους αντιδραστήρες σύντηξης αποκτώντας μηδαμινή, σε σχέση με εκείνη των αποβλήτων των αντιδραστήρων οχάσης, ραδιενέργεια, είναι το τοξικό του αντιδραστήρα. Η χρήση ειδικών υλικών για την κατασκευή των τοιχωμάτων των αντιδραστήρων σύντηξης στο μέλλον, πιστεύεται ότι θα περιορίσει ακόμη περισσότερο τη ραδιενέργεια που αναπτύσσεται εκεί.

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)

Τα τελευταία χρόνια, οι διάφορες εθνικές ερευνητικές ομάδες για τη σύντηξη συνεργάζονται, και η πρόκληση της σύντηξης μετατρέπεται γρήγορα σε ένα διεθνές ερευνητικό πρόγραμμα. Ο προγραμματικός στόχος του ITER είναι «η απόδειξη ότι η χρήση της ενέργειας που προκύπτει από πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης είναι εφικτή από επιστημονική και τεχνολογική άποψη». Από την έναρξη ερευνητικής της συμφωνίας για το ITER, το 1988, έως το 1998, οι ΗΠΑ συμμετείχαν ενεργά στο πρόγραμμα. Το 1999 οι ΗΠΑ αποχώρησαν, με απόφαση του Κογκρέσου, αφού ολοκληρώθηκαν οι αρχικοί στόχοι του προγράμματος. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, η Ιαπωνία και η Ρωσία συνεχίζουν τη συνεργασία με βάση συμπληρωματικούς στόχους του προγράμματος. Μάλιστα, οι χώρες αυτές προχώρησαν σε επίσημες διαπραγματεύσεις με τον Καναδά, την Κίνα και τις ΗΠΑ με σκοπό την κατασκευή ενός αντιδραστήρα του ITER με χαμηλό κόστος και υψηλή απόδοση.

Υστερα από πολλήμη διαμάχη με την Ιαπωνία, η Γαλλία κέρδισε την ανάθεση κατασκευής του θερμοπυρηνικού αντιδραστήρα σύντηξης ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) αξίας 10 δισ. ευρώ, στο Cadarache, της Γαλλίας κοντά στη Μασσαλία, όπου η γαλλική επιτροπή ατομικής ενέργειας (CEA) έχει ήδη ένα εργαστήριο. Το ITER προβλέπεται να έχει ολοκληρωθεί σε είκοσι περίπου χρόνια.

Βιβλιογραφία

Fusion: Nature's fundamental energy source (1998). General Atomics Fusion Educational Outreach Team. <http://www.physics4u.gr>, <http://www.pppf.org>, <http://www.iter.org>, <http://www.fusion.org.uk>, <http://fusion.gat.com>, <http://www.fusion.kth.se>

