

## ο μια μικρή ιστορία

### Ιστορική ενεργειακή συμφωνία

"31 χώρες είπαν «ναι» στην κατασκευή Διεθνούς Πειραματικού Θερμοπυρηνικού Αντιδραστήρα στη Γαλλία (International Thermonuclear Experimental Reactor)"  
 Με τίτλους σαν αυτόν το Νοέμβριο του 2006 όλα τα ειδησεογραφικά πρακτορεία μετέδιδαν την είδηση ότι στο μέγαρο των Ηλυσίων πεδίων στο Παρίσι αξιωματούχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης, της Ρωσίας, της Ιαπωνίας, της Ινδίας, της Κίνας, της Κορέας και των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής υπέγραψαν συμφωνία, η οποία ενδέχεται να αποδειχθεί ιστορική για το ενεργειακό μέλλον του πλανήτη.

Η συμφωνία που υπεγράφη έπειτα από πολυετείς καθυστερήσεις και έντονες αντιπαραθέσεις, επιτρέπει την έναρξη ουσιαστικών ερευνών στον τομέα της πυρηνικής σύντηξης.

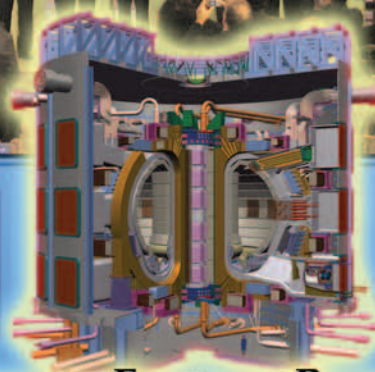
Ο ITER (η Λατινική λέξη σημαίνει δρόμος), σαν ένας σύγχρονος αλχημιστής φιλοδοξεί να μετατρέψει το θαλασσινό νερό σε καύσιμη ύλη, αναπαράγοντας στο εσωτερικό του τις πυρηνικές αντιδράσεις, που κάνουν τον Ήλιο να λάμπει.

Η επιτυχής λειτουργία του αντιδραστήρα ITER θα αποτελέσει ένα από τα σημαντικότερα ορόσημα του τεχνολογικού μας πολιτισμού. Θα σημάνει την οριστική απεξάρτηση των ανθρώπων από τις σημαντικότερες ως σήμερα πηγές ενέργειας, τον άνθρακα και το πετρέλαιο.

Τι είναι η πυρηνική σύντηξη; Πώς προκαλείται;

Γιατί παράγονται τόσο μεγάλα ποσά ενέργειας στις πυρηνικές συντήξεις;

Από πού προέρχεται η ενέργεια του Ήλιου;



**International Thermonuclear Experimental Reactor**

Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα μάθεις για την προέλευση της πυρηνικής ενέργειας.
- Θα γνωρίσεις τα είδη των πυρηνικών αντιδράσεων: σχάση και σύντηξη.
- Θα γνωρίσεις τις ειρηνικές και μη εφαρμογές της πυρηνικής ενέργειας.

# ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

## ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΕΛΙΞΙΡΙΟ ΣΩΤΗΡΙΑΣ Ή ΟΛΕΘΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΟΤΗΤΑ;

Η μεγαλύτερη ομορφιά της Φυσικής, ίσως αποκαλύπτεται στις εκπλήξεις που επιφυλάσσει η επιστημονική πρόοδος. Στα μέσα της δεκαετίας του 1930 ο Ράδερφορντ, ο άνθρωπος που ανακάλυψε τον ατομικό πυρήνα και ο Αϊνστάιν, που προέβλεψε την απελευθέρωση της πυρηνικής ενέργειας, θεωρούσαν ανέφικτη οποιαδήποτε προσπάθεια τεχνητής αξιοποίησης της πυρηνικής ενέργειας.

Περίπου 10 χρόνια αργότερα το 1945, η κατασκευή πυρηνικής βόμβας τους διέψευσε με δραματικό τρόπο. Σήμερα, 60 χρόνια μετά, μεγάλο μέρος της ελπίδας για την αντιμετώπιση ενεργειακών και οικολογικών προβλημάτων σε πλανητική κλίμακα βασίζεται και στην τιθάσευση της πυρηνικής ενέργειας.

### 11.1

#### Ενέργεια και πυρηνικές αντιδράσεις

##### Ενέργεια σύνδεσης του πυρήνα

Γνωρίσαμε ότι μεταξύ των πρωτονίων και των νετρονίων στον πυρήνα ασκούνται ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις. Τα νουκλεόνια στον πυρήνα έχουν δυναμική ενέργεια. Την ενέργεια αυτή την ονομάζουμε **πυρηνική** ενέργεια. Έχει αποδειχτεί πειραματικά ότι ο πυρήνας έχει μικρότερη μάζα από τη συνολική μάζα των νουκλεονίων από τα οποία σχηματίζεται (εικόνα 11.1). Αυτή η διαφορά μαζών ονομάζεται **έλλειμμα μάζας**.

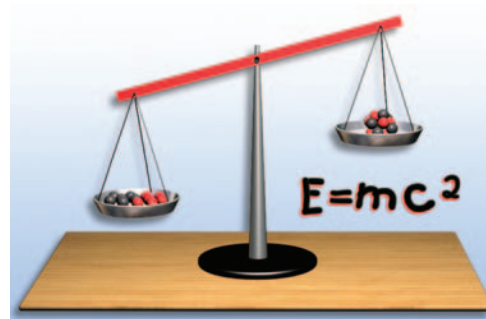
*Πώς εξηγούμε το έλλειμμα μάζας στους πυρήνες;*

Ο Αϊνστάιν στο πλαίσιο της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας απέδειξε ότι η μάζα ( $m$ ) και η ενέργεια ( $E$ ) συνδέονται με την εξίσωση:  $E=mc^2$ , όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός στο κενό. Δηλαδή η δυναμική ενέργεια των νουκλεονίων στους πυρήνες αντιστοιχεί σε ορισμένη ποσότητα μάζας, ίση ακριβώς με το έλλειμμα μάζας.

##### Ενέργεια και πυρηνικές αντιδράσεις

Κατά την αυθόρμητη ραδιενεργό διάσπαση ή την τεχνητή παραγωγή ενός πυρήνα με βομβαρδισμό ενός άλλου πυρήνα συμβαίνει μια αναδιάταξη των συστατικών των πυρήνων, δηλαδή μια **πυρηνική αντίδραση**. Αντίστοιχα σε μια χημική αντίδραση συμβαίνει αναδιάταξη των ατόμων των στοιχείων, ή ακριβέστερα των ηλεκτρονίων των ατόμων. Υπάρχει όμως μια πολύ σημαντική ποσο-

Από την εκμετάλλευση της σχέσης 1kg ουρανίου 235 παράγεται ηλεκτρική ενέργεια ίση με  $4,2 \cdot 10^{13}$  kJ, όση παράγεται από την καύση πετρίνου 3.300 τόννων άνθρακα. Για να πάρουμε 1 kg ουράνιο 235 πρέπει να επεξεργαστούμε περίπου 100 τόννους μεταλλεύματος ουρανίου.



Εικόνα 11.1

Ο πυρήνας έχει μικρότερη μάζα από τη συνολική μάζα των νουκλεονίων από τα οποία σχηματίζεται.



**Εικόνα 11.2**  
**Ενρίκο Φέρμι (Fermi)**

Ιταλός φυσικός, επικεφαλής της ομάδας επιστημόνων που πέτυχε για πρώτη φορά την ελεγχόμενη αλυσιδωτή πυρηνική αντίδραση στο Σικάγο το 1942. Χρησιμοποίησε γραφίτη ως επιβραδυντή.

**Εικόνα 11.3 ▶**  
**Η σχάση του ουρανίου 235**

Σύμφωνα με ένα απλό πρότυπο ο πυρήνας συμπεριφέρεται σαν μια φορτισμένη σταγόνα υγρού. Η απορρόφηση ενός νετρονίου προκαλεί μια επιμήκυνση του πυρήνα. Όταν η επιμήκυνση γίνει αρκετά μεγάλη οι απωστικές ηλεκτρικές δυνάμεις υπερβαίνουν τις ελκτικές πυρηνικές, οπότε ο πυρήνας σχίζεται στα δύο.



**Εικόνα 11.4**

Ο Ότο Χαν (Otto Hahn) και η Λίζε Μάιτνερ (Lise Meitner) στο εργαστήριό τους στο Βερολίνο.



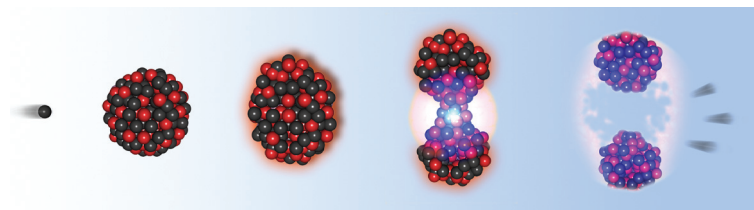
**Εικόνα 11.5**

Η βόμβα ουρανίου που εξερράγη στη Χιροσίμα.

τική διαφορά. Η ενέργεια σύνδεσης των νουκλεονίων στον πυρήνα, λόγω του ελλείμματος μάζας και της μεγάλης τιμής της ταχύτητας του φωτός, είναι περίπου ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια σύνδεσης των ηλεκτρονίων στο άτομο. Συνεπώς η δυναμική ενέργεια που μετατρέπεται σε κινητική των σωματιδίων σε μια πυρηνική αντίδραση είναι ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη σε μια χημική αντίδραση. Οι δύο κύριες πυρηνικές αντιδράσεις με τις οποίες εκλύεται αυτή η τεράστια ποσότητα ενέργειας είναι η πυρηνική **σχάση** και η πυρηνική **σύντηξη**.

## 11.2 Πυρηνική σχάση

Η δυνατότητα μετατροπής της πυρηνικής ενέργειας σε ενέργεια άλλης μορφής διερευνήθηκε κατά τη δεκαετία του 1930. Το 1939 δύο Γερμανοί χημικοί ο Χαν (Hahn) και ο Στράσμμαν (Strassman) έκαναν μια τυχαία ανακάλυψη που επρόκειτο ν' αλλάξει το μέλλον του κόσμου.

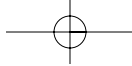


Συνεχίζοντας προγενέστερες ερευνητικές προσπάθειες του Ιταλού Φέρμι (Fermi) (εικόνα 11.3) βομβάρδισαν ουράνιο με νετρόνια. Αναλύοντας τα χημικά προϊόντα της αντίδρασης με έκπληξη διαπίστωσαν ότι παραγόταν βάριο. Οι δύο χημικοί δεν μπορούσαν να καταλάβουν πώς το βάριο με ατομικό αριθμό 56 ήταν δυνατόν να παράγεται από το ουράνιο που έχει ατομικό αριθμό 92.

Μια εβδομάδα αργότερα η Λίζε Μάιτνερ (Meitner) (εικόνα 11.4) και ο Φρις (Frisch) έδωσαν τη σωστή εξήγηση: οι πυρήνες του ουρανίου είχαν διασπαστεί σε δύο μικρότερους πυρήνες σχεδόν ίσης μάζας. Η Μάιτνερ ονόμασε αυτή τη διαδικασία **σχάση**.

Γενικότερα **πυρηνική σχάση ονομάζεται η διάσπαση ενός ασταθούς πυρήνα σε δύο μικρότερους πυρήνες με σχεδόν ίσες μάζες**. Συνήθως συνοδεύεται από ταυτόχρονη εκπομπή νετρονίων και απελευθέρωση τεράστιας ποσότητας ενέργειας. Ένας πυρήνας του ισότοπου του ουρανίου  $^{235}_{92}\text{U}$  παθαίνει σχάση όταν βομβαρδίζεται με νετρόνια και διασπάται συνήθως σ' ένα πυρήνα βαρίου  $^{141}_{56}\text{Ba}$  και σ' ένα πυρήνα κρυπτού  $^{92}_{36}\text{Kr}$ , ενώ συγχρόνως εκπέμπονται τρία νετρόνια (εικόνα 11.3). Καθένα από αυτά μπορεί να προκαλέσει νέα σχάση οπότε τελικά είναι δυνατόν να προκύψει μια **αλυσιδωτή αντίδραση**. Η αλυσιδωτή αντίδραση μπορεί να είναι αργή και ελεγχόμενη, π.χ. σ' ένα **πυρηνικό αντιδραστήρα** ενός ενεργειακού σταθμού πυρηνικής σχάσης, ή να αποκτήσει εκρηκτικό χαρακτήρα, όπως στην ατομική πυρηνική βόμβα (εικόνα 11.5).

Για να συντηρηθεί μια αλυσιδωτή αντίδραση, θα πρέπει η μάζα του σχάσιμου υλικού, για παράδειγμα του U-235, να υπερβαίνει μια ελάχιστη τιμή που λέγεται **κρίσιμη μάζα**.



Γιατί δεν εκδηλώνονται αλυσιδωτές αντιδράσεις στα κοιτάσματα ουρανίου που υπάρχουν στη φύση;

Στο φυσικό ουράνιο το ισότοπο U-235 υπάρχει σε αναλογία μόλις 0,7%. Το ισότοπο U-238 που βρίσκεται σε μεγαλύτερη αναλογία μπορεί να απορροφήσει νετρόνια χωρίς να υποστεί σχάση. Γι' αυτό και δεν πραγματοποιείται αλυσιδωτή αντίδραση στο ουράνιο που υπάρχει στη φύση.

### Σχάση και ενέργεια

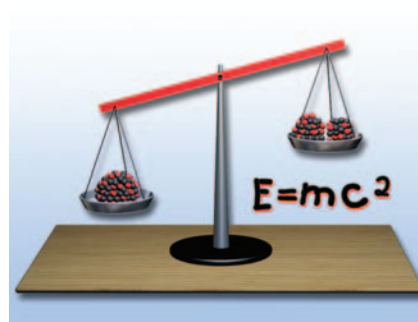
Στη σχάση του ουρανίου η μάζα των προϊόντων είναι μικρότερη από τη μάζα των αντιδρώντων (εικόνα 11.6). Το έλλειμμα μάζας είναι ισοδύναμο με την ενέργεια που εκλύεται, σύμφωνα με την εξίσωση του Αϊνστάιν. Η ενέργεια που απελευθερώνεται σε μια αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης είναι τεράστια, πολύ μεγαλύτερη από την ενέργεια οποιασδήποτε χημικής αντίδρασης, για παράδειγμα της καύσης.

### Πυρηνικοί αντιδραστήρες

Ο πυρηνικός αντιδραστήρας είναι ένα σύστημα στο οποίο πραγματοποιείται μια ελεγχόμενη αλυσιδωτή αντίδραση σχάσης που οδηγεί σε απελευθέρωση ενέργειας. Το πρωταρχικό πρόβλημα που παρουσιάστηκε στην προσπάθεια κατασκευής ενός πυρηνικού αντιδραστήρα ήταν η συντήρηση της αλυσιδωτής αντίδρασης. Τα περισσότερα από τα νετρόνια που παράγονται από τη σχάση των πυρήνων του ουρανίου 235 ( $^{235}_{92}\text{U}$ ) κινούνται γρήγορα. Αυτά τα γρήγορα νετρόνια δεν απορροφώνται από τους πυρήνες του ουρανίου 235. Για να απορροφηθούν και να προκαλέσουν νέες διασπάσεις, πρέπει να επιβραδυνθούν. Η επιβράδυνση επιτυγχάνεται όταν τα νετρόνια συγκρουστούν με τους πυρήνες του υλικού που περιβάλλει το ουράνιο, το οποίο ονομάζεται **επιβραδυντής**. Ως επιβραδυντές μπορούν να χρησιμοποιηθούν γραφίτης ή το συνηθισμένο νερό. Για να συντηρηθεί η αλυσιδωτή αντίδραση, η αναλογία του ουρανίου 235 στο δείγμα πρέπει να αυξηθεί. Αυτή η διαδικασία αύξησης του αριθμού των σχάσιμων πυρήνων ονομάζεται **εμπλουτισμός**. Με τον εμπλουτισμό η αναλογία του U-235 αυξάνεται από 0,7% σε 3%. Σε ένα καθιερωμένου τύπου πυρηνικό αντιδραστήρα περίπου 200 τόνοι ουρανίου τοποθετούνται μέσα σε εκατοντάδες μεταλλικές ράβδους (εικόνα 11.7). Η περιοχή στην οποία τοποθετείται το σχάσιμο υλικό ονομάζεται **καρδιά του πυρηνικού αντιδραστήρα**. Οι ράβδοι με το σχάσιμο υλικό περιβάλλονται από νερό το οποίο δρα ως επιβραδυντής, ενώ ταυτόχρονα μεταφέρει θερμική ενέργεια από την καρδιά του αντιδραστήρα προς το περιβάλλον (εικόνα 11.8).

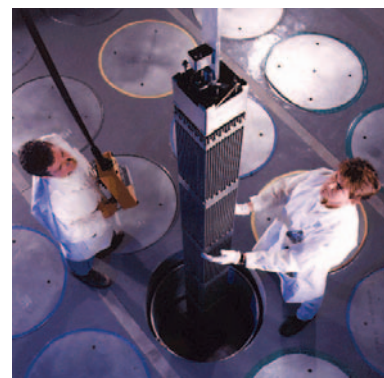
### Πυρηνικός αντιδραστήρας και μετατροπές ενέργειας

Σ' ένα σταθμό πυρηνικής ενέργειας, η θερμική ενέργεια που εκλύεται από τη σχάση προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του νερού που περιβάλλει το ουράνιο. Αυτό το νερό δεν βράζει επειδή βρίσκεται κάτω από υψηλή πίεση, η οποία αυξάνει τη θερμοκρασία βρασμού. Όπως δείχνεται στην εικόνα 11.9 αυτό το νερό μεταφέρεται από μια αντλία σε μια δεξαμενή θερμότητας όπου προκαλεί βρασμό άλλου μη ραδιενεργού νερού. Ο ατμός που παράγεται στρέφει τους στροβίλους που συνδέονται με γεννήτριες οι οποίες παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.



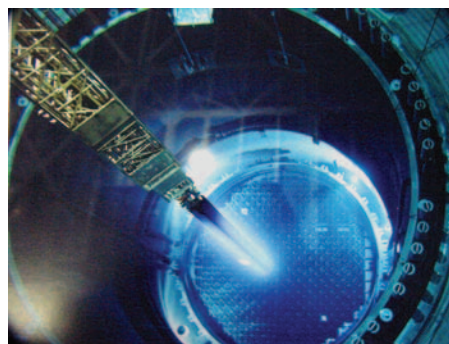
Εικόνα 11.6

Ο πυρήνας του ουρανίου έχει μεγαλύτερη μάζα από τη συνολική μάζα των πυρήνων του βαρίου, του κρυπτού και των επιπλέον νετρονίων που παράγονται.



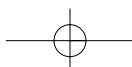
Εικόνα 11.7

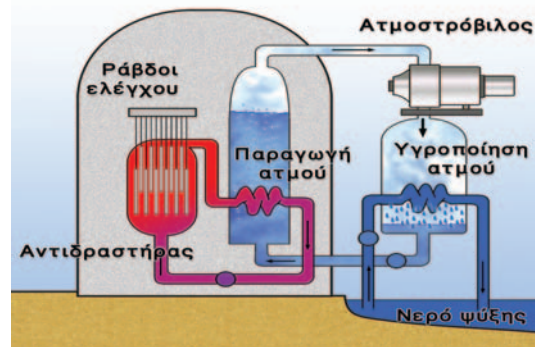
Ράβδοι πυρηνικού καυσίμου τη στιγμή που τις κατεβάζουν στην καρδιά του αντιδραστήρα.



Εικόνα 11.8

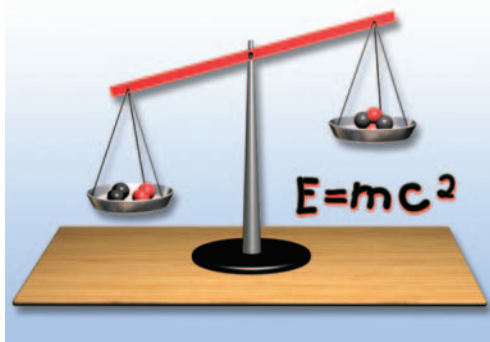
Το νερό περιβάλλει την καρδιά του πυρηνικού αντιδραστήρα και δρα ως επιβραδυντής.





Εικόνα 11.9

Σχηματική αναπαράσταση πυρηνικού αντιδραστήρα.



Εικόνα 11.10

Η μάζα του πυρήνα του ηλίου είναι μικρότερη από τη μάζα των δύο πρωτονίων και των δύο νετρονίων.



Εικόνα 11.11

**Ατομική βόμβα σύντηξης** - Ένας μικρός βραχύβιος ήλιος  
Η δοκιμή της πρώτης βόμβας υδρογόνου στα νησιά Μπικίνι το 1954. Στο κέντρο της έκρηξης μιας τέτοιας βόμβας δημιουργούνται θερμοκρασίες συγκρίσιμες με αυτές που είχε το σύμπαν ένα δευτερόλεπτο μετά τη Μεγάλη Έκρηξη.

### 11.3 Πυρηνική σύντηξη

Η **πυρηνική σύντηξη** είναι μια αντίδραση αντίστροφη της σχάσης. Στη σύντηξη ελαφροί πυρήνες συνενώνονται ώστε να σχηματιστεί ένας βαρύτερος πυρήνας. Συγχρόνως απελευθερώνεται τεράστια ποσότητα ενέργειας. Τυπικό παράδειγμα σύντηξης αποτελεί η διαδικασία που συντελείται στο εσωτερικό του Ήλιου. Τέσσερις πυρήνες υδρογόνου (πρωτόνια), με μια διαδικασία που πραγματοποιείται σε διαδοχικά στάδια, σχηματίζουν έναν πυρήνα ηλίου. Αρχικά δύο πρωτόνια μετατρέπονται σε νετρόνια, τα οποία στη συνέχεια ενώνονται με άλλα δύο πρωτόνια, οπότε σχηματίζεται ο πυρήνας ηλίου  ${}^4\text{He}$ . Η μάζα του πυρήνα του ηλίου είναι μικρότερη από τη μάζα των τεσσάρων πρωτονίων (εικόνα 11.10). Τη διαφορά αυτή της μάζας, όπως είδαμε και προηγουμένως, την ονομάζουμε έλλειμμα μάζας. Η ενέργεια που αντιστοιχεί στο έλλειμμα μάζας μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των προϊόντων της σύντηξης. Η σύντηξη είναι η πηγή της ενέργειας που ακτινοβολείται από τον Ήλιο και τα άστρα. Αν μειωθούν τα αποθέματα του υδρογόνου των πρωτονίων, η σύντηξη που περιγράψαμε θα διακοπεί και ο Ήλιος τελικά θα σβήσει. Ευτυχώς για μας αυτό προβλέπεται να συμβεί σε περίπου 5 δισεκατομμύρια χρόνια.

Για να συμβεί σύντηξη δύο πυρήνων, πρέπει οι πυρήνες να πλησιάσουν αρκετά κοντά ώστε να υπερνικηθεί η απωστική ηλεκτρική δύναμη από την ελκτική πυρηνική. Για να πλησιάσουν τόσο κοντά οι πυρήνες, θα πρέπει να κινούνται με πολύ μεγάλες ταχύτητες, δηλαδή να έχουν μεγάλες κινητικές ενέργειες. Άρα η σύντηξη απαιτεί την ύπαρξη πολύ μεγάλων θερμοκρασιών, της τάξης των δεκάδων εκατομμυρίων βαθμών σαν αυτές που επικρατούν στο κέντρο του Ήλιου. Γι' αυτό οι αντιδράσεις σύντηξης ονομάζονται και **θερμοπυρηνικές**.

Άλλο ένα παράδειγμα αξιοποίησης ενός επιστημονικού επιτεύγματος για πολεμικούς και όχι για ειρηνικούς σκοπούς είναι η κατασκευή της βόμβας υδρογόνου που βασίζεται στις αντιδράσεις σύντηξης (εικόνα 11.11).

Υπάρχει όμως και η θετική προοπτική της σύντηξης. Η σύντηξη θεωρείται από πολλούς η πιο ελπιδοφόρα διαδικασία για τη

μελλοντική αντιμετώπιση των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι πέρα από την αθροινία πυρηνικού καυσίμου, δηλαδή του υδρογόνου του νερού των ωκεανών, η ελεγχόμενη πυρηνική σύντηξη παρουσιάζει και άλλα πλεονεκτήματα σε σχέση με τη σχάση:

- Δεν υπάρχουν ραδιενεργά κατάλοιπα, αφού το ήλιο που παράγεται δεν είναι ραδιενεργό.
- Δεν υπάρχει κίνδυνος πυρηνικού ατυχήματος, αφού στους αντιδραστήρες σύντηξης δεν απαιτείται κρίσιμη μάζα.
- Θα αποφευχθεί η ρύπανση της ατμόσφαιρας, εφόσον δεν γίνεται καύση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.1

Χώρα	ποσοστό (%) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικούς σταθμούς σχάσης
Ρωσία	15
ΗΠΑ	20
Μ. Βρετανία	20
Βουλγαρία	30
Γερμανία	30
Ελβετία	45
Γαλλία	80
Σουηδία	50

## Ερωτήσεις

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

### ► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

1. Να επιλέξεις το γράμμα που αντιστοιχεί στην επιστημονικά ορθή πρόταση:  
Η ηλιακή ενέργεια προέρχεται από: α) πυρηνική σύντηξη, β) πυρηνική σχάση, γ) διάσπαση β, δ) διάσπαση α, ε) τίποτε από τα παραπάνω.
2. Να χαρακτηρίσεις καθεμία από τις παρακάτω προτάσεις ως σωστή ή λανθασμένη:
  - α. Σ' έναν πυρήνα οι ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις τείνουν να απομακρύνουν τα νουκλεόνια, ενώ οι ισχυρές τείνουν να τα συγκρατήσουν μαζί.
  - β. Στη φύση δεν υπάρχουν ραδιενεργά στοιχεία.
  - γ. Η βιολογική δράση των ραδιενεργών ακτινοβολιών εξαρτάται από την ενέργεια και τη φύση της ακτινοβολίας.
  - δ. Ένας πυρήνας έχει πάντοτε μεγαλύτερη μάζα από το άθροισμα των μαζών των νουκλεονίων από τα οποία αποτελείται.
  - ε. Η ηλιακή ενέργεια προκύπτει από πυρηνική σχάση.

### ► Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν:

4. Τι ονομάζεται πυρηνική σχάση και τι πυρηνική σύντηξη; Να αναφέρεις από ένα παράδειγμα.
5. Τι ονομάζεται έλλειμμα μάζας σε μια πυρηνική αντίδραση;
6. Ποιες μετατροπές ενέργειας συμβαίνουν στην πυρηνική σχάση και ποιές στην πυρηνική σύντηξη;

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- ❑ Η ενέργεια σύνδεσης του πυρήνα είναι η δυναμική ενέργεια εξαιτίας της ισχυρής δύναμης. Η ενέργεια σύνδεσης είναι ισοδύναμη με το έλλειμμα μάζας του πυρήνα. Κατά την πυρηνική σχάση ένας βαρύς πυρήνας χωρίζεται σε δύο ελαφρύτερους πυρήνες. Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη σχάση μετατρέπεται τελικά στους πυρηνικούς αντιδραστήρες σε ηλεκτρική ενέργεια.
- ❑ Κατά την πυρηνική σύντηξη δύο ελαφροί πυρήνες συνενώνονται για να σχηματίσουν ένα βαρύτερο. Η ενέργεια του Ήλιου και των άστρων παράγεται με πυρηνική σύντηξη. Η ελεγχόμενη πυρηνική σύντηξη μπορεί να προσφέρει με ασφάλεια τεράστιες ποσότητες ενέργειας χωρίς ρύπανση του περιβάλλοντος.

### ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Ενέργεια σύνδεσης  
Έλλειμμα μάζας

Πυρηνική σχάση  
Πυρηνική σύντηξη

Με απόφαση της Ελληνικής Κυβέρνησης τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου και του Λυκείου τυπώνονται από τον Οργανισμό Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν βιβλιόσημο προς απόδειξη της γνησιότητά τους. Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δε φέρει βιβλιόσημο θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης δώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του Νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946, 108, Α').



*Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.*