

ΕΝΟΤΗΤΑ 4

Πυρήνας και Πυρηνικά Φαινόμενα

A. Ιστορική Προσέγγιση

Η αναζήτηση λύσεων στα θεμελιώδη προβλήματα της φυσικής Επιστήμης που συνδέονται με την μικροσκοπική δομή της ύλης και την σχέση της με τις βασικές δυνάμεις (ηλεκτρομαγνητικές, πυρηνικές και βαρυτικές), έχει βασισθεί, τα τελευταία 100 χρόνια, σε μια σειρά σημαντικών ανακαλύψεων που έγιναν στο τέλος του 19ου και στο πρώτο ήμισυ του 20ου αιώνα. Η σημερινή πλούσια γνώση που έχουμε για την δομή και τη λειτουργία του μικρόκοσμου (Ατομική, Πυρηνική, Σωματιδιακή Φυσική) καθώς και την σχέση του με τη θερμική ιστορία του σύμπαντος (Κοσμολογία) οφείλεται κυρίως στους ακόλουθους μεγάλους σταθμούς της επιστημονικής έρευνας, με χρονολογική σειρά:

- 1895: Ανακάλυψη ακτίνων X από τον Rontgen
- 1896: Ανακάλυψη της ραδιενέργειας του Ουρανίου από τον Bekerel
- 1897: Ανακάλυψη του ηλεκτρονίου από τον J.J. Thomson
- 1900: Διατύπωση του νόμου τη ακτινοβολίας του μέλανος σώματος από τον Plank
- 1905: Διατύπωση της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας από τον Einstein.
- 1911: Ανακάλυψη του ατομικού πυρήνα από τον Rutherford
- 1913: Διατύπωση της θεωρίας του Bohr για το άτομο του υδρογόνου.
- 1915: Διατύπωση της γενικής θεωρίας της σχετικότητας από τον Einstein.
- 1920: Ανακάλυψη της διαστολής του σύμπαντος από τον Hubble
- 1923-1930: Διατύπωση κι ανάπτυξη της κβαντικής Μηχανικής κυρίως από τους επιστήμονες: De Broglie, Schrodinger, Heisenberg και Dirac.
- 1935: Διατύπωση της θεωρίας Yukawa για τον φορέα των ισχυρών πυρηνικών δυνάμεων (meson theory).
- 1946: Ανακάλυψη του π-μεσονίου από τον Powell και τους συνεργάτες του.

Παρόλο που το πορτραίτο της σημερινής επιστήμης, στις αρχές του 21ου αιώνα, χαρακτηρίζεται από ένα μεγάλο πλούτο νέων ιδεών και μια αξιοθαύμαστη τεχνολογία, οι πρώτες αρχές στις οποίες βασίζεται όλη αυτή η πρόοδος ενυπάρχουν στις παραπάνω μεγάλες, επιστημονικές ανακαλύψεις. Έτσι, στην διατύπωση του σύγχρονου παραδειγματικού προτύπου για την δομή της ύλης (standard model) καθώς και στην πειρα-

ΦΥΣΙΚΗ Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

ματική του επαλήθευση, κυριαρχούν στοιχεία από την καθιερωθείσα Φυσική κατά το πρώτο ήμισυ του εικοστού αιώνα: Το πείραμα του Rutherford για παράδειγμα, συνεχίζεται ακόμη και σήμερα, ως βασική μεθοδολογία, στους μεγάλους επιταχυντές, όπου με πειράματα συγκρούσεων σε υψηλές ενέργειες επιτυγχάνεται η διεξόδωση σε κλίμακες οργάνωσης της ύλης μέχρι 10^{-20} m! Εξ άλλου στο επίπεδο της θεωρίας, το κβαντικό πρότυπο του ηλεκτρονίου, όπως περιγράφεται από τη εξίσωση του Dirac, επεκτείνεται όχι μόνο στα υπόλοιπα λεπτόνια του καθιερωμένου προτύπου αλλά και στα quark τα οποία είναι και αυτά σωματίδια χωρίς δομή με spin $\frac{1}{2}$, όπως τα ηλεκτρόνια. Τέλος η έννοια των σωματιδίων-φορέων των αλληλεπιδράσεων ενυπάρχει τόσο στην Κβαντική Μηχανική του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου (φωτόνιο) όσο και στην υπόθεση Yukawa για το πεδίο των ισχυρών πυρηνικών δυνάμεων (μεσόνιο). Η αποδεκτή σήμερα λύση στο πρόβλημα αυτό συνδέεται με την σημαντική θεωρητική ανακάλυψη των τελευταίων χρόνων, σύμφωνα με την οποία τα σωματίδια-φορείς οφείλουν την ύπαρξη τους στη λεγόμενη συμμετρία βαθμίδας (gauge symmetry). Μια αρχή που ικανοποιούν οι βασικές δυνάμεις στην φύση και σύμφωνα με την οποία τα σωματίδια αυτά έχουν spin 1 (διανυσματικά σωματίδια). Αξίζει να τονισθεί στο σημείο αυτό ότι από τους απλούς κανόνες των θεωριών βαθμίδας εξαιρείται η βαρύτητα για την οποία δεν υπάρχει ακόμη μια συνεπής κβαντική θεωρία. Το παραπάνω κριτήριο των διανυσματικών σωματιδίων ικανοποιείται από το φωτόνιο που μεταφέρει τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις καθώς και από τα βαρέα μποζόνια (W^\pm , Z^0) που σχετίζονται με τις ασθενείς πυρηνικές δυνάμεις. Δεν ικανοποιείται όμως από τα αρχικά σωματίδια του Yukawa τα οποία είναι βαθμωτά (έχουν spin 0) και δεν μπορούν, σύμφωνα με την αρχή της συμμετρίας βαθμίδας, να είναι φορείς θεμελιωδών δυνάμεων στην φύση. Αντί αυτών, τις ισχυρές πυρηνικές δυνάμεις έχουν αναλάβει να μεταφέρουν, στο επίπεδο της ύλης quark, τα γλιόνια (gluons) τα οποία είναι διανυσματικά σωματίδια και εκπορεύονται από μια θεμελιώδη θεωρία βαθμίδας των ισχυρών αλληλεπιδράσεων, την λεγόμενη κβαντική χρωμοδυναμική (QCD). Παρόλα αυτά η τοπική αλληλεπίδραση Yukawa βαθμωτών σωματιδίων με σωματίδια ύλης (quarks, leptons) έχει θεμελιώδη σημασία στην διατύπωση των σύγχρονων θεωριών δεδομένου ότι ορισμένα βαθμωτά σωματίδια παίζουν βασικό ρόλο στη συγκρότηση της πρώτης ύλης του σύμπαντος, ως συστατικά του κενού (σωματίδια τύπου Higgs). Αξίζει να σημειωθεί ότι η πειραματική ανακάλυψη βαθμωτών σωματιδίων Higgs (από το όνομα του Σκωτσέζου θεωρητικού φυσικού P. Higgs) αποτελεί την πρώτη και υψηλή προτεραιότητα στα σύγχρονα πειράματα, στους μεγάλους επιταχυντές που λειτουργούν ήδη (LEP) ή κατασκευάζονται (LHC). Η πειραματική ανακάλυψη του σωματιδίου Higgs θα έχει μεγάλη σημασία για την επιστήμη διότι θα λυθεί αυτομάτως το πρόβλημα της μάζας των σωματιδίων, με άλλους λόγους θα ανακαλυφθεί ο μηχανισμός με τον οποίο απονέμεται η μάζα στην πρώτη ύλη του σύμπαντος. Τότε μόνον θα έχει ολοκληρωθεί η μεγάλη επιστημονική επανάσταση που άρχισε με τον Γαλιλαίο και την ανακάλυψη της αδράνειας ως βασικής ιδιότητας της ύλης πριν από τέσσερις αιώνες.

Από την ιστορική και επιστημολογική αναδρομή που επιχειρήθηκε στα προηγούμενα προκύπτει ότι οι σημερινές αντιλήψεις για τη μικροσκοπική δομή της ύλης αποτελούν ένα πολύ προχωρημένο στάδιο ωρίμανσης και εκλέπτυνσης της κβαντικής θεωρίας όπως αυτή αναπτύχθηκε, σε συνδυασμό με τη θεωρία της σχετικότητας, το πρώτο ήμισυ του

εικοστού αιώνα. Το ερώτημα που τίθεται συχνά είναι μήπως έχει φθάσει το τέλος της «φυσικής επιστήμης» με την έννοια ότι οι μεγάλες ανακαλύψεις του εικοστού αιώνα έχουν αποκαλύψει όλες τις βασικές αρχές της δομής και της λειτουργίας του σύμπαντος (πρώτες αρχές). Εάν η απάντηση είναι καταφατική τότε, για την συνέχεια, μας απομένει μια αργόσυρτη διαδικασία σύνθεσης που έχει περισσότερο τον χαρακτήρα μιας εξεζητημένης φαινομενολογίας παρά μιας αναζήτησης νέων αρχών όπως συνέβη με την θεωρία της σχετικότητας και την κβαντική μηχανική. Οι επιστήμονες απορρίπτουν την θεωρία του τέλους της επιστήμης ως ανιστόρητη ενώ συγχρόνως, νέοι δρόμοι της φυσικής επιστήμης έχουν ήδη ξεκινήσει. Θα αναφέρουμε έναν από αυτούς που έχει κατεύθυνση την διατύπωση της κβαντικής μηχανικής των ανοικτών συστημάτων.

Η Κβαντική Μηχανική, όπως συμπυκνώνεται στην εξίσωση του Σρέντινγκερ, αφορά φυσικά συστήματα που δεν αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον και αποτελεί πολύ καλή προσέγγιση για την κατανόηση της μικροσκοπικής προέλευσης της ενέργειας καθώς και των μηχανισμών διαχείρισής της από την ύλη. Με άλλους λόγους η Κβαντική Μηχανική των κλειστών συστημάτων απευθύνεται στην ύλη χωρίς ζωή και παρέχει τους μηχανισμούς με τους οποίους η ύλη αυτή κινείται, μετασχηματίζεται, αλληλεπιδρά, διασπάται και συντίθεται. Η εικασία είναι ότι η κβαντική μηχανική των ανοικτών συστημάτων θα μπορούσε να ερμηνεύσει την προέλευση και τη διαχείριση από την ύλη, όχι μόνο της ενέργειας αλλά και της πληροφορίας ως φυσικού μεγέθους, συνδεδεμένου μάλιστα πού στενά με την λειτουργία της ζωής. Η νέα φυσική καλείται με άλλους λόγους, να συναντηθεί με την βιολογία για την ανακαλύψει των θεμελιωδών μηχανισμών με τους οποίους η ύλη προσαρμόζεται, αυτό-οργανώνεται, δημιουργεί, αποφασίζει και συνειδητοποιεί. Καλείται επομένως, η επιστήμη της τρίτης χιλιετίας να θεμελιώσει σε πρώτες αρχές (όχι κατ' ανάγκη σε μικροσκοπικό επίπεδο) τη συμπεριφορά της έμβιας ύλης, γενικεύοντας κατάλληλα ή και ανατρέποντας τις αντιλήψεις της φυσικής επιστήμης του εικοστού αιώνα.

Με το παράδειγμα αυτό μπορούμε, τελειώνοντας, να συνοψίσουμε τα σημαντικά, ανοικτά προβλήματα που καλείται η φυσική επιστήμη να αντιμετωπίσει τον αιώνα που άρχισε. Τα προβλήματα αυτά είναι:

- α. η διατύπωση μιας συνεπούς κβαντικής θεωρίας των ανοικτών συστημάτων.
- β. η διατύπωση μιας πλήρους θεωρίας ενοποίησης των δυνάμεων, στο αρχικό, θερμό σύμπαν.
- γ. η προέλευση, ρύθμιση και αλληλεξάρτηση των παγκόσμιων σταθερών της φυσικής.
- δ. η ερμηνεία από πρώτες αρχές του δεύτερου νόμου της θερμοδυναμικής
- ε. η διατύπωση μιας συνεπούς κβαντικής θεωρίας βαρύτητας
- στ. η εξιχνίαση των μηχανισμών αλλαγής φάσης από την ύλη quark στην συμβατική ύλη του σημερινού σύμπαντος.
- ζ. η ερμηνεία επικράτησης της ύλης έναντι της αντιύλης στο διαστελλόμενο σύμπαν
- η. η προέλευση της μάζας των σωματιδίων της πρωτογενούς ύλης (μηχανισμός Higgs).
- θ. η ύπαρξη και προέλευση της σκοτεινής ύλης (dark matter) στο σύμπαν.
- ι. η διατύπωση μιας συνεπούς κβαντικής θεωρίας της πολυπλοκότητας (κβαντικό χάος).

ΦΥΣΙΚΗ Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

Ορισμένα από τα προβλήματα αυτά είναι αλληλένδετα, άλλα βρίσκονται κοντά στη λύση τους, άλλα είναι πολύ απομακρυσμένα από αυτή. Το βέβαιο είναι ότι τα όρια και οι ορίζοντες της Επιστήμης διευρύνονται συνεχώς, παρασύροντας μαζί τους τα όρια και τους ορίζοντες του πολιτισμού.

Το Φυσικό Σύμπαν – Οι βασικές κλίμακες

Η Φυσική Επιστήμη μελετά τη δομή και τη λειτουργία της Φυσικής πραγματικότητας, τις μορφές της ύλης που τη συνθέτουν και επεκτείνει τη μελέτη της ύλης που τη συνθέτουν και επεκτείνει τη μελέτη της σε όλες της μορφές τις κλίμακες οργάνωσης του Κόσμου, από τα ελάχιστα συστατικά του μέχρι τα αστρικά συστήματα και πέραν αυτών, μέχρι την κλίμακα ολόκληρου του Σύμπαντος.

Τα θεμελιώδη μεγέθη για τη κατανόηση του φυσικού σύμπαντος και επομένως για την οικοδόμηση της Φυσικής Επιστήμης καθορίζονται από τρεις βασικές κλίμακες αντιστοίχως:

- Κλίμακα μήκους (l)
- Κλίμακα χρόνου (t)
- Κλίμακα μάζας (m)

Οι κλίμακες όλων των άλλων μεγεθών που εισάγονται για τη περιγραφή της Φύσης είναι παράγωγες των τριών κλιμάκων και τα θεμελιώδη αυτά μεγέθη κατάγονται από τις πρώτες αρχές της Μηχανικής του Newton η οποία βασίστηκε (α) στις ιδιότητες του τρισδιάστατου χώρου όπως περιγράφεται από την Ευκλείδεια Γεωμετρία, (β) στον απόλυτο χαρακτήρα του χρόνου και (γ) στην αρχή της αδράνειας της ύλης (χώρος-χρόνος-κίνηση). Ακόμη και η θερμοκρασία (T) μπορεί να θεωρηθεί παράγωγο μέγεθος των τριών κλιμάκων, αφού συνδέεται με τη θερμική ενέργεια ανά κινητό βαθμό ελευθερίας ($E = kT/2$) ενός θερμοδυναμικού συστήματος.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να παρατηρήσει κανείς ότι επειδή η σταθερά Boltzmann (K) δεν είναι αδιάστατο μέγεθος αλλά έχει διαστάσεις εντροπίας υπάρχει μια ατέλεια στο βασικό σύστημα κλιμάκων. Παρά ταύτα, επειδή η σταθερά Boltzmann είναι παγκόσμια σταθερά, μπορούμε να επιλέξουμε κατάλληλο σύστημα μονάδων με $K=1$. Στο σύστημα αυτό η θερμοκρασία έχει διαστάσεις ενέργειας και μπορεί να ενταχθεί στα παράγωγα με 4^η τάξη των βασικών κλιμάκων.

Οι κλίμακες οργάνωσης της ύλης

Με βάση το θεμελιώδες σύστημα κλιμάκων, η Φυσική Επιστήμη καλείται να μελετήσει την ιεραρχία οργάνωσης της ύλης όπως αυτή φαίνεται στο πίνακα 1.

Στο πίνακα 1 έχει τηρηθεί μια αντιστοιχία ανάμεσα στις κλίμακες μήκους των Φυσικών Συστημάτων την μάζα τους και τις αντίστοιχες κλίμακες χρόνου. Υπάρχουν προφανή ανώτερα όρια στις κλίμακες αυτές της Φύσης που καθορίζονται από την έκταση (10^{28} cm) την μάζα (1056g) και την ηλικία (10^{18} sec) του σημερινού σύμπαντος. Η αναζήτηση εξ' άλλου κατωτέρων ορίων στις κλίμακες μήκους και χρόνου πρέπει να συμ-

ΠΙΝΑΚΑΣ 1		
Κλίμακα μήκους (cm)	Κλίμακα μάζας (g)	Κλίμακα χρόνου(s)
10^{28} Όριο Παρατηρήσιμου Σύμπαντος	10^{56} Παρατηρούμενου Σύμπαν	10^{18} Ηλικία Σύμπαντος και Ήλιου
10^{24} Διάμετρος Γαλαξία μας	10^{44} Ο Γαλαξίας μας	
10^{19} Έτος φωτός		10^7 Περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο
10^{13} Απόσταση Γης-Ήλιου		10^5 Περιστροφή της Γης
10^{11} Ακτίνα Ήλιου	10^{34} Ήλιος	10^3 Χρόνος ζωής ελεύθερων νετρονίων
10^9 Ακτίνα Γης	10^{28} Γη	
10^5 Μήκος κύματος ραδιοκυμάτων	10^{15} 1cm^3 αστέρα νετρονίων	10^{-7} Περίοδος ραδιοκυμάτων
10^{-5} Μήκος κύματος ορατών ακτινοβολιών		10^{-13} Περίοδος ορατών Η/Μ κυμάτων
10^{-2} Μήκος κύματος υπερύθρων	10^6 1cm^3 λευκού νάνου	
10^{-8} Διάμετρος ατόμου	1 Σταγόνα βροχής	
10^{-12} Διάμετρος πυρήνα	10^{-24} Πρωτονίου, ηλεκτρονίου, ατόμου	10^{-23} Μικρότερο χρονικό διάστημα ζωής στοιχειωδών σωματιδίων

βαδίζει με τις υποθέσεις και τα ευρήματα της σύγχρονης Κοσμολογίας για την πρώιμη εποχή της ιστορίας του σύμπαντος. Για τη κλίμακα της μάζας το κατώτερο όριο είναι προφανώς το $m=0$ και αντιστοιχεί σε σωματίδια που κινούνται πάντοτε με τη ταχύτητα του φωτός. Μέχρι πρότινος εθεωρείτο ότι στη κλάση αυτή ανήκουν το φωτόνιο και τα τρία είδη νετρίνο. Ευρέθη όμως πρόσφατα και αποτελεί τη σπουδαιότερη ανακάλυψη των τελευταίων χρόνων (βραβείο Nobel Φυσικής 2002) ότι τα σωματίδια νετρίνο έχουν μικρή αλλά όχι μηδενική μάζα. Επομένως από τα γνωστά σωματίδια στο εργαστήριο, το κατώτερο όριο στη κλίμακα μάζας κατέχει μόνον το φωτόνιο.

Η ελάχιστη κλίμακα μήκους και χρόνου (χωροχρονική κλίμακα) στη Φύση, αντιστοιχεί σε μικροσκοπικές περιοχές η βαρύτητα ως φυσικό σύστημα αποκτά κβαντικές ιδιότητες (κβαντική βαρύτητα). Θα δείξουμε, με απλά επιχειρήματα διαστατικής ανάλυσης, ότι το ελάχιστο όριο (κλίμακα Planck) είναι για το μήκος και για το χρόνο. Είναι φανερό ότι τόσο απρόσιτες χωροχρονικές κλίμακες συνδέονται μόνο με ακραία κοσμολογικά φαινόμενα αναφερόμενα στις αρχικές συνθήκες του σύμπαντος.

Ο ρόλος των παγκόσμιων φυσικών σταθερών.

Η προηγούμενη συζήτηση υποδεικνύει ότι για να κατανοήσουμε την οργάνωση της ύλης σε διάφορες κλίμακες απαιτούνται και ορισμένες φυσικές αρχές που συμπυκνώνουν την πειραματική γνώση για τις προσιτές περιοχές του σημερινού σύμπαντος (π.χ. Ατομική Φυσική) η τις υποθέσεις και θεωρίες για τις απρόσιτες περιοχές (π.χ. κβαντική βαρύτητα). Οι αρχές αυτές εισάγονται με τον πιο οικονομικό τρόπο διαμέσου ενός συστήματος φυσικών σταθερών που είναι παγκόσμιες, κατά το πρότυπο της βαρυτικής

ΦΥΣΙΚΗ Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

σταθεράς του Newton (G) και θεμελιώδεις για τη δόμηση και τη λειτουργία του σύμπαντος (πίνακας 2).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2	
Ταχύτητα του φωτός στο κενό:	$C = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm s}^{-1} [lt^{-1}]$
Βαρυτική σταθερά Newton:	$G = 6.67 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-2} [l^3 m^{-1} t^2]$
Σταθερά του Planck:	$h = 6.63 \cdot 10^{-27} \text{ erg} \cdot \text{s} [l^2 m t^{-1}]$
Σταθερά του Boltzmann:	$K = 1.38 \cdot 10^{-16} \text{ erg} \cdot \text{K}^{-1}$
Στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο:	$e = 4.80 \cdot 10^{-10} \text{ g}^{1/2} \text{ cm}^{3/2} \text{ s}^{-1} [l^{3/2} m^{1/2} t^{-1}]$
Μάζα ηλεκτρονίου:	$m_e = 9.11 \cdot 10^{-28} \text{ g} [m]$
Μάζα πρωτονίου(νουκλεονίου):	$m_p = 1.67 \cdot 10^{-24} \text{ g} [m]$

Οι σταθερές του πίνακα 2 είναι θεμελιώδεις διότι κάθε μια από αυτές συνδέεται με ένα σύστημα φυσικών αρχών τόσο της Κλασικής όσο και της Νεοκλασικής Φυσικής. Συγκεκριμένα:

- Η ταχύτητα του φωτός συνδέεται με τον ηλεκτρομαγνητισμό και τη σχετικότητα
- Η σταθερά του Planck με τη κβαντική Μηχανική
- Το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο και η μάζα του ηλεκτρονίου, με την Ατομική Φυσική
- Η μάζα του νουκλεονίου με τη Πυρηνική Φυσική
- Η σταθερά Boltzmann με τη στατιστική Φυσική
- Η βαρυτική σταθερά με το πεδίο βαρύτητας τόσο στη θεωρία του Newton όσο και στη θεωρία του Einstein.

Είναι ενδιαφέρον να τονίσουμε ότι με τη χρήση των φυσικών σταθερών και τη παραπομπή στη σχέση τους με θεμελιώδεις φυσικές αρχές, είναι δυνατόν να προσδιοριστούν, χωρίς τη μεσολάβηση των λεπτομερειών των θεωριών που συνδέονται με αυτές, σημαντικά δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της φυσικής πραγματικότητας, με μοναδικό εργαλείο τη διαστατική ανάλυση .

Διαστατική ανάλυση

Με βάση τον Πίνακα 2 των παγκόσμιων φυσικών σταθερών θα δείξουμε στη συνέχεια, ως παράδειγμα, πως είναι δυνατόν η διαστατική ανάλυση να οδηγήσει με απλό και οικονομικό τρόπο στην εύρεση:

- Του νόμου των Stefan-Boltzmann στο φαινόμενο αλληλεπίδρασης ύλης-ακτινοβολίας.
- Της ακτίνας Bohr στο άτομο του υδρογόνου
- Της κλίμακας Planck για το μήκος ,το χρόνο και την θερμοκρασία στο Σύμπαν

Ο νόμος Stefan-Boltzmann

Η πυκνότητα των φωτονίων n_γ , σε μια κοιλότητα όπου η ηλεκτρομαγνητική ακτι-

νοβολία ευρίσκεται σε θερμική ισορροπία με τα τοιχώματα, εξαρτάται μόνο από τα ακόλουθα διαστατικά μεγέθη:

- την θερμοκρασία T
- την ταχύτητα του φωτός c , που υπεισέρχεται σε όλα τα φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και
- την σταθερά του Planck h η οποία υποδηλώνει τον κβαντικό μηχανισμό αλληλεπίδρασης ύλης και ακτινοβολίας (υπενθυμίζουμε ότι η πρώτη εμφάνιση της σταθεράς h έγινε κατά τη μελέτη του υπό συζήτηση φαινομένου). Εισάγουμε το διαστατικό περιεχόμενο των μεγεθών n_γ , T , c και h , σύμφωνα με τα προηγούμενα και προκύπτουν οι ακόλουθες διαστατικές εξισώσεις:

$$[n_\gamma] = l^{-3}, [T] = l^2 m t^{-2}, [c] = l t^{-1}, [h] = l^2 m t^{-1} \quad (1)$$

Επειδή οι εξισώσεις είναι τέσσερι και οι βασικές κλίμακες είναι τρεις, ευρίσκεται ως λύση, μονοσήμαντη σχέση ανάμεσα στα μεγέθη (n_γ , T , c , h) που χαρακτηρίζουν το φαινόμενο:

$$n_\gamma = b_0 \frac{T^3}{(hc)^3} \quad (2)$$

όπου b_0 είναι αδιάστατος, αριθμητικός συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από τις λεπτομέρειες του φαινομένου και δεν μπορεί να προσδιοριστεί από την διαστατική ανάλυση. Η εξίσωση (2) εκφράζει το νόμο του *Stefan-Boltzmann* ο οποίος μπορεί να διατυπωθεί και για την πυκνότητα ενέργειας ρ_γ της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, με βάση τις αντίστοιχες διαστάσεις:

$$[\rho_\gamma] = l^{-1} m t^{-2}, [T] = l^2 m t^{-2}, [c] = l t^{-1}, [h] = l^2 m t^{-1} \quad (3)$$

Η μονοσήμαντη λύση των εξισώσεων (3) δίδει τον γνωστό και σημαντικό νόμο δύναμης *Stefan-Boltzmann*, $\rho_\gamma T^4$:

$$\rho_\gamma = \alpha_0 \frac{T^4}{(hc)^3} \quad (4)$$

όπου και πάλι ο αδιάστατος συντελεστής α_0 εξαρτάται από τις λεπτομέρειες του φαινομένου.

Με το παράδειγμα αυτό θελήσαμε να δείξουμε ότι τα ουσιώδη χαρακτηριστικά ενός σημαντικού φαινομένου που σχετίζεται με την αλληλεπίδραση ύλης και ακτινοβολίας, μπορούν να κατανοηθούν με την βοήθεια των βασικών φυσικών σταθερών που συνδέονται με τις φυσικές αρχές του φαινομένου. Το εργαλείο στην μελέτη αυτή ήταν η μέθοδος της διαστατικής ανάλυσης.

Με την ίδια μέθοδο θα αναζητήσουμε στη συνέχεια τις κλίμακες των φαινομένων της Ατομικής Φυσικής καθώς και τις κλίμακες Planck που συνδέονται με τα ακραία κοσμολογικά φαινόμενα της κβαντικής βαρύτητας.

ΦΥΣΙΚΗ Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

Η κλίμακα Bohr

Η θεμελιώδης κλίμακα μήκους που χαρακτηρίζει την Ατομική Φυσική, είναι η ακτίνα εντοπισμού του ηλεκτρονίου στη βασική κατάσταση (ground state) του ατόμου του Υδρογόνου (ακτίνα Bohr). Σύμφωνα με τα προηγούμενα, αναζητούμε τις παγκόσμιες φυσικές σταθερές που έχουν συνάφεια με τις αρχές που ρυθμίζουν τη δυναμική του ατόμου του Υδρογόνου. Οι σταθερές αυτές είναι:

1. Η σταθερά του Planck
2. Η μάζα του ηλεκτρονίου
3. το στοιχειώδες φορτίο (e) και το οποίο αποτελεί τη σταθερά ζεύξης του ηλεκτρονίου με το πυρήνα (δύναμη Coulomb).

Μετά τον καθορισμό αυτό, οι διαστατικές εξισώσεις για την ακτίνα του Bohr (R_B) και τις τρεις φυσικές σταθερές (h , m_e , e) γράφονται κατά τα γνωστά

$$[R_B] = l, [h] = l^2 m t^{-1}, [m_e] = m, [e] = l^{3/2} m^{1/2} t^{-1} \quad (5)$$

και επιλύονται μονοσήμαντα δίνοντας $R_B = \frac{h^2}{m_e e^2}$ (6)

Η κλίμακα Ενεργειών E_B στην Ατομική Φυσική προσδιορίζεται από τις αντίστοιχες διαστατικές εξισώσεις:

$$[E_B] = l^2 m t^{-2}, [h] = l^2 m t^{-1}, [m_e] = m, [e] = l^{3/2} m^{1/2} t^{-1} \quad (7)$$

οι οποίες δίδουν:

$$E_B = \frac{m_e e^4}{h^2} \quad (8)$$

Τέλος η κλίμακα χρόνου t_B δίδεται από τη λύση των διαστατικών εξισώσεων:

$$[t_B] = t, [m_e] = m, [h] = l^2 m t^{-1}, [e] = l^{3/2} m^{1/2} t^{-1} \quad (9)$$

ως ακολούθως:

$$t_B = \frac{h^3}{m_e e^4} \quad (10)$$

Όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα παραδείγματα, υπάρχει πάντοτε στις λύσεις των διαστατικών εξισώσεων μια απροσδιόριστη, αδιάστατη πολλαπλασιαστική σταθερά, ο καθορισμός της οποίας απαιτεί τις λεπτομέρειες του φαινομένου και της θεωρίας που το ερμηνεύει. Στην περίπτωση των κλιμάκων (6, 8, 10) της Ατομικής θεωρίας, οι ακριβείς τιμές που προκύπτουν από τη Κβαντική Μηχανική (εξίσωση Schrodinger) συμπίπτουν με τη τάξη μεγέθους των εκτιμήσεων της διαστατικής ανάλυσης αν στις εκτιμήσεις αυτές (6, 8, 10) χρησιμοποιηθεί η ανηγμένη σταθερά του Planck $\hbar = \frac{h}{2\pi}$. Με την τρο-

ποποίηση αυτή και αντικαθιστώντας τις αριθμητικές τιμές των φυσικών σταθερών από το πίνακα 2 βρίσκουμε την τάξη μεγέθους των κλιμάκων της Ατομικής Φυσικής:

- Κλίμακα μήκους: $R_B = R_B \approx 10^{-8} \text{ cm}$ (1 A)
- Κλίμακα ενέργειας: $E_B \approx 10 \text{ eV}$ (11)
- Κλίμακα χρόνου: $t_B \approx 10^{-16} \text{ sec}$

Είναι αξιοπρόσεκτο ότι με πολύ απλά εργαλεία (διαστατική ανάλυση) μπορέσαμε να πλησιάσουμε το κατώφλι του « κβαντικού συστήματος» εκεί όπου η σταθερά του Planck έχει ρυθμιστικό ρόλο στη δομή και την λειτουργία των φυσικών συστημάτων. Στο κατώφλι αυτό κυριαρχούν τα φαινόμενα της Ατομικής Φυσικής με χαρακτηριστικές κλίμακες που δίδονται από την λύση (11) των διαστατικών εξισώσεων. Στην επόμενη παράγραφο θα μελετήσουμε με την ίδια μέθοδο τις κλίμακες που χαρακτηρίζουν τις εσχαιές του κβαντικού σύμπαντος (κλίμακες Planck) εκεί που η φυσική αρχή που κυριαρχεί είναι η σύζευξη της Κβαντικής Μηχανικής με τη θεωρία της βαρύτητας (Κβαντική Βαρύτητα)

Οι κλίμακες του Planck

Η κλίμακα Planck (R_p) καθορίζει την μικροσκοπική περιοχή όπου το πεδίο βαρύτητας υπόκειται σε κβαντικές διακυμάνσεις. Οι φυσικές σταθερές που είναι συναφείς με την αρχή της κβαντικής βαρύτητας είναι, η βαρυτική σταθερά (G), η σταθερά του Planck (\hbar) και η ταχύτητα του φωτός (c).

Είναι ενδιαφέρον να διατυπώσουμε τις διαστατικές εξισώσεις όχι μόνο για τη κλίμακα μήκους αλλά και για τη κλίμακα του χρόνου (t_p) και την κλίμακα θερμοκρασίας (T_p). Ο λόγος είναι ότι αυτή η ακραία κατάσταση της ύλης σχετίζεται με τις αρχικές συνθήκες του θερμού σύμπαντος και 4πομένως η θερμοκρασία Planck (T_p) θέτει ένα όριο στο φυσικό μέγεθος της θερμοκρασίας.

Οι διαστατικές εξισώσεις για τον προσδιορισμό της κλίμακας μήκους Planck

Γράφονται ως εξής:

$$[R_p] = l, [\hbar] = l^2 m t^{-1}, [G] = l^3 m^{-1} t^{-2}, [c] = l t^{-1} \quad (12)$$

και οδηγούν στη μονοσήμαντη λύση: $R_p = \left(\frac{G \hbar}{c^3} \right)^{1/2}$

Οι αντίστοιχες εξισώσεις για τη κλίμακα του χρόνου (t_p) είναι:

$$[t_p] = t, [\hbar] = l^2 m t^{-1}, [G] = l^3 m^{-1} t^{-2}, [c] = l t^{-1} \quad (13)$$

από τις οποίες προκύπτει: $t_p = \left(\frac{G \hbar}{c^5} \right)^{1/2}$

Τέλος η θερμοκρασία Planck προσδιορίζεται από τις διαστατικές εξισώσεις:

ΦΥΣΙΚΗ Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

$$[T_p] = \text{J}^2 \text{m}^{-1}, [G] = \text{J}^3 \text{m}^{-1} \text{t}^{-2}, [C] = \text{Jt}^{-1} \quad (14)$$

οι οποίες οδηγούν στη λύση: $[T_p] = \left(\frac{c^5 \hbar}{G}\right)^{1/2}$

Με τις αριθμητικές τιμές των φυσικών σταθερών (G, ħ, c) από το πίνακα 2, το τελικό αποτέλεσμα για τις κλίμακες Planck συνοψίζεται ως ακολούθως:

Μήκος Planck: 10^{-35} m

Χρόνος Planck: 10^{-43} sec

Θερμοκρασία Planck: 10^{32} K

Οι εντυπωσιακές αυτές τάξεις μεγέθους των κλιμάκων Planck δίδουν ένα μέτρο του απείρως μικρού και του απείρως μεγάλου στη Φυσική. Παρόλο που δεν υπάρχει ακόμη διατυπωμένη η τελική θεωρία της κβαντικής βαρύτητας και πολύ περισσότερο δεν υπάρχει ακόμη καμιά ένδειξη για τα υπολείμματα των φαινομένων αυτών στις προσιτές κλίμακες του σημερινού σύμπαντος, οι κλίμακες Planck θέτουν ένα όριο στη φυσική πραγματικότητα πέραν του οποίου οι φυσικές οντότητες και ο χωροχρόνος χάνουν το επιστημονικό τους περιεχόμενο.

Η κίνηση του εκκρεμούς

Στα προηγούμενα παραδείγματα εφαρμόσαμε τη διαστατική ανάλυση σε μια κλάση φαινομένων τα οποία καθορίζονται από ορισμένες βασικές, παγκόσμιες σταθερές. Είναι όμως δυνατόν να εφαρμοσθεί η ίδια μέθοδος και σε περισσότερα εξειδικευμένα συστήματα στα οποία οι συναφείς σταθερές δεν είναι παγκόσμιες αλλά χαρακτηρίζουν το υπό μελέτη φαινόμενο. Ως παράδειγμα θεωρούμε την αναζήτηση της περιόδου T στην κίνηση του εκκρεμούς.

Η περίοδος του εκκρεμούς εξαρτάται εν γένει από τη μάζα m, το μήκος l του εκκρεμούς καθώς και από την ένταση του πεδίου βαρύτητας στην επιφάνεια της Γης (g). Οι διαστατικές εξισώσεις του συστήματος γράφονται ως εξής :

$$[T] = \text{t}, [M] = \text{m}, [L] = \text{l}, [g] = \text{l} \cdot \text{t}^{-2}$$

Η λύση που προκύπτει, είναι ο γνωστός νόμος για τη περίοδο του εκκρεμούς: $T = \alpha \sqrt{\frac{l}{g}}$

όπου η αδιάστατη πολλαπλασιαστική σταθερά, όπως σε όλες τις προηγούμενες περιπτώσεις που εξετάσαμε, εξαρτάται από τις λεπτομέρειες του φαινομένου και είναι $\alpha = 2\pi$. Αξίζει να σημειωθεί ότι το αποτέλεσμα της διαστατικής ανάλυσης περιέχει, πέραν των άλλων, τη σημαντική πληροφορία, ότι η περίοδος του εκκρεμούς δεν εξαρτάται από τη μάζα m.

B. Γενική Διάθρωση Ενότητας

Σ' αυτή την ενότητα μελετώνται η δομή της ύλης σε πυρηνικό επίπεδο, οι πυρηνικές αντιδράσεις και οι θεμελιώδεις αλληλεπιδράσεις. Αρχικά αναφέρονται τα πρωτόνια και τα νετρόνια ως συστατικά του πυρήνα, εισάγεται ο ατομικός και μαζικός αριθμός και ορίζονται τα ισότοπα. Συγχρόνως εισάγεται η ισχυρή πυρηνική δύναμη ως υπεύθυνη για τη σταθερότητα του πυρήνα και περιγράφονται ποιοτικά κάποια χαρακτηριστικά της.

Στη συνέχεια μελετάται το φαινόμενο της ραδιενέργειας. Δίνεται μια ποιοτική ερμηνεία της αστάθειας των πυρήνων, γίνεται διάκριση των ακτινοβολιών α , β , γ ανάλογα με τον διαφορετικό βαθμό απορρόφησης τους από την ύλη, καθορίζεται η φύση τους, επισημαίνεται ότι οι διασπάσεις α και β προκαλούν μεταστοιχείωση και εξετάζεται συνοπτικά η βιολογική δράση της ακτινοβολίας (σωματιδιακή και ηλεκτρομαγνητική).

Οι πυρηνικές αντιδράσεις συνδέονται με την δυναμική ενέργεια μεταξύ των νουκλεονίων που ονομάζεται πυρηνική ενέργεια και με το έλλειμμα μάζας στους πυρήνες μέσω της εξίσωσης του Einstein. Με αυτό τον τρόπο γίνεται μια σύγκριση μεταξύ των ενεργειών σε μια χημική και σε μια πυρηνική αντίδραση, ώστε να γίνει κατανοητή η προέλευση του τεράστιας ποσότητας ενέργειας που εκλύεται σε μια πυρηνική αντίδραση. Ακολούθως γίνεται μελέτη της πυρηνικής σχάσης και της πυρηνικής σύντηξης με επισήμανση τόσο των καταστροφικών συνεπειών των πυρηνικών όπλων όσο και των θετικών προοπτικών κυρίως της πυρηνικής σύντηξης για την αντιμετώπιση των ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας.

Γ. Διδακτικοί Στόχοι

Οι μαθητές να αποκτήσουν τις ακόλουθες ικανότητες ή δεξιότητες:

1. Περιγράφουν τις βασικές ιδιότητες των πρωτονίων και των νετρονίων και διακρίνουν τις διαφορές τους.
2. Ορίζουν τον ατομικό και το μαζικό αριθμό ενός στοιχείου. Αν τους δοθεί η σύσταση ενός πυρήνα μπορούν να βρουν τον ατομικό και το μαζικό του αριθμό. Ορίζουν τα ισότοπα ενός στοιχείου.
3. Περιγράφουν τα βασικά χαρακτηριστικά των ακτινοβολιών α , β και γ και τις σχετίζουν με τη διάσπαση και τις μεταβολές ενός πυρήνα.
4. Ορίζουν το έλλειμμα μάζας σε μια πυρηνική διάσπαση και το συσχετίζουν ποιοτικά με τη δυναμική ενέργεια σύνδεσης των νουκλεονίων στον πυρήνα.
5. Περιγράφουν το φαινόμενο της πυρηνικής σχάσης και της αλυσιδωτής αντίδρασης.
6. Εξηγούν ποιοτικά την προέλευση της ενέργειας που ελευθερώνεται και μετατρέπεται σε ενέργεια άλλων μορφών, στην πυρηνική σχάση.
7. Περιγράφουν εφαρμογές της πυρηνικής σχάσης στη σύγχρονη κοινωνία.
8. Περιγράφουν το φαινόμενο της πυρηνικής σύντηξης και το συσχετίζουν με την ενέργεια που εκπέμπεται από τον Ήλιο.

Δ, Εναλλακτικές Ιδέες των Μαθητών για τη Δομή της Ύλης



Οι μαθητές συχνά πιστεύουν ότι τα άτομα εξαφανίζονται ως αποτέλεσμα ραδιενεργών διασπάσεων.

Οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται την ραδιενεργό διάσπαση ως πιθανή αυθόρμητη διαδικασία, αλλά θεωρούν ότι προκαλείται από ανθρώπινη παρέμβαση.

Η ενέργεια σύνδεσης και το έλλειμμα μάζας αποτελούν ιδιαίτερα δύσκολες έννοιες για τους μαθητές, ειδικά όταν δεν είναι εξοικειωμένοι με την ειδική θεωρία της σχετικότητας

ΣΤ. Οργανόγραμμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Σχέδιο Διδασκαλίας (4 διδακτικές ώρες)		
ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΔΙΑΦΑΝΕΙΣ
<input type="checkbox"/> Περιγραφή του πυρήνα (2 Διδακτικές ώρες) <input type="checkbox"/> Ραδιενέργεια (1 Διδακτική ώρα) <input type="checkbox"/> Βιολογική δράση της ακτινοβολίας (1 Διδακτική ώρα)		Διαφάνεια Εικόνα 10.3 Διαφάνεια Εικόνα 10.5 Διαφάνεια Εικόνα 10.11 Διαφάνεια Εικόνα 10.12 Διαφάνεια Εικόνα 10.13 Διαφάνεια Εικόνα 10.15 Διαφάνεια Εικόνα 10.18 Διαφάνεια Πίνακας 10.1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

Σχέδιο Διδασκαλίας (4 διδακτικές ώρες)		
ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ-ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ	ΔΙΑΦΑΝΕΙΣ
<input type="checkbox"/> Ενέργεια και πυρηνικές αντιδράσεις <input type="checkbox"/> Πυρηνική σχάση <input type="checkbox"/> Πυρηνική σύντηξη		Διαφάνεια Εικόνα 11.3 Διαφάνεια Εικόνα 11.9

Ενδεικτικές διδακτικές ενέργειες για την επίτευξη των στόχων

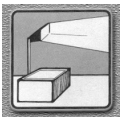
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10,11 Ο ΑΤΟΜΙΚΟΣ ΠΥΡΗΝΑΣ – ΠΥΡΗΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ**§10.1****Στόχοι 1, 2**

- Περιγράφουν τις βασικές ιδιότητες των πρωτονίων και των νετρονίων και διακρίνουν τις διαφορές τους.
- Ορίζουν τον ατομικό και το μαζικό αριθμό ενός στοιχείου.
- Αν τους δοθεί η σύσταση ενός πυρήνα μπορούν να βρουν τον ατομικό και το μαζικό του αριθμό.
- Ορίζουν τα ισότοπα ενός στοιχείου

Χρησιμοποιώ τις εικόνες του βιβλίου και σχετικές διαφάνειες, για να περιγράψω το μοντέλο ενός ατόμου. Περιγράψω τις βασικές ιδιότητες του νετρονίου και του πρωτονίου του πυρήνα. Ζητώ από τους μαθητές να σκεφτούν πώς είναι δυνατόν αντίθετα φορτισμένα σωματίδια, όπως τα πρωτόνια είναι δυνατόν να συγκρατούνται σε τόσο μικρές αποστάσεις, με αποτέλεσμα ο πυρήνας των ατόμων να εμφανίζεται ευσταθής. Εισάγω την έννοια των πυρηνικών αλληλεπιδράσεων και των πυρηνικών δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων του πυρήνα. Ζητώ από τους μαθητές να σχεδιάσουν το άτομο του υδρογόνου και του ηλίου στο τετράδιό τους. Εισάγω την έννοια του ατομικού και του μαζικού αριθμού ενός πυρήνα.

§10.2, 10.3**Στόχος 3**

- Περιγράφουν τα βασικά χαρακτηριστικά των ακτινοβολιών α , β και γ και τις σχετίζουν με τη διάσπαση και τις μεταβολές ενός πυρήνα.



Περιγράψω ιστορικά πειράματα που οδήγησαν στην ανίχνευση των πυρηνικών ακτινοβολιών και των ραδιενεργών στοιχείων. περιγράψω τα βασικά χαρακτηριστικά των ακτινοβολιών α , β , γ και τις σχετίζω με αντίστοιχες μεταβολές των πυρήνων από τους οποίους προέρχονται.

Συζητώ με τους μαθητές τις συνέπειες της ακτινοβολίας στους ζωντανούς οργανισμούς καθώς και εφαρμογές της πυρηνικής ακτινοβολίας στη σύγχρονη κοινωνία.

Σημείωση: Η επίδραση της πυρηνικής ακτινοβολίας στους ζωντανούς οργανισμούς καθώς και οι ποικίλλες εφαρμογές τους στην ιατρική και στη βιομηχανία, μπορούν να αποτελέσουν έναν πολύ ενδιαφέροντα τόπο θεμάτων για συνθετικές εργασίες ή επεξεργασία διαθεματικών δραστηριοτήτων των μαθητών.

§11.1, 11.2, 11.3**Στόχοι 4, 5, 6, 7, 8**

- Ορίζουν το έλλειμμα μάζας σε μια πυρηνική διάσπαση και το συσχετίζουν ποιοτικά με τη δυναμική ενέργεια σύνδεσης των νουκλεονίων στον πυρήνα.
- Περιγράφουν το φαινόμενο της πυρηνικής σχάσης και της αλυσιδωτής αντίδρασης.
- Εξηγούν ποιοτικά την προέλευση της ενέργειας που ελευθερώνεται και μετατρέπεται σε ενέργεια άλλων μορφών, στην πυρηνική σχάση.
- Περιγράφουν εφαρμογές της πυρηνικής σχάσης στη σύγχρονη κοινωνία.
- Περιγράφουν το φαινόμενο της πυρηνικής σύντηξης και το συσχετίζουν με την ενέργεια που εκπέμπεται από τον Ήλιο

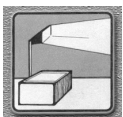


Χρησιμοποιώ τις εικόνες του βιβλίου ή σχετικές διαφάνειες για να δείξω στους μαθητές τη διαδικασία σχάσης ενός ασταθούς πυρήνα. Ζητώ από τους μαθητές να περιγράψουν τις ενεργειακές μεταβολές που συμβαίνουν στη σχάση.

Εισάγω την έννοια του ελλείμματος μάζας και το συσχετίζω με τις δυναμικές ενέργειες των νουκλεονίων πριν και μετά τη σχάση. Εξηγώ πώς κατά τη σχάση ελευθερώνεται από τον πυρήνα ένα ποσό ενέργειας που μετατρέπεται σε ενέργεια άλλης μορφής.

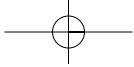
Εισάγω την έννοια της αλυσιδωτής αντίδρασης και περιγράφω με τους όρους που εισήγαγα το φαινόμενο της πυρηνικής έκρηξης καθώς και τη λειτουργία ενός πυρηνικού αντιδραστήρα. Τονίζω ότι το ίδιο φαινόμενο, η πυρηνική σχάση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο είτε για καταστροφικούς σκοπούς είτε για τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου των πολιτών.

Σημείωση: Οι εφαρμογές της πυρηνικής ενέργειας στο σύγχρονο κόσμο μπορούν να αποτελέσουν μια μεγάλη πηγή θεμάτων για εκπόνηση διαθεματικών εργασιών από τους μαθητές.

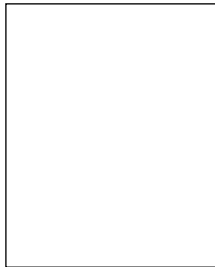


Περιγράφω το φαινόμενο της πυρηνικής σύντηξης. Προς τούτο χρησιμοποιώ τις εικόνες του βιβλίου ή σχετικές διαφάνειες. Περιγράφω το φαινόμενο της πυρηνικής σύντηξης στη γλώσσα της ενέργειας. Ζητώ από τους μαθητές να διακρίνουν τις διαφορές μεταξύ των φαινομένων της πυρηνικής σύντηξης και της πυρηνικής σχάσης. Συζητώ τις προοπτικές εκμετάλλευσης του φαινομένου της πυρηνικής σύντηξης για ειρηνικούς σκοπούς, σε συνάρτηση με το ενεργειακό πρόβλημα των σύγχρονων κοινωνιών.

Ζητώ από τους μαθητές να σκεφτούν από που προέρχεται η ενέργεια που εκπέμπεται από τον Ήλιο. Περιγράφω τις συνθήκες κάτω από τις οποίες βρίσκεται η ύλη στον πυρήνα του Ήλιου και τους δείχνω ότι οι συνθήκες αυτές είναι ιδανικές για την πραγματοποίηση πυρηνικών συντήξεων. Εξηγώ πώς η ενέργεια που ελευθερώνεται από τις πυρηνικές συντήξεις στον πυρήνα του Ήλιου αντισταθμίζει την βαρυτική κατάρρευση του άστρου. Κάνω μια γενική συζήτηση για την πρώτη έκρηξη και την εξέλιξη του Σύμπαντος.



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 διώκεται 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.

