

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ,
ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ
ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

**Στέλιος Λιοδάκης
Δημήτρης Γάκης
Δημήτρης Θεοδωρόπουλος
Παναγιώτης Θεοδωρόπουλος
Αναστάσιος Κάλλης**

**Χημεία
για το Γενικό Λύκειο**

Τόμος 5ος

Επιστημονικός υπεύθυνος –
Διεύθυνση ομάδων εργασίας:
Στέλιος Λιοδάκης

Ομάδα συγγραφής

Στέλιος Λιοδάκης, Δρ. Χημικός,
Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Δημήτρης Γάκης, Δρ. Χημικός
Μηχανικός, Λέκτορας ΕΜΠ

Δημήτρης Θεοδωρόπουλος,
Χημικός Μηχανικός Δ/θμιας
Εκπ/σης

Παναγιώτης Θεοδωρόπουλος,
Χημικός Δ/θμιας Εκπαίδευσης

Αναστάσιος Κάλλης,
Χημικός Δ/θμιας Εκπαίδευσης

Ομάδα Τεχνικής Υποστήριξης:

Στάθης Σιάνος, Χημικός Μηχανικός
ΕΜΠ

Ηρακλής Αγιοβλασίτης, φοιτητής
στη σχολή Χημικών Μηχανικών
ΕΜΠ

**Άννα Γάκη, φοιτήτρια στη σχολή
Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ
Βλάσσης Παπανικολάου, φοιτητής
στη σχολή Ηλεκτρ. Μηχανικών ΕΜΠ**

**Γλωσσική Επιμέλεια:
Χριστίνα Βασιλάκη**

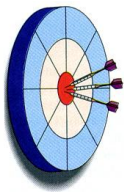
**Τεχνική Επιμέλεια:
Στέλιος Λιοδάκης**

**Υπεύθυνος στο Πλαίσιο του
Παιδαγωγικού Ινστιτούτου:
Αντώνιος Σ. Μπομπέτσης, Χημικός,
M.ed, Ph.D, Σύμβουλος Π.Ι.
Βασιλική Ν. Περάκη, Δρ. Βιολογίας,
Μόνιμη Πάρεδρος του Π.Ι.**

**ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ ΓΙΑ
ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ
Ομάδα Εργασίας ΥΠΔΒΜΘ**

5

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ



ΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτής της διδακτικής ενότητας θα πρέπει να μπορείς:

- Να αναφέρεις τι είναι ραδιενέργεια.
- Να διακρίνεις τα είδη ακτινοβολίας α , β , γ
- Να αναφέρεις τι είναι χρόνος υποδιπλασιασμού και ποιες είναι

οι μονάδες ραδιενέργειας και δόσης ακτινοβολίας.

- Να αναφέρεις τις επιπτώσεις της ραδιενέργειας στον άνθρωπο.
- Να διακρίνεις τις κυριότερες πηγές ραδιενέργειας (φυσικές και τεχνικές).
- Να παραθέτεις παραδείγματα εφαρμογών των ραδιοϊσοτόπων π.χ. ιατρική, τεχνολογία.

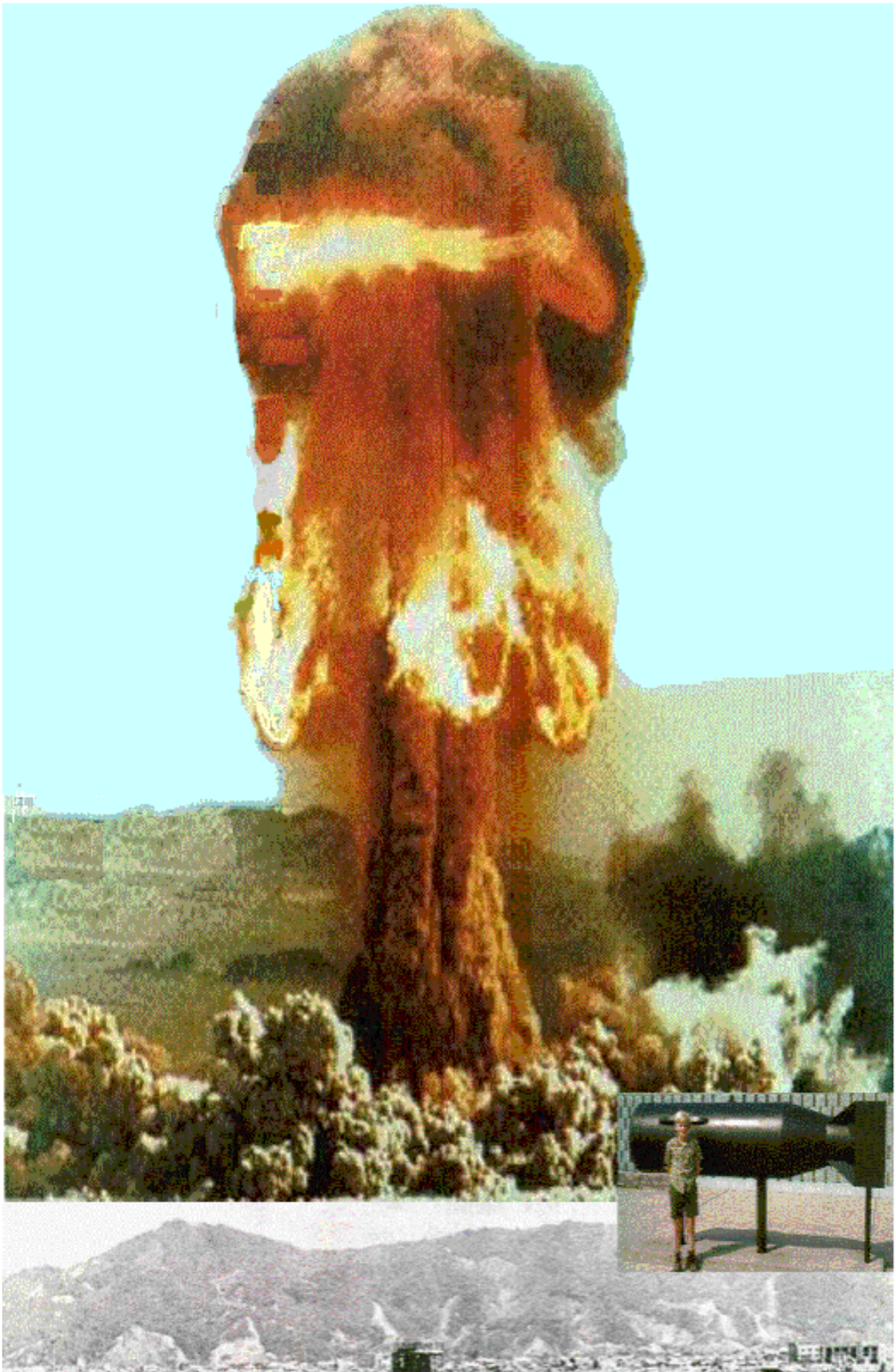
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

5.1 Ραδιενεργός διάσπαση – Χρόνος υποδιπλασιασμού – Συνέπειες ραδιενέργειας για τον άνθρωπο και πηγές ραδιενέργειας

5.2 Μερικές εφαρμογές των ραδιοϊσοτόπων

5.3 Μεταστοιχειώσεις – Σχάση – Σύντηξη

Ερωτήσεις – Προβλήματα



Το χρονικό μιας μεγάλης καταστροφής. Χιροσίμα 6 Αυγούστου 1945, ώρα 8.15, μία ατομική βόμβα ουρανού, που έριξε η πολεμική αεροπορία των ΗΠΑ με τ' όνομα "the little boy" (το αγοράκι), σκορπίζει την καταστροφή. Οι νεκροί ξεπέρασαν τους 200.000. Όμως, ο αριθμός των θυμάτων συνεχίζει ν' αυξάνεται εξαιτίας των επιπτώσεων της ραδιενέργειας. Από τότε, λένε, δε φύτρωσε πράσινο χορτάρι στη γη. Η αρχή δράσης της ατομικής βόμβας είναι η διάσπαση ενός ασταθούς πυρήνα η οποία οδηγεί κάτω από κατάλληλες συνθήκες σε μια αλυσίδα πυρηνικών αντιδράσεων με εκρηκτικές διαστάσεις, λόγω της μεγάλης ταχύτητας και του τεράστιου ποσού ενέργειας που ελευθερώνεται.

Στη φωτογραφία κάτω η Χιροσίμα λίγες βδομάδες μετά την καταστροφή. Στη μεσαία φωτογραφία βόμβα ανάλογη αυτής που ρίφθηκε στη Χιροσίμα. Πάνω, το εφιαλτικό μανιτάρι της πυρηνικής έκρηξης . «Στην πόλη σχεδόν κανείς δεν πήρε είδηση την έκρηξη της βόμβας. Φάνηκε μία πελώρια λάμψη, και δεν υπήρχε χρόνος ούτε και να σαστίσεις. Μία πελώρια θύελλα εξαφάνισε κάθε μορφή ζωής και ό,τι απόμεινε είναι αποτεφρωμένο ή καμένο από μία θερμότητα που παραμορφώνει και ξεκολλάει το δέρμα. Ένα μαύρο μανιτάρι, απαίσιο και γιγαντιαίο, μαζί με λάμπεις φωτιάς, ανεβαίνει προς τον ουρανό. Κάτω από αυτό κείτονται χιλιάδες νεκροί και ανατριχιαστικά πληγωμένοι. Από τα απέραντα ερείπια υψώνονται γλώσσες φωτιάς.

**Μόνο όσοι βρίσκονταν σε μεγάλη απόσταση από την πόλη άκουσαν την έκρηξη....»
(απόσπασμα από τη μαρτυρία κάποιου που έζησε την τραγωδία της Χιροσίμας).**

5

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ

Εισαγωγή

Στην «αυγή» του 20ου αιώνα το άτομο εθεωρείτο ως η αδιάσπαστη μονάδα της ύλης. Η ιδέα ότι ένα χημικό στοιχείο μπορούσε να μετατραπεί σε άλλο –να μεταστοιχειωθεί– εθεωρείτο μία συνέχεια της μεσαιωνικής ουτοπίας των αλχημιστών να μετατρέψουν σε χρυσό τα «αγενή» μέταλλα. Η ιδέα όμως αυτή επρόκειτο σύντομα να αλλάξει. Η ανακάλυψη των ηλεκτρονίων έδειξε ότι το άτομο είναι σύνθετο και αποτελείται από μικρότερα σωματίδια. Το πυρηνικό πρότυπο έδωσε μία λεπτομερέστερη εικόνα της ατομικής δομής. Η ανακάλυψη της φυσικής ραδιενέργειας έδειξε ότι

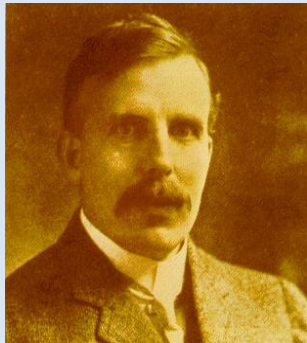
τουλάχιστον μερικά άτομα–στοιχεία μπορούν ν' αλλάξουν αυθόρμητα. Έτσι, ένας νέος κλάδος της χημείας, η Πυρηνική Χημεία, άνοιξε.

Η πυρηνική χημεία ασχολείται με μεταβολές οι οποίες γίνονται στον πυρήνα του ατόμου. Τα συνηθισμένα χημικά φαινόμενα (οι αντιδράσεις) είναι αποτέλεσμα των μεταβολών που γίνονται στις ηλεκτρονικές στιβάδες και συνήθως στην τελευταία. Αυτές οι χημικές μεταβολές είναι ευαίσθητες στις εξωτερικές συνθήκες, όπως π.χ. θερμοκρασία και πίεση. Αντίθετα, τα πυρηνικά φαινόμενα δεν επηρεάζονται από αυτές.

Στην πυρηνική χημεία οι μεταστοιχειώσεις είναι ένα φυσιολογικό γεγονός. Τέτοιες μεταβολές λέγονται πυρηνικές αντιδράσεις. Γύρω στο 1903 ο Rutherford

υποστήριξε θεωρητικά ότι οι μεταστοιχειώσεις γίνονται αυθόρμητα στη φύση και μόνο στα ραδιενεργά στοιχεία. Όμως, περί το 1919 ο ίδιος πέτυχε την πρώτη τεχνητή μεταστοιχείωση «βομβαρδίζοντας» άτομα αζώτου με σωματίδια άλφα (δηλαδή πυρήνες του στοιχείου ήλιου). Έτσι προέκυψαν άτομα οξυγόνου με ταυτόχρονη παραγωγή πρωτονίων. Έκτοτε η μελέτη των πυρηνικών αντιδράσεων έγινε ένας κυρίαρχος τομέας της έρευνας. Η πυρηνική τεχνολογία, η οποία υπήρξε το αποτέλεσμα της έρευνας αυτής, μάλιστα, γιγαντώθηκε με απροσμέτρητες επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή. Μάλιστα αυτή οδήγησε και στην ισχύουσα κοσμολογική άποψη για την αρχή (θεωρία της μεγάλης έκρηξης,

Big bang), τη ζωή και τον τρόπο «θανάτου» του σύμπαντος.



Οι Rutherford (πάνω) και Soddy (κάτω) δημοσίευσαν το 1902 μία από τις πρώτες εργασίες που αναφέρονται στη ραδιενέργεια. «...Rutherford, αυτή είναι μία μεταστοιχείωση» αναφώνησε ο Soddy κατά τη μελέτη της μετατροπής του ραδίου σε ραδόνιο και σωματίδια α. «Για το όνομα του θεού μη τη λες μεταστοιχείωση θα μας κόψουν το κεφάλι σαν αλχημιστές», αντιφώνησε ο Rutherford. (Scientific American, Αύγουστος 1966)

5.1 Ραδιενεργός διάσπαση – Χρόνος υποδιπλασιασμού – Συνέπειες ραδιενέργειας για τον άνθρωπο – Πηγές ραδιενέργειας

Βασικές έννοιες

Ήδη έχουν αναφερθεί οι βασικοί συμβολισμοί και έννοιες γύρω από τη δομή του ατόμου και του πυρήνα (κεφάλαιο 1). Έτσι, στον συμβολισμό A_ZX ξέρει κανείς ότι το A

είναι ο μαζικός αριθμός (άθροισμα πρωτονίων και νετρονίων) και Z ο ατομικός αριθμός. Ο τελευταίος εκφράζει τον αριθμό των πρωτονίων του πυρήνα, που είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων για ένα ουδέτερο άτομο. Μάλιστα, δύο ή περισσότερα άτομα με ίδιο αριθμό πρωτονίων αλλά

διαφορετικό μαζικό αριθμό καλούνται ισότοπα του ίδιου χημικού στοιχείου.

Τα ισότοπα μπορεί να είναι σταθερά ή ασταθή. Ένα σταθερό ισότοπο δεν παθαίνει ραδιενεργό διάσπαση. Αντίθετα, ένα ασταθές ισότοπο διασπάται ραδιενεργά και μεταπίπτει σε ένα σταθερό ισότοπο, συνήθως άλλου στοιχείου. Τα περισσότερα στοιχεία με $Z < 83$ έχουν τουλάχιστον ένα σταθερό ισότοπο. Ο μέσος όρος ισοτόπων που έχει κάθε στοιχείο είναι τρία. Ο όρος ισότοπο χρησιμοποιείται, όταν αναφέρεται κανείς σε δύο ή περισσότερους πυρήνες. Όταν αναφέρεται σε έναν πυρήνα με δοσμένα A και Z , είναι προτιμότερος ο όρος νουκλίδιο. Έτσι, μπορεί

να πει κανείς ότι τα $^{16}_8\text{O}$ και $^{18}_8\text{O}$ είναι ισότοπα του οξυγόνου, ενώ το $^{16}_8\text{O}$ είναι ένα νουκλίδιο (του οξυγόνου).

Η σταθερότητα ή όχι ενός πυρήνα – νουκλιδίου είναι αποτέλεσμα δύο αντιθέτων δυνάμεων: των απωστικών δυνάμεων Coulomb μεταξύ των πρωτονίων, και των πυρηνικών ελκτικών δυνάμεων, οι οποίες είναι ισχυρότατες, αλλά έχουν ελάχιστη εμβέλεια. Όσο λοιπόν μεγαλώνει η τιμή του Z , τόσο οι δυνάμεις Coulomb αρχίζουν να υπερισχύουν των ελκτικών και ο πυρήνας γίνεται ασταθέστερος.

- Γιατί το A_r του ισοτόπου αυτού του Hg τελικά είναι 199,9683 ;

Παράδειγμα 5.1

Ποια θα έπρεπε να είναι η ακριβής σχετική ατομική μάζα, A_r , του $^{200}_{80}\text{Hg}$ ισотоππου του υδραργύρου;

Δίνεται ότι για το νετρόνιο και πρωτόνιο έχουν μάζες 1,008665 και 1,007825 αντίστοιχα.

ΛΥΣΗ

Το δεδομένο ισότοπο του Hg έχει 80 πρωτόνια και βέβαια $200 - 80 = 120$ νετρόνια. Με βάση το γεγονός ότι τα ηλεκτρόνια δε συνεισφέρουν στη μάζα του ατόμου, το αναμενόμενο A_r θα ισούται με το άθροισμα των μαζών των νουκλεονίων.

$$\text{Άρα } A_r = 80 \cdot 1,007825 + 120 \cdot 1,008665 = 201,66580$$

Εφαρμογή

Το υδρογόνο αποτελείται από δύο κύρια ισότοπα. Το ${}^1_1\text{H}$ και το ${}^2_1\text{H}$ με σχετική αφθονία 99,985% και 0,015% αντίστοιχα. Με βάση το δεδομένο αυτό να υπολογιστεί το A_r του υδρογόνου; Η απάντηση να δοθεί με 4 δεκαδικά ψηφία και να συγκριθεί με εκείνη των πινάκων.

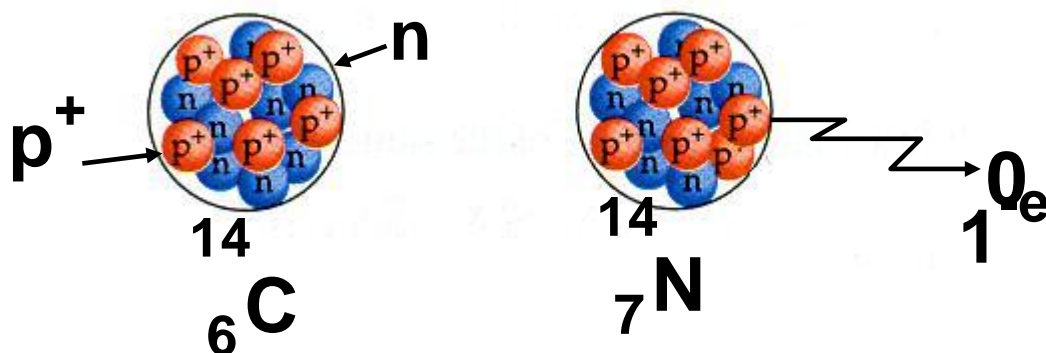
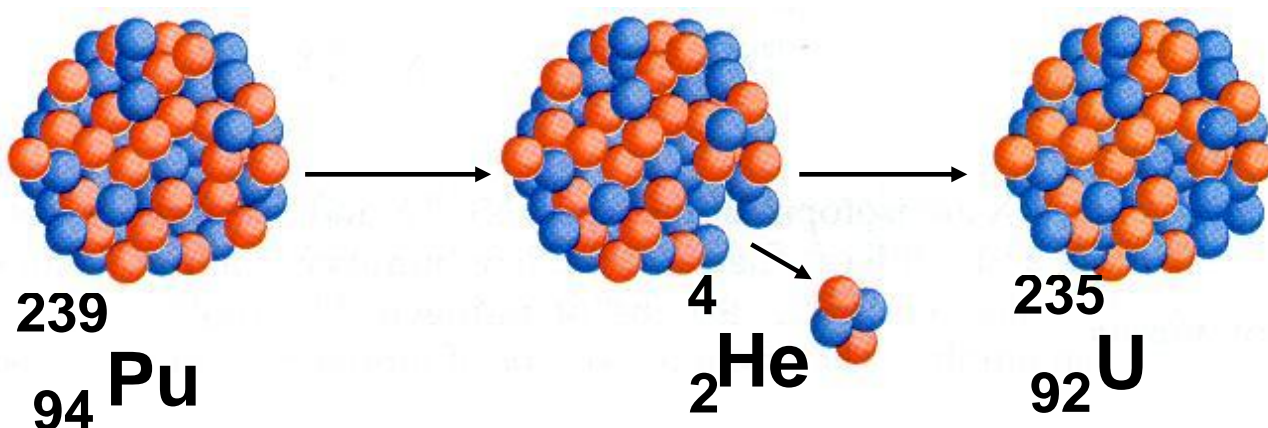
Η ραδιενέργεια

Η φυσική ραδιενέργεια ανακαλύφθηκε τυχαία το 1895 από τον Henry Becquerel. Αυτός, μελετώντας φαινόμενα φθορισμού, παρατήρησε ότι ένα ορυκτό του ουρανίου (μετάλλου χωρίς ιδιαίτερη αξία την εποχή εκείνη) εκπέμπει μία ακτινοβολία η οποία διαπερνά το περικάλυμμα μιας φωτογραφικής

πλάκας. Στη συνέχεια το θέμα μελετήθηκε από το ζεύγος Curie, το οποίο μάλιστα έδωσε και το όνομα στο φαινόμενο. Οι σχετικές έρευνές τους κατέληξαν στην ανακάλυψη δύο ακόμη, πέρα από το ουράνιο, ραδιενεργών στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά είναι τα ράδιο και πολώνιο. Για την προσφορά τους αυτή τιμήθηκαν και οι τρεις με βραβείο Nobel το 1903.

Ραδιενέργεια ονομάζεται η ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται κατά τη ραδιενεργό αποσύνθεση (διάσπαση) ασταθών πυρήνων (νουκλιδίων) προς σταθερότερους πυρήνες. Η διάσπαση αυτή ακολουθείται από εκπομπή σωματιδίων και (όχι πάντα) ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα σωματίδια και η ακτινοβολία συνιστούν τη ραδιενέργεια.

Σε μία τέτοια διαδικασία ο ασταθής μητρικός πυρήνας αποσυντίθεται - διασπάται - στο θυγατρικό πυρήνα, ο οποίος με τη σειρά του είναι είτε σταθερός είτε ραδιενεργός.



ΣΧΗΜΑ 5.1 Ραδιενεργός διάσπαση με εκπομπή:
 α. πυρήνων ηλίου (σωματίδια α)
 β. ηλεκτρονίων (σωματίδια β)



Becquerel (1852-1908): ανακάλυψε τη ραδιενέργεια το 1896. Για την εργασία του αυτή τιμήθηκε με βραβείο Νόμπελ το 1903.



Η Marie Curie (1867-1934): τιμήθηκε με δύο βραβεία Νόμπελ Χημείας, το 1903 και 1911, για την προσφορά της στη διερεύνηση του φαινομένου της ραδιενέργειας. Πέθανε από κακοήθη αναιμία, πιθανόν από την πολυετή της έκθεση στις ακτινοβολίες.



Το ζεύγος Πιέρ και Μαρί Κιουρί με την κόρη τους Ιρέν, η οποία επίσης τιμήθηκε με βραβείο Νόμπελ το 1953 για την ανακάλυψη νέων ραδιενεργών στοιχείων. Τρία βραβεία Νόμπελ Χημείας, μία

μονάδα μέτρησης (Curie) και ένα τεχνητό στοιχείο (κιούριο), που φέρουν το όνομά τους, ήταν η συγκομιδή της οικογένειας Κιουρί ως επιβράβευση της προσφοράς της στη μελέτη της ραδιενέργειας.

Οι πρώτες μελέτες του Rutherford το 1899 στο Πανεπιστήμιο MacGil του Μόντρεαλ στον Καναδά, έδειξαν ότι η ραδιενέργεια η οποία εκπέμπεται από το ουράνιο ή το θόριο διαχωρίζεται σε τρεις διαφορετικούς τύπους ακτίνων. Όταν η ακτινοβολία αυτή περάσει μέσα από ισχυρό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, οι δύο πρώτοι τύποι ακτίνων αποκλίνουν αντίθετα ο ένας από τον άλλο (λόγω του αντιθέτου φορτίου τους), ενώ ο τρίτος δεν αποκλίνει καθόλου, επειδή δεν έχει φορτίο (βλέπε σχήμα 5.2).

Ο Rutherford τις ονόμασε ακτίνες α , β και γ , αντίστοιχα. Οι ακτίνες άλφα αποδείχτηκε ότι είναι σωματιδιακής φύσης. Κάθε σωματίδιο έχει μάζα τετραπλάσια από εκείνη του ατόμου του υδρογόνου και φορτίο διπλάσιο εκείνου του ηλεκτρονίου, με αντίθετο όμως απ' αυτό πρόσημο. Άρα, το σωματίδιο άλφα είναι ένας πυρήνας ηλίου. Οι ακτίνες βήτα αποδείχτηκε ότι είναι ταυτόσημες με τις καθοδικές ακτίνες. Είναι, δηλαδή, ένα ρεύμα ηλεκτρονίων από τα οποία το καθένα έχει μάζα ίση με το $1/1837$ της μάζας του ατόμου του υδρογόνου και φορτίο ίσο με -1 .

Οι ακτίνες γάμα είναι πράγματι, με την κλασική έννοια, ακτίνες. Πρόκειται για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, «φως», παρόμοια με εκείνη των ακτίνων X, αλλά με

μικρότερο μήκος κύματος και μεγαλύτερη διεισδυτικότητα από αυτές.



Φθορισμός είναι η ιδιότητα που έχουν μερικές ουσίες να απορροφούν ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (ακτίνες γ , X , UV) ή ενέργεια από ταχέως κινούμενα σωματίδια και να την επανεκπέμπουν με ορατό φως.

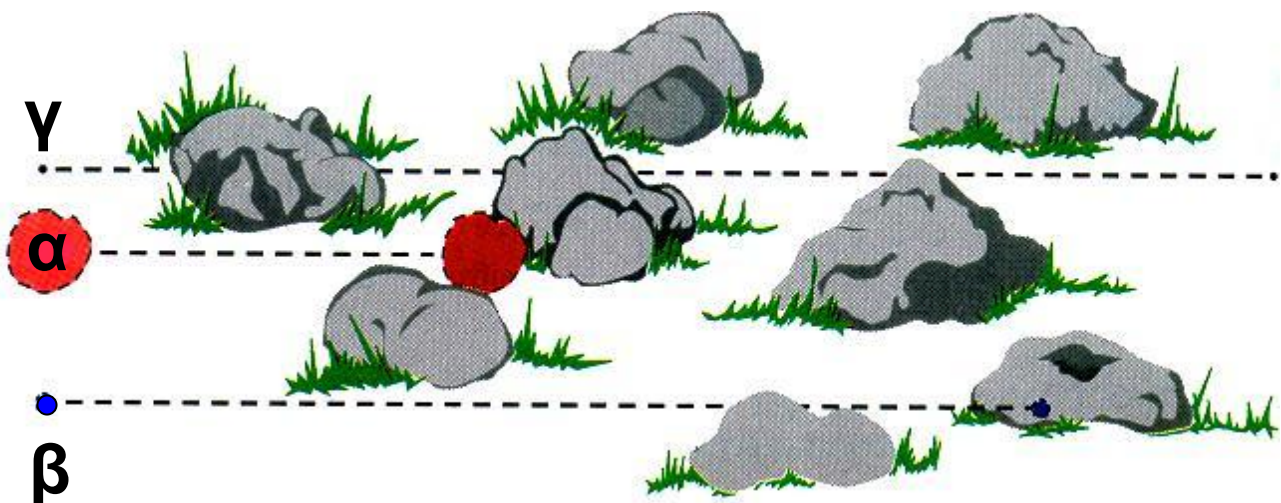
Πολλά ρολόγια έχουν φθορίζοντες δείκτες από $RaSO_4$ σε αναλογία 1:100 000 με ZnS που είναι η φθορίζουσα ουσία.

- Η διεισδυτική ικανότητα των ραδιενεργών ακτίνων ποικίλλει. Έτσι, οι ακτίνες άλφα διαπερνούν πολύ λεπτά μεταλλικά ελάσματα, αλλά σταματούν σε ένα φύλλο συνηθισμένο χαρτί. Οι ακτίνες βήτα**

διαπερνούν λεπτά μεταλλικά ελάσματα, ενώ οι ακτίνες γάμα διαπερνούν μεταλλικά φύλλα μολύβδου πάχους μέχρι και ≈ 25 cm.

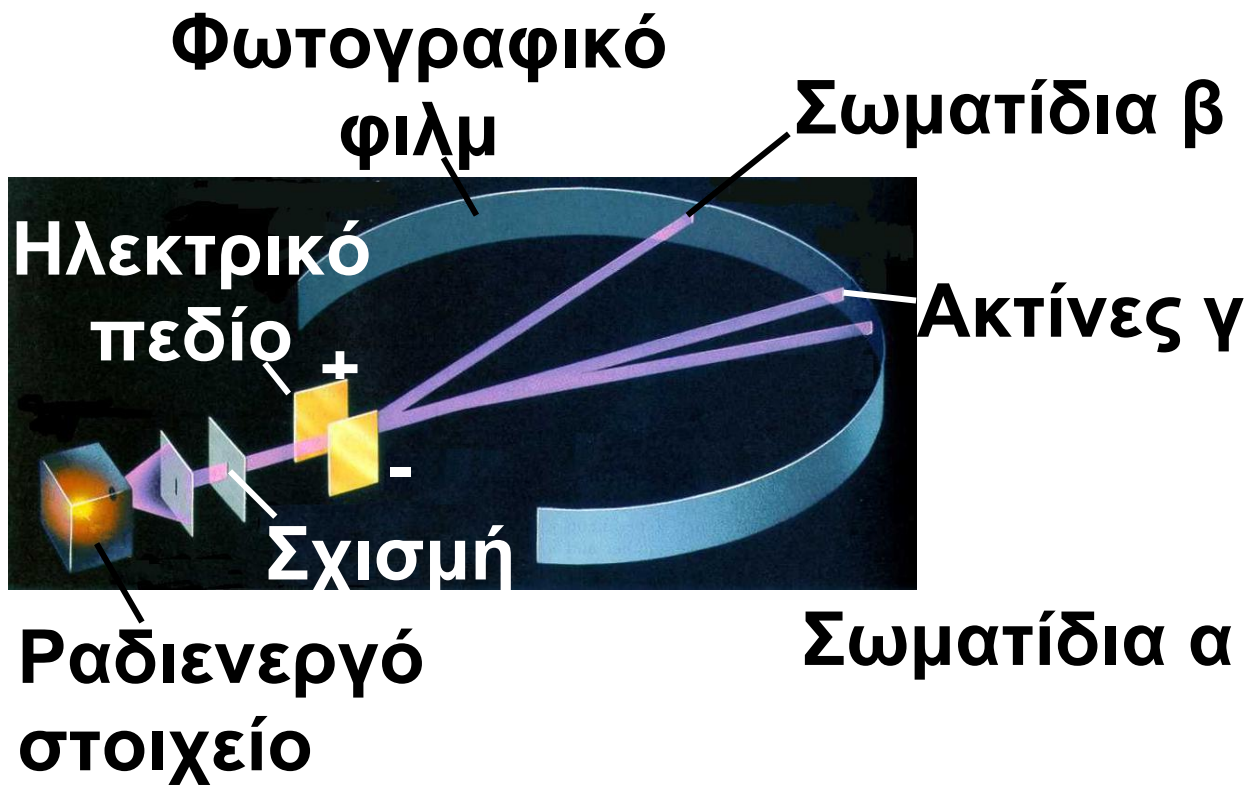
Η σχετική διεισδυτική ισχύς τους είναι αντίστοιχα:

$$\alpha:\beta:\gamma = 1:100 :10\ 000$$

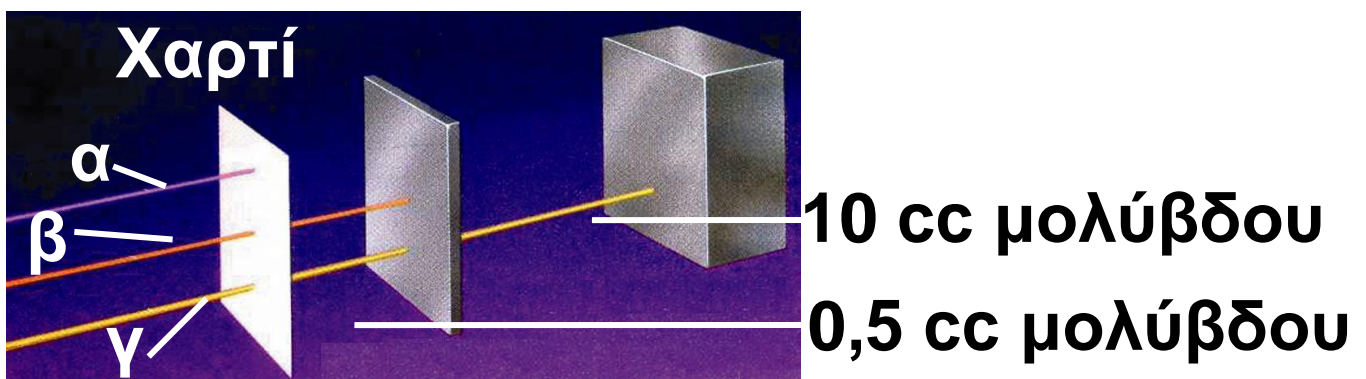


Μηχανικό ανάλογο:

Τα μεγάλα σωματίδια (π.χ. α σωματίδια) δεν περνούν εύκολα τα εμπόδια, έχουν δηλαδή μικρή διαπεραστική ικανότητα. Αντίθετα, τα μικρά (π.χ. γ σωματίδια) ταξιδεύουν πολύ περισσότερο.



ΣΧΗΜΑ 5.2 Επίδραση ηλεκτρικού πεδίου σε δέσμη α, β και γ.

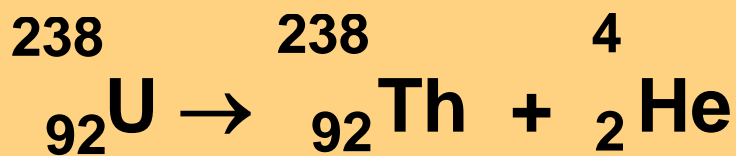


ΣΧΗΜΑ 5.3 Διαπεραστική ικανότητα ακτίνων α, β και γ. Παρατηρήστε ότι τη μεγαλύτερη διαπεραστική ικανότητα έχουν οι ακτίνες γ.

Τα παραπάνω μπορούν να συνοψιστούν στον πίνακα 5.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1 Τύποι Ραδιενέργειας			
Όνομα	άλφα	βήτα	γάμα
Σύμβολο	α	β	γ
Σχετική Μάζα	4	1/1837	0
Φορτίο	+2	-1	0
Φύση	πυρή- -νες	ηλεκτρό- -νια	ακτινοβο- λία
Διεισδυ- τικότητα	μικρή	μέτρια	μεγάλη

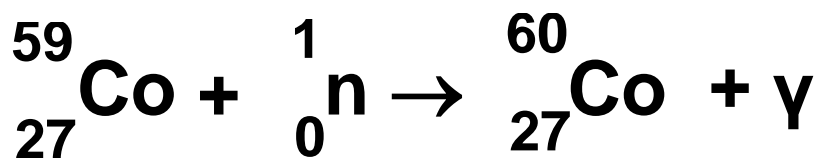
Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα μιας πυρηνικής αντίδρασης (ραδιενεργού διάσπασης) κατά την οποία παράγεται ακτινοβολία τύπου άλφα. Σαν μητρικός πυρήνας είναι το ^{238}U , ενώ το θυγατρικό νουκλίδιο είναι το ^{234}Th (θόριο 234):



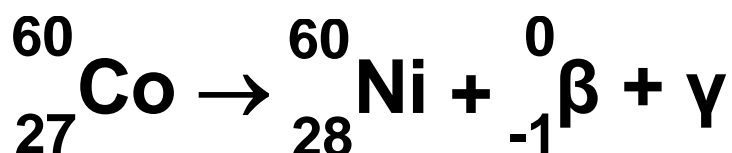
Θα πρέπει εδώ να παρατηρήσουμε ότι στις πυρηνικές αντιδράσεις το άθροισμα των μαζικών και των ατομικών αριθμών παραμένει σταθερό.

Εκτός από τα φυσικά ραδιενεργά ισότοπα υπάρχουν και τα τεχνητά ή ραδιοϊσότοπα. Αυτά παρασκευάζονται με «βομβαρδισμό» σταθερών πυρήνων με βραδέα νετρόνια. Βραδέα, τόσο, όσο να δεσμεύονται από τους πυρήνες χωρίς αυτοί να διασπώνται. Προκύπτουν κατ' αυτό τον τρόπο ισότοπα των αρχικών πυρήνων – στοιχείων. Κλασικό παράδειγμα είναι η παραγωγή του κοβαλτίου 60, το οποίο χρησιμο-

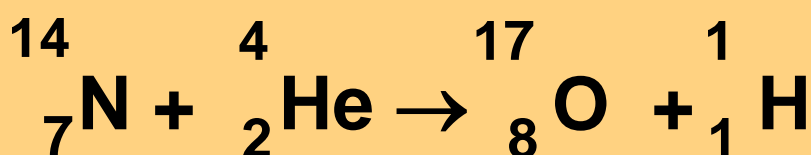
ποιείται στην καταπολέμηση κακοήθων όγκων. Αυτό παράγεται με τη δράση:



Το παραγόμενο ραδιοϊσότοπο του κοβαλτίου διασπάται προς νικέλιο:

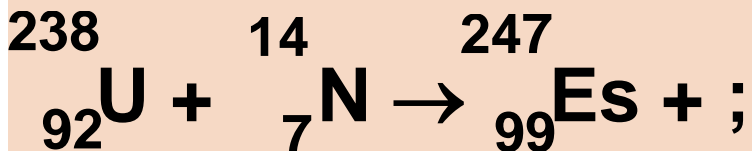


Η πρώτη ιστορικά «τεχνητή μεταστοιχείωση» είναι εκείνη του Rutherford (1919), κατά την οποία το άζωτο μετατρέπεται σε οξυγόνο:



Παράδειγμα 5.2

Μία από τις πλέον ενδιαφέρουσες εφαρμογές των πυρηνικών αντιδράσεων στους υψηλής ενέργειας επιταχυντές ήταν και η σύνθεση των νέων υπερουρανίων στοιχείων. Έτσι, το υπ' αριθμό 99 στοιχείο (Αϊνστάινιο) συντέθηκε από την παρακάτω πυρηνική αντίδραση:



Συμπληρώστε το σωματίδιο που λείπει.

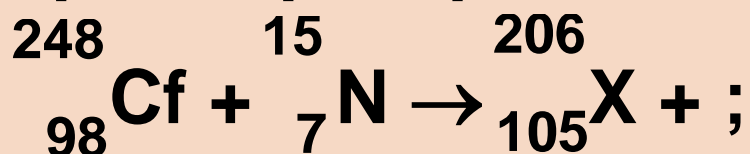
ΛΥΣΗ

Επειδή στις πυρηνικές αντιδράσεις το άθροισμα των ατομικών και μαζικών αριθμών πρέπει να διατηρείται, έπεται ότι το σωματίδιο που λείπει θα έχει ατομικό αριθμό $(92+7)-99 = 0$ και μαζικό αριθμό

$(238+14)-247 = 5$. Άρα πρόκειται για 5 νετρόνια ($5 n$).

Εφαρμογή

Το υπ' αριθμόν 105 στοιχείο (χάνιο ή εναμηδενπέμπτιο κατά IUPAC) συντέθηκε με την παρακάτω πυρηνική αντίδραση:



Συμπληρώστε αυτό που λείπει.

Χρόνος υποδιπλασιασμού (ημιζωή)

Οι ραδιενεργές διασπάσεις και γενικότερα οι πυρηνικές αντιδράσεις, σε αντίθεση με τις συνήθεις χημικές αντιδράσεις, δεν επηρεάζονται από μεταβολές θερμοκρασίας και πίεσης (μέσα σε κάποια

όρια βέβαια). Επίσης, με ελάχιστες εξαιρέσεις, δεν επηρεάζονται από τη χημική (χημικός τύπος ένωσης) και φυσική κατάσταση της ουσίας η οποία διασπάται. Η ταχύτητα της πυρηνικής δράσης εξαρτάται μόνο από τη φύση του ραδιενεργού ισοτόπου (υλικού).

Ένας τρόπος για να εκφράσει κανείς την ταχύτητα με την οποία ένα ραδιενεργό ισότοπο διασπάται, άρα έμμεσα και την σχετική σταθερότητά του, είναι ο λεγόμενος χρόνος υποδιπλασιασμού.

➤ Χρόνος υποδιπλασιασμού (ημιζωή), $t_{1/2}$, είναι ο χρόνος ο οποίος απαιτείται, ώστε να διασπαστεί η μισή από την αρχική ποσότητα του ραδιενεργού υλικού.

Ο χρόνος υποδιπλασιασμού αποτελεί μέτρο της σταθερότητας

της ραδιενεργού ουσίας, δηλαδή, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του $t_{1/2}$, τόσο σταθερότερο είναι το ισότοπο. Είναι φανερό ότι μετά την πάροδο χρόνου ίσου με $t_{1/2}$ έχει παραμείνει το μισό της αρχικής ποσότητας. Μετά την πάροδο $2 t_{1/2}$ θα έχει μείνει το $1/4$ (ή $(1/2)^2$) της αρχικής ποσότητας κλπ, όπως φαίνεται διαγραμματικά στο σχήμα που ακολουθεί. Δηλαδή, γενικώς ισχύει:

$$m = (1/2)^v m_0$$

m : η ποσότητα της ραδιενεργού ουσίας που έχει παραμείνει

m_0 : η αρχική ποσότητα της ραδιενεργού ουσίας

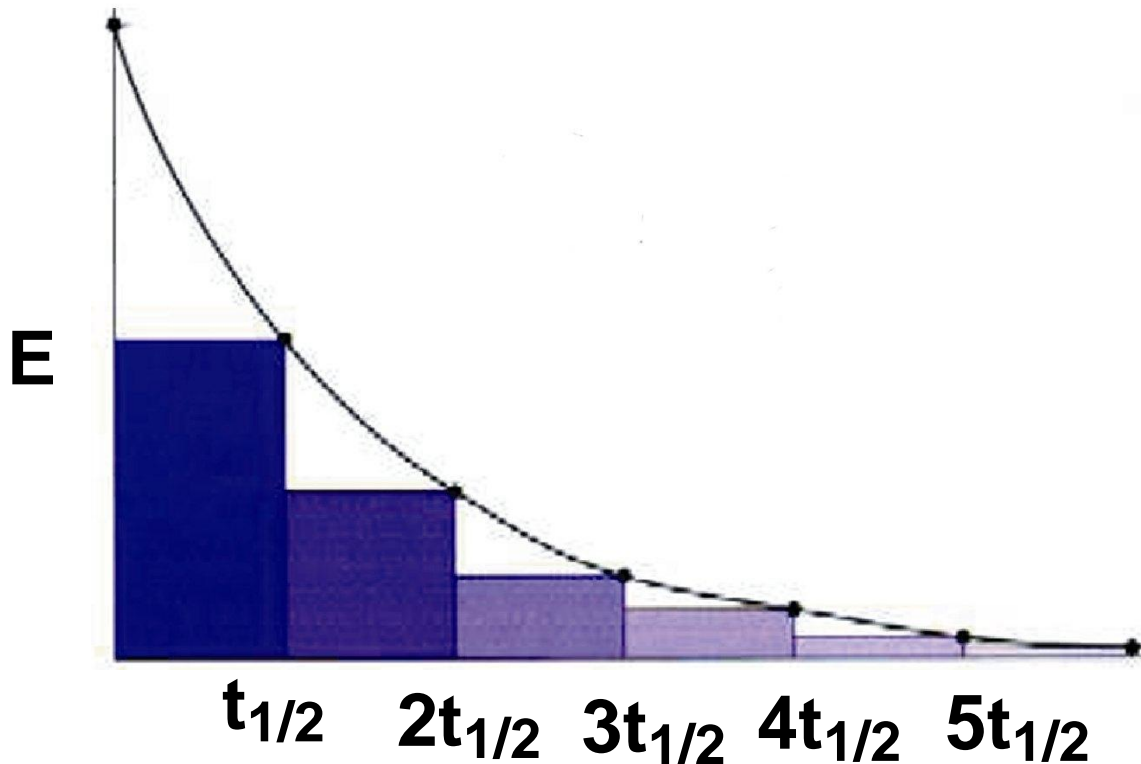
v : ο αριθμός των ημιζωών

- Από την παραπάνω σχέση, αν είναι γνωστά τα m και m_0 ,

υπολογίζεται το v , άρα και η ηλικία του δείγματος.

$$\text{Είναι } v = \log(m/m_0) \cdot (-0,301)$$

$$\text{και } t = v \cdot T_{1/2}$$



ΣΧΗΜΑ 5.4 Εικονική παρουσίαση της ραδιενεργού διάσπασης



Με βάση το χρόνο υποδιπλασιασμού του ουράνιου - 236 προς, τελικά, το σταθερό μόλυβδο - 206, εκτιμήθηκε ότι η

ηλικία της γης είναι μεταξύ 4 και 6 δισεκατομμυρίων ετών, με πιθανότερη τιμή τα 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια. Τα δείγματα τα οποία έφεραν στη Γη από τη Σελήνη οι Απόλλων 11 και 12 έδειξαν ότι η ηλικία της Σελήνης είναι 3,6 - 4,2 δισεκατομμύρια χρόνια.

- Χρόνοι υποδιπλασιασμού μερικών κοινών ισοτόπων

Ισότοπο

$t_{1/2}$

^{238}U

4,5·10⁹ χρόνια

^3H

12,3 χρόνια

^{14}C

5,7·10³ χρόνια

^{32}P

14,3 ημέρες

^{60}Co

5,27 χρόνια

^{131}I

8,04 ημέρες

^{15}O

118 s

^{94}Kr

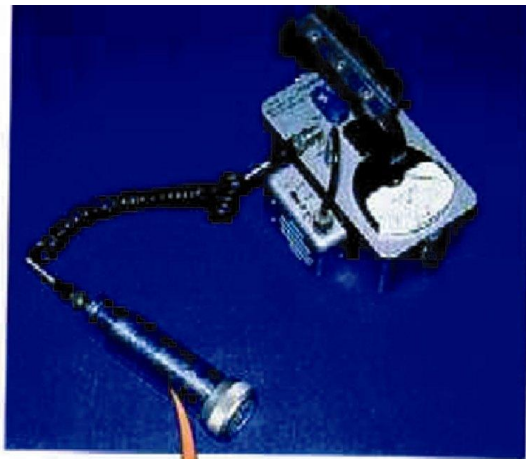
1,4 s

Ο σχετικά απλούστερος τρόπος για να εκτιμηθεί η ταχύτητα μιας ραδιενεργού διάσπασης είναι να μετρηθεί ο αριθμός των σωματιδίων α ή β τα οποία παράγονται από ένα δείγμα ορισμένης μάζας της ουσίας και για ορισμένο χρόνο. Τα εκπεμπόμενα σωματίδια μετριοούνται με όργανα, όπως ο απαριθμητής Geiger-Muller ή ο απαριθμητής σπινθηρισμών (σπινθηροσκόπιο). Ο αριθμός των κτύπων στο μετρητή Geiger είναι ανάλογος της ποσότητας της ραδιενεργού ουσίας η οποία είναι παρούσα.

- Η ραδιενέργεια ανήκει στις ιονίζουσες ακτινοβολίες, γιατί προκαλεί σχηματισμό ιόντων στην ύλη, απομακρύνοντας ηλεκτρόνια από τα άτομα και τα μόρια.

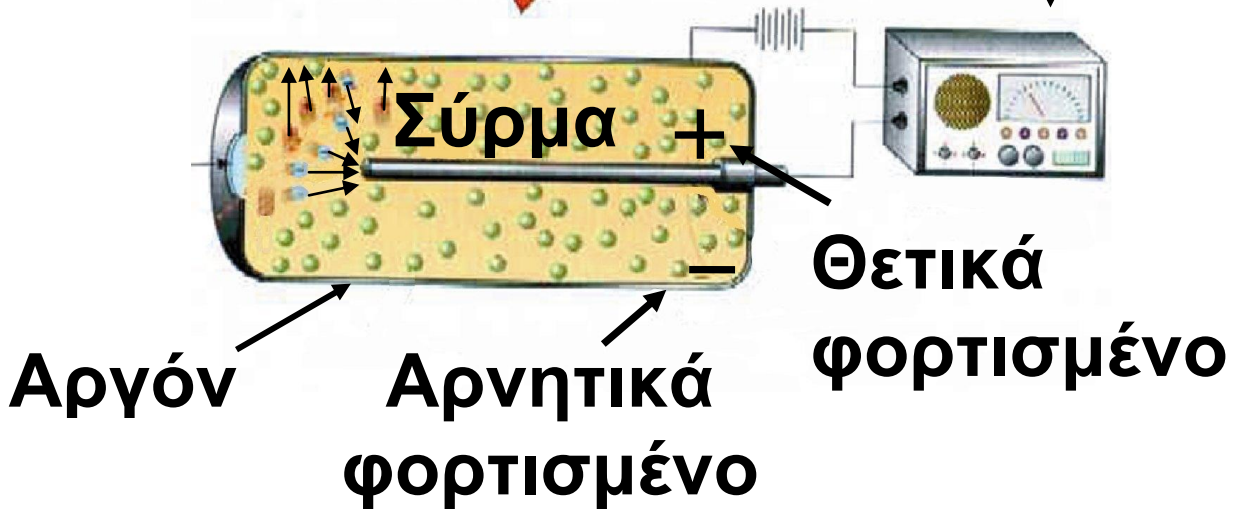
Τα σωματίδια άλφα εκπέμπονται με ταχύτητες της τάξης των $16\ 000\ \text{Km}\ \text{s}^{-1}$. Τα σωματίδια βήτα έχουν ταχύτητες που αρχίζουν από το μηδέν και φτάνουν το 99% της ταχύτητας του φωτός.

Τα σωματίδια άλφα παράγουν από $50\ 000$ – $100\ 000$ ζεύγη ιόντων (ένα θετικό ιόν και ένα ηλεκτρόνιο) ανά cm αέρα που διανύουν .



Ενισχυτής
και απαριθμητής

Μπαταρία



ΣΧΗΜΑ 5.5 Αρχή λειτουργίας του μετρητή Geiger - Muller. Η ραδιενεργός ακτινοβολία εισέρχεται στο θάλαμο και ιοντίζει τα άτομα ενός ευγενούς αερίου. Έτσι, παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο αφού ενισχυθεί καταγράφεται.

Παράδειγμα 5.3

Ποια ποσότητα από τα 10,0 g του ραδιενεργού ^{15}O θα παραμείνει μετά την πάροδο 8 min, αν είναι γνωστό ότι ο χρόνος υποδιπλασιασμού του ^{15}O είναι 2 min;

ΛΥΣΗ

Υπολογίζεται αρχικά ο αριθμός των ημιζωών στο δοσμένο χρόνο: είναι $n = 8,0 \text{ min} / 2,0 \text{ min} \cdot (\text{ημιζωή})^{-1} = 4$ ημιζωές. Συνεπώς, η ποσότητα που παραμένει είναι :

$$m = (1/2)^n \cdot m_0 \rightarrow m = (1/2)^4 \cdot 10,0 \text{ g} = 1/16 \cdot 10,0 = 0,63 \text{ g}$$

Εφαρμογή

Το ραδιενεργό ^{90}Sr έχει $t_{1/2} = 29$ χρόνια . Ποια ποσότητα θα παραμείνει μετά από 87 χρόνια, αν αρχικά υπήρχαν 2,00 g αυτού;

Μονάδες ραδιενέργειας

Η ένταση της ραδιενέργειας μπορεί να εκφραστεί με πολλούς τρόπους:

A. Μονάδες που εκφράζουν το επίπεδο ραδιενέργειας ενός υλικού

1. Η συνηθέστερη μονάδα είναι το **Curie (Ci)**. Ένα Curie είναι ποσότητα ουσίας η οποία υφίσταται $3,7 \cdot 10^{10}$ ραδιενεργές διασπάσεις ανά δευτερόλεπτο.

- Το Curie είναι μία μεγάλη μονάδα. 1 Curie ραδίου π.χ. ισούται με 1 g αυτού. Στα διάφορα εργαστήρια τα μεγέθη εκφράζονται σε **millicuries**. Έχει π.χ. εκτιμηθεί ότι το ανθρώπινο σώμα περιέχει ραδιενεργά νουκλίδια τα οποία δίνουν 400 000 διασπάσεις το λεπτό ή $1,1 \cdot 10^{-5}$ Curies, δηλαδή 11 μ Curies.

2. Στο SI. μονάδα ραδιενέργειας είναι το Becquerel (Bq), που αντιστοιχεί σε μία ραδιενεργό διάσπαση ανά δευτερόλεπτο. Δηλαδή, έχουμε

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

B. Μονάδες που εκφράζουν την απορροφούμενη ακτινοβολία από έναν οργανισμό

1. Για να εκτιμήσουμε ποσοτικά τα αποτελέσματα της επίδρασης της ακτινοβολίας, θεσπίστηκε αρχικά μία μονάδα ακτινοβολίας, η οποία ονομάστηκε rad (radiation absorbed dose). Αυτή εκφράζει τη δόση ραδιενέργειας η οποία απελευθερώνει 10^{-2} J ενέργειας ανά kg βάρους του σώματος που την απορροφά.

2. Στο SI. μονάδα είναι το Gray (Gy), που αντιστοιχεί σε απορρόφηση ακτινοβολίας ενέργειας 1 J

ανά kg βάρους του σώματος.

Δηλαδή, έχουμε

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad.}$$

Γ. Μονάδες που εκφράζουν την απορροφούμενη ακτινοβολία από ένα οργανισμό σε σχέση με τις βιολογικές επιπτώσεις που προκαλούν

1 Gy ακτινοβολίας α προκαλεί 20 φορές μεγαλύτερη καταστροφή στους ανθρώπινους ιστούς από 1 Gy ακτινοβολίας γ. Το rem (radiation equivalent man) είναι μία μονάδα ραδιενέργειας που δεν εξαρτάται από το είδος της ακτινοβολίας, και εκφράζει τις βιολογικές καταστροφές που προκαλούνται στον άνθρωπο από την απορρόφηση των διαφόρων ακτινοβολιών. Δηλαδή, 1 rem είναι ποσότητα ακτινοβολίας η οποία επιφέρει ένα

συγκεκριμένο βιολογικό αποτέλεσμα. Είναι μάλιστα $1 \text{ rem} = 1 \text{ rad}$ ακτίνων X ή γ .

Επιπτώσεις της ραδιενέργειας στον άνθρωπο και κυριότερες πηγές ραδιενέργειας

Τα βιολογικά υλικά υφίστανται γενικά βλάβες από τη λεγόμενη ιονίζουσα ακτινοβολία (ακτινοβολία που προκαλεί σχηματισμό ιόντων). Αυτή μπορεί να είναι ακτίνες γ ή X, νετρόνια, σωματίδια άλφα και ηλεκτρόνια. Σχεδόν όλα αυτά μπορούν να προκύψουν από τη ραδιενέργεια. Ελεγχόμενη έκθεση του ανθρώπου σε τέτοιες ακτινοβολίες μπορεί βέβαια να έχει και ευεργετικά αποτελέσματα, όπως π.χ. καταστροφή ανεπιθύμητων ιστών (ραδιοθεραπεία των καρκινι-

κών κυττάρων). Μικρές δόσεις μαλακών ακτίνων X χρησιμοποιούνται στις ακτινογραφίες (δηλαδή φωτογραφίες με ακτίνες X) ανθρωπίνων ιστών και οστών.

Το γεγονός ότι η ραδιενέργεια προκαλεί σοβαρότατες βλάβες στον άνθρωπο είναι γνωστό ήδη από την εποχή της έκρηξης ατομικών βομβών στη Χιροσίμα και το Ναγκασάκι (1945). Το πυρηνικό ατύχημα του Cernobil το επιβεβαίωσε (1986). Ο ανθρώπινος οργανισμός είναι σταθερά εκτεθειμένος σε μία βασική, φυσική, ιονίζουσα ακτινοβολία, η οποία προέρχεται από ένα σύνολο πηγών. Έτσι, υπάρχει η κοσμική ακτινοβολία, η ακτινοβολία που προέρχεται από ραδιονουκλίδια που υπάρχουν σε βράχους, στο έδαφος, στο νερό, στον αέρα, στις τροφές κλπ. Ραδιε-

νεργά νουκλίδια υπάρχουν επίσης και μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό, όπως π.χ. το ^{40}K . Στη φυσική αυτή ραδιενεργό ακτινοβολία έχουν προστεθεί και τα προϊόντα διάσπασης από πυρηνικές δοκιμές. Αυτές μπορεί να έχουν μπει κάτω από κάποιο γενικό έλεγχο ή και να γίνονται «υπόγεια» (τελευταίες δοκιμές από Ινδία και Πακιστάν το 1998), αλλά τα παράγωγά τους θα βρίσκονται στην ατμόσφαιρα για πολλά χρόνια .

Ανθρωπογενείς επίσης πηγές ραδιενέργειας, πέρα από τα πυρηνικά όπλα και τις σχετικές τους δοκιμές, είναι οι γεννήτριες ακτίνων Χ, όπως και τα πυρηνικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και το συναφές με αυτά πρόβλημα των πυρηνικών αποβλήτων (βλέπε και σχετικό ένθετο). Τέλος

αναφέρουμε τα ραδιενεργά ισότοπα, τα οποία παράγονται για ερευνητική, εργαστηριακή και νοσοκομειακή χρήση.

Οι βλάβες στον οργανισμό από τις ακτινοβολίες αυτές οφείλονται στην ικανότητά τους να προκαλούν ιοντισμό και ηλεκτρονιακή διέγερση. Παράγονται έτσι ιόντα και ελεύθερες ρίζες, τα οποία είναι δραστικά στην όλη βιοχημική διαδικασία. Μ' αυτόν τον τρόπο, προκύπτουν βλάβες στο μεταβολισμό, όπως παρεμπόδιση στη δράση των ενζύμων και αλλαγές στα DNA και RNA.

Οι ακτίνες γ και X είναι οι επιβλαβέστερες, εφόσον εισδύουν βαθιά στον οργανισμό (βλέπε και πίνακα 5.2). Τα νετρόνια προκαλούν επίσης βλάβες σε βάθος μέσω δευτερογενών δράσεων, οι οποίες

παράγουν ραδιενεργά προϊόντα.
Έτσι π.χ. μία αντίδραση δέσμευσης
νετρονίων, όπως η ${}_{7}^{14}\text{N} (n,p) \rightarrow {}_{6}^{14}\text{C}$,
είναι δυνατόν να αλλάξει τη δομή
των αμινοξέων, άρα και των
πρωτεϊνών.

Στον πίνακα 5.2 δίνονται τα
διάφορα χαρακτηριστικά των
κυριοτέρων ακτινοβολιών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2 Χαρακτηριστικά ραδιενεργών ακτινοβολιών

ακτινοβολία	φύση	φορτίο	ενέργεια /MeV	μέση διείσδυση	
				αέρα	σώμα
ακτίνες γ	ηλεκτρ/τική	-	0,1–40	χωρίς όριο	το διαπερνά
ακτίνες χ	ηλεκτρ/τική	-	0,01-0,1	χωρίς όριο	βαθιά
α	σωματίδια	2	4-10	4-10 cm	ρούχα, δέρμα
β^-	σωματίδια	-1	0,025-2	μερικά cm	λίγα mm

Η ραδιενέργεια δρα στον οργανισμό με δύο τρόπους. Ο ένας είναι καθαρά σωματικός και ο άλλος γενετικός. Στην πρώτη περίπτωση το ίδιο το άτομο υφίσταται τη βλάβη. Στη δεύτερη, οι βλάβες μπορούν να μεταβιβαστούν και στις επόμενες γενιές. Οι σωματικές βλάβες μπορεί να είναι βραχύβιες ή και μακροχρόνιες. Στις πρώτες τα αποτελέσματα εκδηλώνονται σύντομα μετά την έκθεση, ενώ οι δεύτερες εμφανίζονται μετά από μήνες ή και χρόνια. Στον πίνακα 5.3 δίνονται τα βιολογικά αποτελέσματα (βλάβες) από έκθεση σε διάφορες δόσεις ακτινοβολιών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3 Επιδράσεις ακτινοβολίας στον οργανισμό

Δόση (rem)	κλινικό αποτελέσματα
25	μείωση των λευκών αιμοσφαιρίων
25-100	ναυτία, κόπωση, αιματολογικές αλλοιώσεις
100-200	ναυτία, εμετοί, κόπωση, πιθανός θάνατος από μολύνσεις λόγω μείωσης λευκών αιμοσφαιρίων
200-400	θανατηφόρα δόση για το 50% των εκτεθέντων, ιδιαίτερα αν μείνουν χωρίς θεραπεία. Βλάβες στη σπλήνα και το μυελό των οστών.
> 600	θανατηφόρα έστω και με θεραπεία.

Ειδικότερα δόσεις μεταξύ 200 και 700 rem επικεντρωμένες όμως σε ορισμένη περιοχή του σώματος προκαλούν μόνο τοπικές βλάβες. Ανάμεσα σ' αυτές είναι εγκαύματα από ακτίνες Χ, βλάβες στους οφθαλμούς (π.χ. καταρράκτης) και στείρωση. Τα πλέον ευαίσθητα όργανα στη ραδιενέργεια είναι τα μάτια, η κοιλιακή χώρα, ο μυελός των οστών, η σπλήνα και τα όργανα αναπαραγωγής . Το πλέον σαφές αποτέλεσμα της έκθεσης είναι η λευχαιμία. Όσον αφορά στις γενετικές βλάβες, αυτές, επηρεάζοντας τα DNA και RNA, καταλήγουν σε μετάλλαξη.

Το ανθρώπινο σώμα δέχεται μία φυσική ακτινοβολία της τάξεως των 0,1 rem το χρόνο. Επιπλέον, άτομα εκτεθειμένα σε ιατρικές χρήσεις,

στην έγχρωμη TV, σε αεροπορικά ταξίδια δέχονται μία πρόσθετη ακτινοβολία 0,2 rem το χρόνο. Το μέγιστο επιτρεπτό – ανεκτό όριο για όλο το σώμα και το μέσο άνθρωπο είναι τα 0,5 rem το χρόνο. Ειδικότερα το όριο για τα όργανα αναπαραγωγής είναι μικρότερο των 5 rem για διάρκεια 30 χρόνων.

5.2 Μερικές εφαρμογές των ραδιοϊσοτόπων

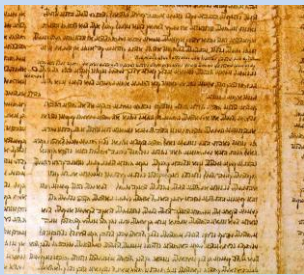
Ραδιοχρονολόγηση με άνθρακα

Ένα ραδιενεργό ισότοπο του άνθρακα, το οποίο έχει ιδιαίτερη σημασία σε πολλά επιστημονικά πεδία, είναι το $^{14}_6\text{C}$. Αυτό έχει χρόνο ημιζωής 5760 χρόνια. Το ισότοπο αυτό παράγεται συνεχώς στην ατμόσφαιρα από το «βομβαρδι-

σμό» του N_2 από την κοσμική ακτινοβολία. Ο ρυθμός με τον οποίο το ισότοπο αυτό διασπάζεται εξισορροπείται από το ρυθμό με τον οποίο παράγεται. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μία περίπου σταθερή συγκέντρωση του ^{14}C στην ατμόσφαιρα για σχετικά μεγάλες χρονικά περιόδους. Παλιότερα πολλοί υποστήριζαν ότι η συγκέντρωση αυτή παραμένει σταθερή. Νεότερες όμως παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι αυτή αλλάζει κατά καιρούς και οι αλλαγές αυτές αποδίδονται στην ηλιακή δραστηριότητα (π.χ. κηλίδες, εκρήξεις).

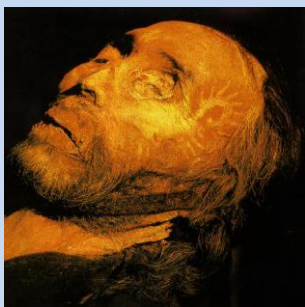
Το ισότοπο αυτό ^{14}C δημιουργεί ραδιενεργό διοξείδιο του άνθρακα, $^{14}CO_2$, το οποίο αφομοιώνεται από τα φυτά και εισέρχεται έτσι στην τροφική αλυσίδα. Όταν ο οργανι-

σμός πεθάνει, η αφομοίωση αυτή σταματά. Τότε ο λόγος $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ (το σταθερό ισότοπο του άνθρακα) μειώνεται σταθερά συναρτήσει του χρόνου που μεσολαβεί μετά το θάνατο. Ο χρόνος δηλαδή που έχει παρέλθει από το θάνατο ενός οργανισμού μπορεί να μετρηθεί μέσα από τον λόγο $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$.



Με τη ραδιοχρονολόγηση με C επιτυγχάνεται ακρίβεια ± 200 χρόνια και υπολογισμοί μέχρι 20 000 χρόνια. Έτσι, για παράδειγμα ο μάλλινος φάκελος που περιείχε τα χειρόγραφα της Νεκράς θάλασσας βρέθηκε να είναι 1917 ± 200 ετών. Τα παλαιότερα ευρήματα από τον προϊστορικό άνθρωπο (εικόνες από τα σπήλαια Lascaux) έχουν ηλικία $15\,516 \pm 900$ χρόνια.

• Πλην του ^{14}C και άλλα ισότοπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ραδιοχρονολόγηση. Μεταξύ αυτών τα ^{238}U και ^{232}Th έχουν ιδιαίτερη σημασία μια και σχηματίστηκαν ταυτόχρονα με τη δημιουργία της γης. Αυτά διασπώνται ραδιενεργά δίνοντας τελικά αέριο He το οποίο μένει παγιδευμένο μέσα στα ορυκτά τους.



Η ηλικία του «Ευρωπαίου της Κίνας» βρέθηκε περίπου 3000 χρόνων με τη βοήθεια της ραδιοχρονολόγησης με άνθρακα.

Η ραδιοχρονολόγηση με τη μέτρηση του λόγου αυτού σε οργανική ύλη (ξύλα, οστά κ.λ.π.) είναι ευρύτατα διαδεδομένη. Γίνονται εκτιμήσεις

από λίγες εκατοντάδες χρόνια μέχρι περίπου 50 000 χρόνια.

Όμως η ανακάλυψη ότι η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του ^{14}C ήταν μεγαλύτερη πριν από κάποιες χιλιάδες χρόνια επέβαλε την αναθεώρηση στη μέθοδο. Αιτία για την ανακάλυψη αυτή είναι η διάσπαση στα αποτελέσματα του άνθρακα με εκείνα τα οποία προέρχονται από τη δενδροχρονολόγηση. Η τελευταία είναι μία μέθοδος υπολογισμού της ηλικίας μέσα από τους δακτυλίους των κορμών των δένδρων και αποδείχτηκε ακριβέστερη εκείνης του άνθρακα. Πάντως η μέθοδος με τον ^{14}C εξακολουθεί να είναι εν χρήσει, κυρίως για την πιστοποίηση της αυθεντικότητας των έργων τέχνης.

Εφαρμογές στην ιατρική

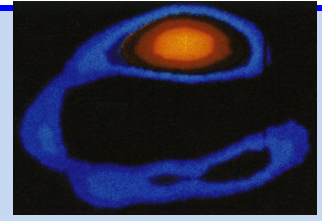
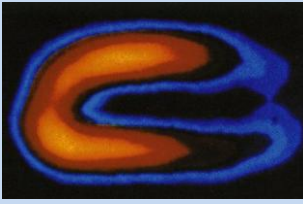
Η χρήση ραδιοϊσοτόπων στην ιατρική καλύπτει πολλές εφαρμογές, τόσο στη διαγνωστική, όσο στη θεραπευτική (πυρηνική ιατρική).

Ραδιοθεραπεία

Τα διάφορα είδη κυττάρων δεν προσβάλλονται με τον ίδιο τρόπο από τις ακτινοβολίες. Μερικά απ' αυτά είναι ανθεκτικά, ενώ άλλα προσβάλλονται εύκολα. Έτσι, με κατάλληλη ακτινοβολία μπορεί να γίνει καταστροφή των «ασθενών», χωρίς να προξενείται βλάβη στα υγιή. Για παράδειγμα ο καρκίνος, του θυρεοειδούς μπορεί να καταπολεμηθεί με το ραδιοϊσότοπο ^{131}I .

Διάγνωση

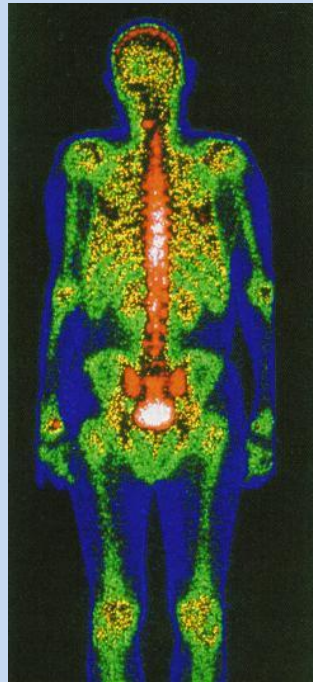
Ορισμένα ραδιοϊσότοπα έχουν αποδειχθεί πολύ αποτελεσματικά ως ιχνηθέτες σε ορισμένες διαγνωστικές διαδικασίες. Αυτό συμβαίνει γιατί τα ραδιοϊσότοπα εύκολα μπορούν να αντικαταστήσουν τα αντίστοιχα φυσικά ισότοπα, ενώ εύκολα μπορούν να ανιχνευθούν, ακόμη κι όταν βρίσκονται σε ίχνη, με τη βοήθεια οργάνων. Για παράδειγμα φέρνουμε τη χρήση του ^{99}Tc (τεχνητό) σε ραδιογραφικές διατάξεις σάρωσης, που πραγματοποιούνται με βάση την κατανομή του ραδιοϊσοτόπου στο όργανο που εξετάζεται. Κατ' αυτό τον τρόπο διαπιστώνουμε την καλή λειτουργία οργάνων, π.χ. καρδιάς ή ανίχνευση κακοήθων όγκων στον εγκέφαλο κλπ.



Υγιής

Ασθενής

Σπινθηρογράφημα που δείχνει τη ροή αίματος στην καρδιά με τη βοήθεια του ραδιοϊσοτόπου ^{99}Tc .



Ραδιογραφική σάρωση των οστών με τη βοήθεια του ραδιοϊσοτόπου ^{99}Tc .

Εφαρμογές στην τεχνολογία

Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι:

1. Παραγωγή πυρηνικής ενέργειας. Αυτή γίνεται με τη βοήθεια πυρηνικών αντιδραστήρων και αποτελεί τη σημαντικότερη εφαρμογή των ραδιοϊσοτόπων στη βιομηχανία.

2. Μέτρηση και έλεγχος του πάχους μεταλλικών ή πλαστικών επιφανειών. Αυτή γίνεται με ακτινοβολία που διαπερνά το φύλλο και η οποία η απορροφάται ανάλογα με το πάχος του υλικού.

3. Εντοπισμός διαρροών σωληνώσεων. Αυτό μπορεί να γίνει με προσθήκη ενός ραδιοϊσοτόπου σ' ένα αντλούμενο υγρό ή αέριο, οπότε με τη βοήθεια ενός μετρητή, π.χ. Geiger – Muller, εύκολα

μπορούμε να διαπιστώσουμε από που διαφεύγει.

4. Μέτρηση της στάθμης υγρών ή στερεών σε δεξαμενή. Και στην περίπτωση αυτή μετριέται η απορροφούμενη ραδιενεργός ακτινοβολία, καθώς η απορρόφηση αυξάνει, όταν το υλικό γεμίζει τη δεξαμενή και παρεμβάλλεται στην πορεία των ακτίνων.

5. Συντήρηση ορισμένων τροφίμων, χάρη στη μικροβιοκτόνο δράση των ακτινοβολιών.

5.3 Μεταστοιχειώσεις - Σχάση - Σύντηξη

Μεταστοιχείωση είναι η μεταβολή ενός χημικού στοιχείου σε άλλο, μέσα από μία πυρηνική αντίδραση. Φυσικές αυθόρμητες μεταστοιχειώσεις γίνονται συνεχώς στη φύση

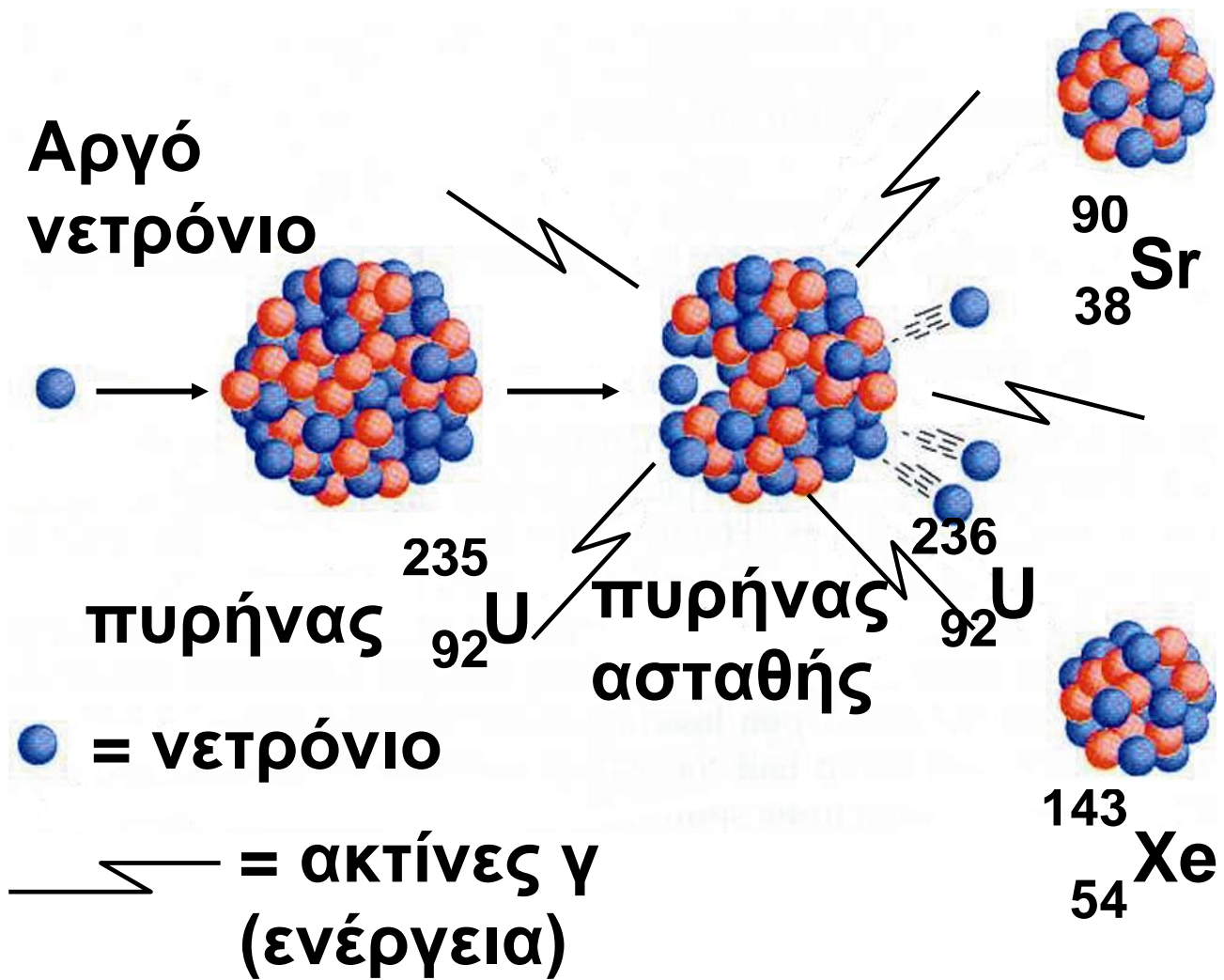
στα ραδιενεργά υλικά. Η πρώτη τεχνητή ήταν εκείνη του Rutherford (Βλέπε ενότητα 5.1). Οι πρώτες τεχνητές μεταστοιχειώσεις με σωματίδια μικρής ενέργειας ήταν δύσκολες. Μόνο 1 σωματίδιο κάθε 250 000 0000 έκανε την πυρηνική μεταβολή. Έκτοτε όμως, με τους επιταχυντές (π.χ. κύκλοτρο), πολλές εκατοντάδες μεταστοιχειώσεις έχουν πραγματοποιηθεί. Επιπλέον, με τις τεχνικές αυτές συντέθηκαν και τα υπερουράνια στοιχεία.

Η τεχνική αυτή συνίσταται στο βομβαρδισμό διαφόρων στοιχείων - στόχων με ταχέως κινούμενα υποατομικά ή και ατομικά σωματίδια, όπως π.χ. νετρόνια, πρωτόνια, δευτερόνια (πυρήνες του ισότοπου ${}^2_1\text{H}$), σωματίδια άλφα κλπ.

Από ενεργειακή και τεχνολογική

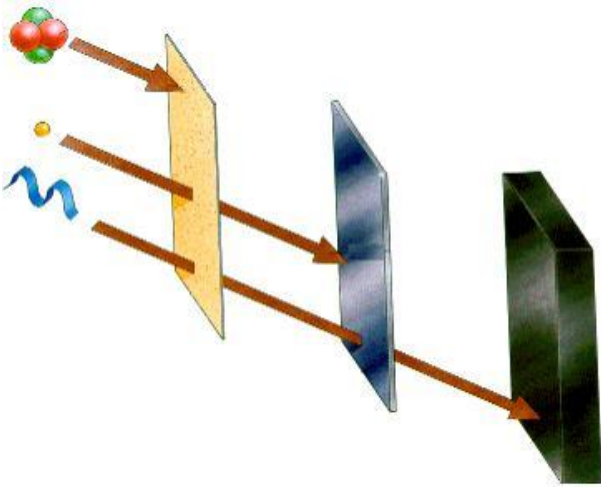
άποψη οι πλέον ενδιαφέρουσες πυρηνικές αντιδράσεις είναι η σχάση και η σύντηξη. Στη σχάση ορισμένα βαρέα άτομα, όπως π.χ. ^{235}U και το ^{234}Pu , βομβαρδίζονται με νετρόνια κατάλληλης ενέργειας. Τότε οι πυρήνες τους σπάζουν – σχάζονται σε δύο μικρότερους πυρήνες, ενώ ελευθερώνονται ταυτόχρονα δύο ή περισσότερα ταχέα νετρόνια και μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Από τα νετρόνια που ελευθερώνονται τουλάχιστον ένα προκαλεί νέα σχάση και έτσι γίνεται μία αλυσιδωτή αντίδραση. Αν ο ρυθμός αυτής ελέγχεται, τότε έχουμε έναν ατομικό (πυρηνικό) αντιδραστήρα (στήλη). Αν η αλυσιδωτή αντίδραση γίνεται εκρηκτικά γρήγορα, τότε έχουμε την ατομική βόμβα. Στη σύντηξη ελαφροί πυρήνες,

όπως π.χ. ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$, συγχω-
νεύονται – ενώνονται και δίνουν
βαρύτερους, όπως π.χ. ${}^4_2\text{He}$, με
ταυτόχρονη έκλυση πολύ μεγαλύ-
τερων από τησχάση ποσοτήτων
ενέργειας. Στην κοσμολογία δέχο-
νται ότι στα άστρα γίνονται συνε-
χώς τέτοιες αντιδράσεις μετατρο-
πής του υδρογόνου σε ήλιο. Αυτά
άλλωστε τα στοιχεία αποτελούν το
μεγαλύτερο ποσοστό της μάζας
των ζωντανών αστεριών. Η σύντη-
ξη, για να γίνει, χρειάζεται πολύ
υψηλή θερμοκρασία
($>10\ 000\ 000\ ^\circ\text{C}$). Στη λεγόμενη
βόμβα υδρογόνου γίνεται πρώτα
μία έκρηξησχάσης (ουρανίου),
οπότε η θερμοκρασία ανέρχεται
τοπικά σε όρια, ώστε να
ακολουθήσει η σύντηξη.



ΣΧΗΜΑ 5.6 Τεχνητή σχάση του ουρανίου 235, η οποία αποτελεί τη βάση της ατομικής βόμβας που έπεσε στη Χιροσίμα το 1945.

Γνωρίζεις ότι.....



Το πρόβλημα των πυρηνικών αποβλήτων

Τα απόβλητα των θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος οι οποίοι καταναλώνουν κάρβουνο (π.χ. λιγνίτη) περιέχουν, πλην των άλλων, οξείδια του θείου και στάχτη. Όταν όμως χρησιμοποιείται πυρηνικό «καύσιμο» για την παραγωγή ρεύματος, τα απόβλητα περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό ραδιενεργών στοιχείων.

Άλλα απ' αυτά είναι ιδιαίτερος χρήσιμα και άλλα άκρως επικίνδυνα. Εδώ και αρκετά χρόνια έχει ξεσπάσει μία διαμάχη σε επίπεδο κυβερνήσεων, επιστημόνων και

τεχνικών για τον τρόπο διαχείρισης των αποβλήτων αυτών.

Μία από τις προτάσεις προβλέπει την απομάκρυνση από τα πυρηνικά απόβλητα των πυρηνικά σχάσιμων υλικών, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν πλέον σαν πυρηνικά «καύσιμα». Μία τυπική «ράβδος» πυρηνικού καυσίμου περιέχει ουράνιο ($3,3\% \text{}^{235}\text{U}$ και $97,7\% \text{}^{238}\text{U}$). Καθώς το σχάσιμο $\text{}^{235}\text{U}$ καταναλώνεται, δίνοντας την απαιτούμενη ενέργεια, κάποιες ποσότητες από το $\text{}^{238}\text{U}$ μετατρέπονται ραδιενεργά σε υπερουράνια στοιχεία, όπως είναι τα ραδιοϊσότοπα του πλουτώνιου $\text{}^{239}\text{Pu}$ και $\text{}^{240}\text{Pu}$. Αυτά μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σαν «καύσιμο». Για να διαχωριστεί και να παραληφθεί το πλουτώνιο, η ράβδος διαλύ-

εται σε οξύ και από το διάλυμα που προκύπτει με χημικούς διαχωρισμούς απομονώνεται το σχάσιμο υλικό. Το μίγμα οξειδίων του ^{235}U και του πλουτωνίου χρησιμοποιείται με μορφή οξειδίων των μετάλλων σαν πυρηνικό καύσιμο.

Το μειονέκτημα στη λύση ανακύκλωση πυρηνικών καυσίμων οφείλεται, εν μέρει, στη δυνατότητα χρησιμοποίησης του παραγόμενου πλουτωνίου για την παραγωγή πυρηνικών όπλων από παρακρατικές οργανώσεις, από ομάδες τρομοκρατών κλπ. Επιπρόσθετα, η διαδικασία αφήνει σαν κατάλοιπα υγρά απόβλητα με εξαιρετικά μεγάλη ραδιενέργεια, τα οποία είναι επικίνδυνα για πολλά, ίσως και χιλιάδες, χρόνια.

Για παράδειγμα, στην υγρή φάση

που παραμένει από τη διεργασία, υπάρχουν προϊόντα σχάσης, όπως ^{90}Sr (στρόντιο-39) με ημιζωή 29 χρόνια, ^{137}Cs (καίσιιο-137) με ημιζωή 30 χρόνια.

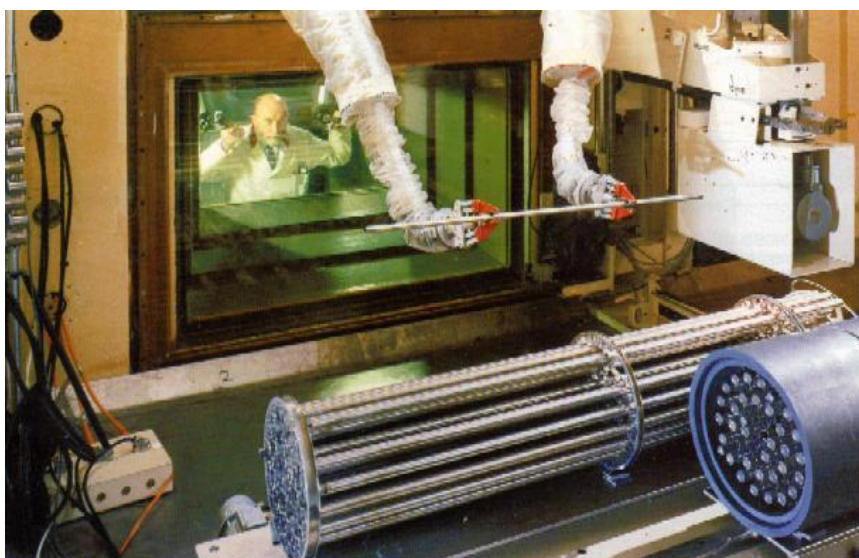
Θα πρέπει λοιπόν να περάσουν περίπου 400 χρόνια, ώστε η ραδιενέργεια από αυτά τα παραπροϊόντα να μειωθεί σε ανεκτά επίπεδα.

Όμως, και πέρα από τα 400 αυτά χρόνια θα εξακολουθεί να υπάρχει κίνδυνος από ραδιενεργά κατάλοιπα, όπως π.χ. ^{241}Am (αμερίκιο-241) και ^{229}Th (θόριο-229), των οποίων η ημιζωή μετριέται σε χιλιάδες ή και εκατομμύρια χρόνια. Το πλέον συζητημένο σχέδιο είναι η μετατροπή των υγρών αυτών αποβλήτων σε υαλώδεις κεραμικές ράβδους με μήκος 3 m και διάμετρο 30 cm καθεμία. Οι δε ράβδοι

στη συνέχεια να «ταφούν» σε κατάλληλες γεωλογικές θέσεις, όπως γρανίτες, παλιά ορυχεία και στρώματα αλάτων. Εκεί πιθανολογείται ότι θα παραμείνουν θαμμένες επί χιλιάδες χρόνια, όσα χρειάζονται τα ραδιενεργά στοιχεία για να εξαντληθούν. Τα απόβλητα ενός μόνο πυρηνικού σταθμού ισχύος 1000 MW θα περιέχονται σε 10 τέτοιες ράβδους.

Αρκετές μελέτες έδειξαν ότι η μέθοδος αυτή είναι εφικτή και αρκετές γεωλογικές θέσεις ταφής μπορούν να βρεθούν. Παρόλα αυτά, επειδή τα υλικά αυτά θα πρέπει να μείνουν θαμμένα για χιλιάδες χρόνια κανένας δεν μπορεί να εγγυηθεί για τις απόψεις και τις συμπεριφορές των μελλοντικών γενεών. Τα ήδη υπάρχοντα πυρηνικά απόβλητα

είτε φυλάσσονται μέχρι να βρεθεί γενικότερα μία λύση είτε ενταφιάζονται σε επιλεγμένες θέσεις. Ήδη έχουν σημειωθεί κρούσματα «πειρατείας και λαθρεμπορίας» πυρηνικών αποβλήτων. Είναι φανερό ότι η τελική τύχη τους δεν έχει ακόμα κριθεί ...



Η διαχείριση των ραδιενεργών υλικών γίνεται κάτω από δραστικά μέτρα ασφαλείας, όπως πχ μέσω ενός ρομποτικού συστήματος πίσω από ένα παράθυρο με γυαλί πολύ μεγάλου πάχους, όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.

Ανακεφαλαίωση

- 1.** Πυρηνική χημεία είναι ο κλάδος της χημείας που ασχολείται με τα πυρηνικά φαινόμενα, δηλαδή μεταβολές στον πυρήνα των στοιχείων τα οποία συμμετέχουν. Αυτά δεν επηρεάζονται από τις εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.
- 2.** Ισότοπα είναι δύο ή περισσότερα άτομα με τον ίδιο ατομικό αριθμό αλλά διάφορο μαζικό. Τα άτομα π.χ. ${}^{16}_8\text{O}$ και ${}^{16}_8\text{O}$ είναι ισότοπα του οξυγόνου.
- 3.** Νουκλίδιο είναι ένας πυρήνας με δεδομένο Z και A . Το ${}^{16}_8\text{O}$ είναι ένα νουκλίδιο.
- 4.** Υπάρχουν ισότοπα σταθερά και ισότοπα ραδιενεργά τα οποία διασπώνται

5. Ραδιενέργεια είναι η ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται κατά τη ραδιενεργό αποσύνθεση ασταθών ισοτόπων προς σταθερότερους πυρήνες. Συνίσταται από σωματίδια α και β και ακτινοβολία.

6. Οι ακτίνες α είναι ροή πυρήνων ηλίου. Οι ακτίνες β είναι ροή ηλεκτρονίων. Οι ακτίνες γ είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος.

7. Σε μία πυρηνική αντίδραση το άθροισμα μαζικών και ατομικών αριθμών παραμένει σταθερό.

8. Ένας τρόπος έκφρασης της ταχύτητας μιας ραδιενεργού διάσπασης είναι ο χρόνος υποδιπλασιασμού ($t_{1/2}$), ο χρόνος δηλαδή που απαιτείται, ώστε να διασπαστεί η μισή από την αρχική

ποσότητα του ραδιενεργού υλικού.
Λέγεται και ημιζωή του υλικού.

9. Μετά πάροδο n «ημιζωών» θα παραμείνει, από μία αρχική ποσότητα m_0 , ποσότητα ραδιενεργού υλικού m , ίση με : $m = (1/2)^n m_0$

10. Όργανα με τα οποία μετριέται η εκπεμπόμενη ραδιενέργεια είναι τα σπινθηροσκόπια ή ο απαριθμητής Geiger- Muller.

11. Μονάδες έντασης εκπεμπόμενης ραδιενέργειας ανά s είναι το Curie, που είναι ποσότητα ουσίας η οποία υφίσταται $3,7 \cdot 10^{10}$ διασπάσεις. Το Bq αντιστοιχεί σε μία διάσπαση ανά s .

12. Μονάδα απορροφούμενης ακτινοβολίας είναι το Gy, που αντιστοιχεί σε απορρόφηση 1 J ανά Kg βάρους.

13. Η ιονίζουσα ακτινοβολία, όταν υπερβαίνει κάποια όρια, προκαλεί στον άνθρωπο βλάβες σωματικές και γενετικές.

14. Ραδιοχρονολόγηση λέγεται ο προσδιορισμός της ηλικίας πετρωμάτων, αρχαιολογικών ευρημάτων κ.λ.π. μέσω μετρήσεων ραδιενεργών ισοτόπων. Ανάμεσα σε αυτά κυριότερο είναι το ισότοπο του άνθρακα 14.

15. Τα ραδιενεργά ισότοπα χρησιμοποιούνται στην ιατρική (διάγνωση και θεραπεία) και στην τεχνολογία. Η πυρηνική ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στους λεγόμενους πυρηνικούς σταθμούς.

16. Οι πυρηνικές αντιδράσεις είναι μεταστοιχειώσεις, δηλαδή μετατροπές ενός στοιχείου σε άλλο.

Τυπικές πυρηνικές αντιδράσεις είναι η σχάση βαρύτερων πυρήνων σε ελαφρότερους και η σύντηξη ελαφρών πυρήνων σε βαρύτερους.. Και οι δύο συνοδεύονται από έκλυση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας.

17. Οι πυρηνικές συντήσεις συντηρούν τη ζωή των άστρων.

Λέξεις κλειδιά

πυρηνική χημεία	μητρικός-θυγατρικός πυρήνας
μεταστοιχείωση	πυρηνική αντίδραση
ισότοπα	ραδιοϊσότοπα
νουκλίδιο	χρόνος υποδιπλασιασμού
ασταθές ισότοπο	αριθμός ημιζωών

ραδιενέργεια	απαριθμητής Geiger
ακτίνες α ,β και γ	Curie, Becquerel, rem
ιονίζουσα ακτινοβολία	ραδιοχρονολόγηση
κοσμική ακτινοβολία	σχάση και σύντηξη

Ερωτήσεις – Ασκήσεις – Προβλήματα

Ερωτήσεις επανάληψης

1. Ποιο είναι το περιεχόμενο της πυρηνικής χημείας;
2. Τι ονομάζονται ισότοπα ενός στοιχείου; Να δώσετε ένα παράδειγμα.
3. Ποια ισότοπα είναι σταθερά και ποια ασταθή;
4. Τι είναι το νουκλίδιο;

- 5.** Πώς ορίζεται γενικά η ραδιενέργεια;
- 6.** Ποια είναι η φύση των ακτίνων α , β και γ ;
- 7.** Ποιος πυρήνας λέγεται μητρικός και ποιος θυγατρικός;
- 8.** Ποιο είναι το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας;
- 9.** Σε μία πυρηνική αντίδραση τι παραμένει σταθερό;
- 10.** Τι καλείται χρόνος υποδιπλασιασμού ή ημιζωή ενός ραδιενεργού υλικού;
- 11.** Αν παρέλθουν n ημιζωές ποια ποσότητα, m , θα παραμείνει, αν η αρχική ποσότητα ήταν m_0 ;
- 12.** Τι είναι και πώς λειτουργεί ο απαριθμητής Geiger;

- 13.** Τι εκφράζουν οι μονάδες ραδιενέργειας Curie και Becquerel;
- 14.** Ποιες είναι οι ανθρωπογενείς πηγές ραδιενέργειας;
- 15.** Τι καλούμε γενετικές βλάβες της ιονίζουσας ακτινοβολίας;
- 16.** Τι ονομάζουμε ραδιοχρονολόγηση με άνθρακα και πού κυρίως χρησιμοποιείται;
- 17.** Τι είναι η δενδροχρονολόγηση;
- 18.** Πώς χρησιμοποιούνται τα ραδιοϊσότοπα στην ιατρική;
- 19.** Τι είναι ένας πυρηνικός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας;
- 20.** Να δώσετε από ένα παράδειγμα πυρηνικής σχάσης και σύντηξης.
- 21.** Από πού αντλεί ο ήλιος του πλανητικού μας συστήματος την ενέργεια την οποία εκπέμπει;



Βασικές γνώσεις

22. Να υπολογίσετε τον αριθμό των πρωτονίων και των νετρονίων σε καθένα από τα παρακάτω νουκλίδια: λίθιο- 7, νέον -22 και πλουτώνιο -239

2 – 5 , 10 – 12, 94 - 145

23. Ένα mol από πυρήνες δευτερίου (${}_1^2\text{H}$) ζυγίζει :

α . 1,0000 g β. 2,0000 g γ. 4,0000 g
δ. 2,016 g

24. Αν τα νουκλίδια ${}_6^{14}\text{C}$, ${}_7^{15}\text{N}$ και ${}_9^{17}\text{F}$ είναι ισότονα τι νομίζετε ότι εκφράζει ο όρος ισότονα;

α. νουκλίδια με τον ίδιο αριθμό e, αλλά διαφορετικό Z

β. νουκλίδια με διαφορετικό Z και αριθμό νετρονίων, αλλά το ίδιο A

γ. νουκλίδια με το ίδιο Z, αλλά διαφορετικό A

δ. νουκλίδια με ίσο αριθμό νετρονίων, αλλά διαφορετικό Z και A

25. Το άτομο του ασβεστίου έχει 20 ηλεκτρόνια και 20 νετρόνια στον πυρήνα του. Άρα το άτομο του ασβεστίου συμβολίζεται σαν :



26. Ο μαζικός αριθμός, A, ενός πυρήνα είναι 127. Ο ατομικός του αριθμός είναι 53. Πόσα νουκλεόνια, νετρόνια και πρωτόνια περιέχει ο πυρήνας αυτός; Πόσα ηλεκτρόνια περιέχει το αντίστοιχο ουδέτερο άτομο;

127,74,53,53

27. 1 mol ηλεκτρόνια πόσο φορτίο φέρουν; Πόσα g ζυγίζουν; (Χρησιμοποιήστε για τις απαιτούμενες σταθερές τη βιβλιογραφία)

96320 C

28. Η σχετική αφθονία των δύο ισοτόπων του ρουβιδίου με Ar 85 και 87 αντίστοιχα είναι 75% και 25% . Άρα η σχετική ατομική μάζα του ρουβιδίου θα είναι :

α. 75,5 β. 85,5 γ. 87,5 δ. 86,5
ε. 86

29. Στοιχειώδες σωματίδιο είναι:

α. ένα σωματίδιο του οποίου δε γνωρίζουμε τη σύσταση
β. ένα σωματίδιο το οποίο αποτελεί συστατικό ενός πολυπλοκότερου συστήματος.
γ. ένα σωματίδιο το οποίο μέχρι σήμερα δεν έχει διασπαστεί .

30. Ο συμβολισμός ${}_{19}^{40}\text{K}$ παριστά :
α. ένα νουκλεόνιο β. ένα νουκλίδιο
γ. ένα ισότοπο
δ. το στοιχείο κάλιο

31. Σε ποιο από τα παρακάτω άτομα περιέχεται ο μικρότερος αριθμός νετρονίων :

α. ${}_{92}^{235}\text{U}$ β. ${}_{92}^{238}\text{U}$ γ. ${}_{93}^{239}\text{Np}$ δ. ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ ε. ${}_{93}^{240}\text{Np}$

32. Το άτομο ενός στοιχείου έχει το σύμβολο ${}_{67}^{139}\text{X}$. Αυτό σημαίνει ότι αυτό έχει:

α. 206 πρωτόνια στον πυρήνα του
β. 139 ηλεκτρόνια γ. 139 πρωτόνια
δ. ατομική μάζα 67 ε. 72 νετρόνια στον πυρήνα του.

33. Το ζεύγος ${}_{17}^{35}\text{Cl}$ και ${}_{17}^{37}\text{Cl}$ παριστά :
α. ισομερή β. ισότοπα γ. ισότονα
δ. αλλότροπα ε. ισοβαρή

34. Ο ατομικός αριθμός ενός στοιχείου είναι 83. Αυτό σημαίνει ότι ένα άτομο του στοιχείου αυτού έχει :

α. 42 πρωτόνια και 41 νετρόνια

β. 83 νετρόνια

γ. 41 πρωτόνια , 41 ηλεκτρόνια και 1 νετρόνιο

δ. 42 νετρόνια και 41 πρωτόνια

ε. 83 ηλεκτρόνια

35. Ένα άτομο χλωρίου με ατομικό αριθμό 17 και σχετική ατομική μάζα 35 έχει στον πυρήνα του:

α. 35 πρωτόνια β. 17 νετρόνια

γ. 35 νετρόνια δ. 17 πρωτόνια

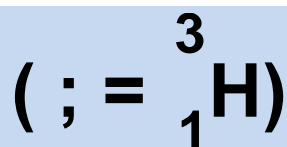
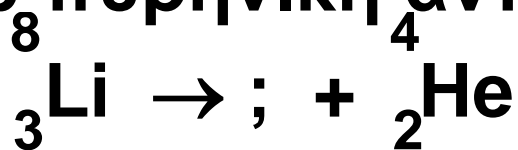
ε. 18 πρωτόνια

Πυρηνικές αντιδράσεις

36. Τα σωματίδια τα οποία κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται για το βομβαρδισμό και τη μεταστοιχείωση είναι τα νετρόνια. Αυτό διότι :

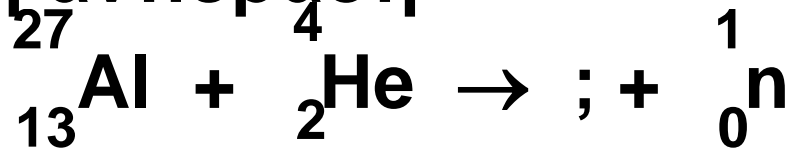
- α. μπορούν εύκολα να επιταχύνονται
- β. είναι ουδέτερα και δεν απωθούνται από τους πυρήνες
- γ. είναι αβλαβή για τον άνθρωπο
- δ. παράγονται άφθονα στις πυρηνικές αντιδράσεις

37. Να συμπληρώσετε την παρακάτω πυρηνική αντίδραση

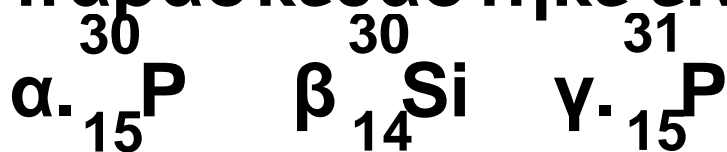


38. Το 1934 το ζεύγος Joliot - Curie πραγματοποίησε μία τεχνητή

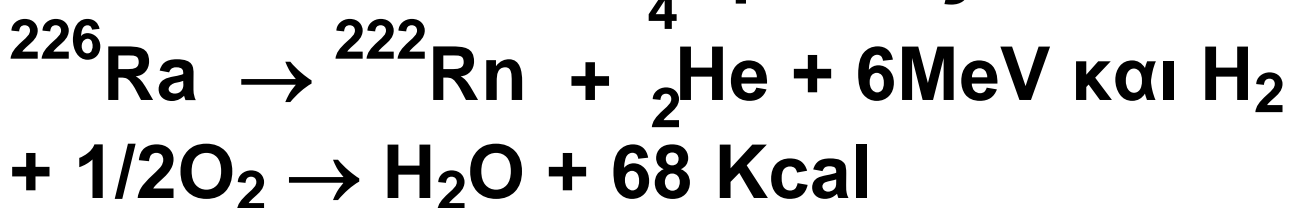
μεταστοιχείωση σύμφωνα με την πυρηνική αντίδραση



Το ραδιενεργό ισότοπο που παρασκευάστηκε είναι :



39. Δίνονται οι αντιδράσεις :



Πόσα Kg H_2 πρέπει να καούν, ώστε να παραχθεί ενέργεια ίση με εκείνη η οποία παράγεται από τη διάσπαση 1 mol ραδίου:

Δίνονται $1 \text{ Kcal} = 4,184 \cdot 10^3 \text{ J}$ και $1 \text{ J} = 6,24 \cdot 10^{18} \text{ eV}$

4080 kg

40. Στην αντίδραση της φωτοσύνθεσης με χρήση ραδιενεργού ισότοπου του Οξυγόνου, ${}^8_8\text{O}$:

$6 \text{CO}_2 + 12 \text{H}_2 {}^{18}\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 {}^{18}\text{O}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$, παρουσία φωτός και χλωροφύλλης, το ισότοπο αυτό παίζει ρόλο:

α. καταλύτη β. παρεμποδιστή γ. ιχνηθέτη δ. οξειδωτικού

41. Στην παρακάτω πυρηνική αντίδραση :

${}^{64}_{29}\text{Cu} \rightarrow ; + {}^{63}_{28}\text{Ni}$, το σωματίδιο που λείπει είναι:

α. ένα ηλεκτρόνιο β. ένα πρωτόνιο
γ. ένα νετρόνιο δ. ένα σωματίδιο
άλφα ε. ένα φωτόνιο

Χρόνος υποδιπλασιασμού - Χρονολογήσεις

42. Να δώσετε μία ερμηνεία στο γεγονός ότι το CO_2 που προέρχεται από την καύση πετρελαίου και παραγώγων του δεν περιέχει το ραδιενεργό ισότοπο $^{14}_6\text{C}$ και είναι μόνο $^{12}\text{CO}_2$.

43. Το %ποσοστό των ατόμων ^{128}I το οποίο παραμένει αδιάσπαστο μετά πάροδο 2,5 h (χρόνος υποδιπλασιασμού = 25 min) είναι:
α. 15,6% β. 1,56% γ. 3,13%
δ. 6,26%

44. Το ραδιενεργό ισότοπο του μολύβδου ^{201}Pb έχει χρόνο υποδιπλασιασμού 8 h. Αν ξεκινήσει κανείς με 1 g αυτού, η ποσότητα

που θα παραμείνει αδιάσπαστη στο τέλος 24 h είναι:

α. 0,5 g β. 0,33g γ. 0,25g

δ. τίποτα ε. 0,125g

45. Η συγκέντρωση του ^{85}Kr ($T_{1/2} = 10,73$ χρόνια) σε ύψος 15 Km είναι 10,0 picocuries ανά m^3 . Πόσα χρόνια πρέπει να περάσουν, ώστε η συγκέντρωσή του να πέσει στα 0,625 picocuries / m^3 ;

43 χρόνια

46. Ένας αιγυπτιακός πάπυρος εξετάζεται για ραδιοχρονολόγηση με ^{14}C . Έτσι, ένα δείγμα από αυτόν καίγεται και το παραγόμενο CO_2 συλλέγεται. Ο μετρητής Geiger δίνει γι' αυτό 11,7 κτύπους ανά λεπτό για κάθε g της ένωσης. Ζωντανό υλικό από το οποίο φτιάχτηκε ο πάπυρος

δίνει αντίστοιχα 15,3 κτύπους. Αν ο χρόνος υποδιπλασιασμού για τον ^{14}C είναι 5760 χρόνια να εκτιμήσετε την ηλικία του παπύρου.

2230 ετών

47. Ποια από τις παρακάτω προτάσεις που αφορούν τη ραδιοχρονολόγηση με άνθρακα δεν είναι ορθή :

- α. ^{14}C παράγεται από την επίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας στο N_2 της ατμόσφαιρας
- β. το ^{14}C οξειδώνεται προς $^{14}\text{CO}_2$ το οποίο αναμειγνύεται με το μη ραδιενεργό CO_2 της ατμόσφαιρας.
- γ. όταν ο οργανισμός πεθάνει ο ^{14}C αποσυντίθεται προς ^{14}N
- δ. η μέθοδος μπορεί να προσδιορίζει ηλικίες μεγαλύτερες από το χρόνο υποδιπλασιασμού του ^{14}C .

48. Ένα ραδιοϊσότοπο έχει χρόνο υποδιπλασιασμού 10 ημέρες. Το ποσό που θα παραμείνει από 8 g αυτού μετά από 40 ημέρες είναι:
α. 0,5g β. 4,0g γ. 2,0 g δ. 6,0 g
ε. 1,0g

49. Αν υπάρχει ίσος αριθμός mol από δύο ραδιενεργά ισότοπα, εκείνο το οποίο είναι το πλέον επικίνδυνο σε άμεση προσέγγιση είναι εκείνο το οποίο έχει χρόνο υποδιπλασιασμού:

α. $4,5 \cdot 10^6$ χρόνια β. 65 χρόνια
γ. 12 ημέρες δ. 10^{-4} min ε. 1 min

50. Ένα δείγμα ξύλου από αιγυπτιακό πάπυρο δίνει 9,4 κτύπους ανά min και ανά g από τη διάσπαση του ^{14}C . Ποια είναι η ηλικία του παπύρου; (Δεδομένα από την άσκηση 46)

4063 ετών

51. Ο χρόνος ζωής του πρωτονίου υπολογίζεται σε 10^{35} s. Να τον συγκρίνετε με το χρόνο ζωής του σύμπαντος, ο οποίος εκτιμάται σε 10^{10} χρόνια. Είναι μακρύτερος ή όχι και κατά πόσα χρόνια ;

μακρύτερος κατά 10^{27} χρόνια

Γενικά Προβλήματα

52. Ένα ηλεκτρονιοβόλτ (eV) είναι η ενέργεια που αποδίδεται, όταν ένα ηλεκτρόνιο περνά μεταξύ δύο σημείων τα οποία παρουσιάζουν διαφορά δυναμικού 1 volt. Άρα 1 eV ισοδυναμεί με :

α. $1,6 \cdot 10^{-16}$ J β. $4,8 \cdot 10^{-25}$ J

γ. $1,6 \cdot 10^{-19}$ J δ. $4,8 \cdot 10^{-11}$ J

ε. $6,62 \cdot 10^{-34}$ J

53. Από τα παρακάτω όργανα εκείνο το οποίο δεν μπορεί ν' ανιχνεύσει άμεσα ραδιενέργεια είναι :
α. το σπινθηροσκόπιο β. το ηλεκτροσκόπιο γ. το αμπερόμετρο
δ. το φωτογραφικό film ε. ο θάλαμος Wilson

54. Το οξικό οξύ, CH_3COOH , αντιδρά με τη μεθανόλη, CH_3OH , για να σχηματίσει έναν εστέρα, $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ και H_2O . Πώς θα χρησιμοποιούσατε το ισότοπο ^{18}O , για να αποδείξετε αν το άτομο του οξυγόνου στο νερό προέρχεται από το $-\text{OH}$ του οξέος ή από το $-\text{OH}$ της αλκοόλης ;

55. Η ποσότητα των $3,7 \cdot 10^{10}$ ραδιενεργών διασπάσεων ανά δευτερόλεπτο είναι γνωστή σαν ένα:

α. Debye β. Rutherford γ.
Einstein δ. Fermi ε. Curie

56. Ένας μαγνήτης θα προκαλέσει τη μεγαλύτερη απόκλιση σε δέσμη
α. ακτίνων γ β. νετρονίων γ.
ηλεκτρονίων δ. σωματιδίων α
ε. πρωτονίων

57. Δίνονται οι : $_{82}\text{Pb} + _{24}\text{Cr} \rightarrow \text{A}$,
 $_{98}\text{Cf} + _8\text{O} \rightarrow \text{A}$, $\text{A} \rightarrow \text{a} + \text{X}$,
 $\text{X} \rightarrow \text{a} + \Psi$, $\Psi \rightarrow \alpha + \text{Z}$.

Να υπολογίσετε τους ατομικούς αριθμούς των A, X, Ψ και Z και από αυτό να βρείτε και ποια στοιχεία είναι.

58. Σε ένα από τα πειράματα του Rutherford το 1911 παράγονταν $3,4 \cdot 10^{10}$ σωματίδια α /s, τα οποία έδιναν τελικά $0,039 \text{ cm}^3$ He μετρημένα σε STP ανά έτος. Με τα

δεδομένα αυτά να υπολογίσετε την τιμή του αριθμού του Avogadro .

59. Στην παρακάτω πυρηνική αντίδραση : ${}_{24}^{64}\text{Cu} \rightarrow ; + {}_{28}^{64}\text{Ni}$, αυτό

που λείπει είναι:

α. ένα ηλεκτρόνιο β. ένα πρωτόνιο
γ. ένα νετρόνιο δ. ένα σωματίδιο
άλφα ε. ένα φωτόνιο

60. Πόσα «είδη» μορίων νερού μπορούν να προκύψουν από τα :

${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$, και ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{17}_8\text{O}$, ${}^{18}_8\text{O}$:

α.3 β.9 γ.6 δ.27 ε.18

61. Ισοβαρείς λέγονται δύο πυρήνες οι οποίοι έχουν τον ίδιο αριθμό αλλά διάφορο αριθμό

62. Από τις παρακάτω ακτινοβολίες

εκείνη η οποία ευκολότερα σταματά στον αέρα είναι :

- α. ακτίνες άλφα
- β. ακτίνες βήτα
- γ. νετρόνια
- δ. ακτίνες γάμα
- ε. ακτίνες Χ

63. Σε ένα δείγμα ορυκτού του ουρανίου βρέθηκε ότι το βάρος του περιεχομένου Pb είναι το 22,8% του ουρανίου που υπάρχει σ' αυτό. Να εκτιμήσετε την ηλικία της γης από τα δεδομένα αυτά (συμπληρωματικά δεδομένα από το κείμενο).

64. Ο αριθμός των σωματιδίων άλφα τα οποία εκλύονται ανά s από 1,0 g ραδίου είναι $3,608 \cdot 10^{10}$. Να προσδιορίσετε την $t_{1/2}$ του ραδίου .

65. Ποιο από τα παρακάτω στοιχεία παρασκευάστηκε τεχνητά από τον άνθρωπο

α. ακτίνιο β. θόριο γ. ραδόνιο δ.
κιούριο ε. καίσιο

66. Ραδιενεργό Na με $T_{1/2} = 14,8$ h εισάγεται με ένεση στο αίμα ενός ζώου στα πλαίσια ενός πειράματος ιχνηθέτησης. Μετά από πόσες ημέρες η ραδιενέργεια θα πέσει στο 10% της αρχικής;

67. Η απώλεια ενός νετρονίου από τον πυρήνα του ατόμου ενός στοιχείου:

α. αλλάζει τη χημική φύση του ατόμου β. προκαλεί πρόσληψη ενός πρωτονίου γ. επιφέρει ταυτόχρονη απώλεια ενός ηλεκτρονίου δ. αλλάζει τις φυσικές ιδιότητες του ατόμου ε. μειώνει τον ατομικό αριθμό του στοιχείου

68. Το δευτέριο είναι :

α. ένα ηλεκτρόνιο με θετικό φορτίο

- β. ένα νετρόνιο συν δύο πρωτόνια
- γ. ένας πυρήνας με 1 πρωτόνιο και δύο νετρόνια
- δ. ένας πυρήνας με 1 πρωτόνιο και ένα νετρόνιο

69. Η εκπομπή ενός σωματιδίου άλφα από τον πυρήνα του $^{226}_{88}\text{Ca}$ θα δημιουργήσει :

α. $^{226}_{88}\text{Ra}$ β. $^{222}_{87}\text{Fr}$ γ. $^{223}_{87}\text{Fr}$ δ. $^{222}_{86}\text{Rn}$ ε. $^{223}_{86}\text{Rn}$

70. Δείγμα 1,0 mL από ένα διάλυμα το οποίο περιέχει ραδιενεργό τρίτιο και το οποίο δίνει σε κατάλληλο μετρητή $2,0 \cdot 10^5$ κτύπους ανά s εισάγεται με ένεση στο σώμα ενός ζώου. Μετά από λίγο χρόνο, αφού δηλαδή κυκλοφορήσει η ένεση σε όλο το αίμα, λαμβάνεται από αυτό δείγμα 1,0 mL, το οποίο στο ίδιο όργανο δίνει $1,5 \cdot 10^4$ κτύπους ανά s.

Ποιος είναι ο όγκος του αίματος του ζώου;

133 mL

71. Ποιο από τα παρακάτω σωματίδια δεν μπορεί να επιταχυνθεί σε επιταχυντή σωματιδίων :

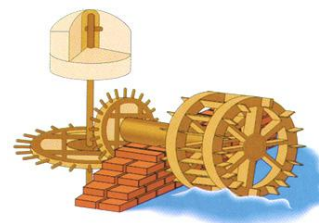
- α. σωματίδιο άλφα
- β. ηλεκτρόνιο
- γ. ιόν άνθρακα
- δ. νετρόνιο
- ε. πρωτόνιο

72. Η παρακάτω μεταβολή ,
$${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} ,$$

παριστάνει μία :

- α. σχάση
- β. χημική αντίδραση
- γ. αυτοκατάλυση
- δ. σύντηξη
- ε. εξώθερμη αντίδραση

Δραστηριότητα



Η πυρηνική ενέργεια, μία παρεξηγημένη πηγή ηλεκτρισμού

Η χρήση της πυρηνικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος είναι αρκετά παρεξηγημένη, λόγω άγνοιας κυρίως, στη σημερινή κοινωνία.. Καλό λοιπόν είναι να γίνει μία σύγκριση με τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, οι οποίοι καταναλώνουν απολιθωμένα καύσιμα.

Η σύγκριση να περιλάβει τα εξής θέματα :

1. Περιβάλλον. Όξινη βροχή , CO_2 , NO_x , SO_2 .
2. Υγεία. ακτινοβολίες, πυρηνικές δοκιμές, ατομικά όπλα.

3. Ασφάλεια. Ατυχήματα Chernobyl, Three mile island. Συνέπειες.

4. Απόβλητα. Όγκος, είδη και φύλαξη αποβλήτων.

5. Διαρροή τεχνολογίας σε «τρομοκράτες».

6. Κόστος.

Με βιβλιογραφική έρευνα να στηρίξετε επιχειρήματα υπέρ ή κατά των πυρηνικών σταθμών.

Να συλλέξετε στοιχεία για τα πυρηνικά ατυχήματα που αναφέρονται παραπάνω.

Τι είναι η «ιπτάμενη τέφρα»;

Ποιες γειτονικές μας χώρες διαθέτουν πυρηνικούς σταθμούς ;

Παίζει ρόλο η σεισμικότητα της περιοχής ;

Τι ρόλο παίζει ο λιγνίτης στη χώρα μας ;

Απαντήσεις στις ασκήσεις πολλαπλής επιλογής ή σωστού λάθους

- | | | |
|-------------|---|------------------------|
| 23. δ | 37. ;= 1^3H | 55. ε |
| 24. δ | 38. α | 56. γ |
| 25. γ | 40. γ | 59. γ |
| 26. β | 41. γ | 60. ε |
| 29. γ | 43. β | 61. μαζικό,
ατομικό |
| 30. β και γ | 44. ε | 62. α |
| 31. α | 47. δ | 65. δ |
| 32. ε | 48. α | 67. δ |
| 33. β | 49. δ | 68. δ |
| 34. ε | 51. μακρύτερος κατά
10^{27} χρόνια | 69. δ |
| 35. δ | 52. γ | 71. δ |
| 36. β | 53. γ | 72. δ |



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

➤ **ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΟΡΩΝ**

➤ **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ**

➤ **ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΝΟΜΑΤΩΝ**

ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΟΡΩΝ

A

Ακόρεστο διάλυμα: το διάλυμα στο οποίο μπορεί να διαλυθεί και άλλη ποσότητα διαλυμένης ουσίας σε σταθερές συνθήκες.

Αραιό διάλυμα: το διάλυμα μικρής περιεκτικότητας.

Αριθμός οξειδωσης: ενός ατόμου σε μία ομοιοπολική ένωση ορίζεται το φαινομενικό φορτίο που θα αποκτήσει το άτομο, αν τα κοινά ζεύγη ηλεκτρονίων αποδοθούν στο ηλεκτραρνητικότερο άτομο. Αντίστοιχα, αριθμός οξειδωσης ενός ιόντος σε μια ιοντική ένωση είναι το πραγματικό φορτίο του ιόντος.

Ατμοσφαιρική ρύπανση: η αλλοίωση της ποιοτικής και ποσοτικής

σύστασης του ατμοσφαιρικού αέρα που μπορεί να έχει βλαβερές συνέπειες.

Ατομική ακτίνα: καθορίζει το μέγεθος του ατόμου.

Ατομικό βάρος: Βλέπε Σχετική ατομική μάζα

Ατομικός αριθμός (Z): ο αριθμός πρωτονίων του πυρήνα ενός ατόμου.

Ατομικότητα: ο αριθμός των ατόμων στο μόριο του στοιχείου.

Άτομο: το μικρότερο σωματίδιο ενός στοιχείου που μπορεί να πάρει μέρος στο σχηματισμό χημικών ενώσεων.

B

Βάσεις: κατά τον Arrhenius οι ενώσεις που στα υδατικά τους διαλύματα δίνουν OH^- .

Βασικά οξειδία: οξειδία που έχουν τη χημική συμπεριφορά βάσεων.

Βασικός χαρακτήρας: κοινές ιδιότητες των βάσεων.

Γ

Γραμμομοριακός όγκος (V_m): ο όγκος που καταλαμβάνει το 1 mol ουσίας σε ορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Χρησιμοποιείται στα αέρια.



Δείκτες: χημικές ουσίες που προσδιορίζουν το pH ενός διαλύματος κατά προσέγγιση.

Διάλυμα: ομογενές μίγμα δύο ή περισσότερων συστατικών.

Διαλυμένη ουσία: το συστατικό του διαλύματος που βρίσκεται σε μικρότερη αναλογία.

Διαλύτης: το συστατικό του διαλύματος που βρίσκεται συνήθως στη μεγαλύτερη αναλογία και έχει την ίδια φυσική κατάσταση με αυτή του διαλύματος.

Διαλυτότητα: η μέγιστη ποσότητα της διαλυμένης ουσίας που μπορεί να διαλυθεί σε συγκεκριμένο διαλύτη και σε σταθερές συνθήκες.

Διεθνές Σύστημα Μονάδων, SI:
μετρικό σύστημα μεγεθών που
καθορίστηκε μετά από διεθνή
συμφωνία και ακολουθείται από
όλες σχεδόν τις χώρες.

E

Ενδόθερμη αντίδραση: η αντίδραση κατά την οποία απορροφάται θερμότητα.

Εξάχνωση: η μετατροπή μιας ουσίας κατευθείαν από την στερεά στην αέρια κατάσταση.

Εξουδετέρωση: η αντίδραση ενός οξέος με μία βάση, δηλαδή η ένωση H^+ και OH^- προς σχηματισμό νερού.

Εξώθερμη αντίδραση: η αντίδραση κατά την οποία εκλύεται θερμότητα.

Επαμφοτερίζοντα οξειδία: οξειδία που έχουν άλλοτε συμπεριφορά βάσεων και άλλοτε οξέων.

Ετερογενές μίγμα: μίγμα που δεν έχει ίδια σύσταση σ' όλη την έκτασή του.

Z

Ζυγός: όργανο μέτρησης μάζας.

H

Ηλεκτραρνητικότητα: στοιχείου ονομάζεται η τάση του ατόμου στοιχείου να έλκει ηλεκτρόνια, όταν αυτό συμμετέχει στο σχηματισμό πολυατομικών συγκροτημάτων.

Ηλεκτρόνια σθένους: ηλεκτρόνια εξωτερικής στιβάδας που καθορί-

ζουν τη χημική συμπεριφορά του ατόμου.

Ηλεκτρόνιο: υποατομικό σωματίδιο που κινείται γύρω από τον πυρήνα. Φέρει το στοιχειώδες αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο, e^- .

Ημιζωή: βλέπε χρόνος υποδιπλασιασμού.

I

Ιόν: το φορτισμένο άτομο ή το φορτισμένο συγκρότημα ατόμων.

Ιονίζουσα ακτινοβολία: ακτινοβολία που προκαλεί σχηματισμό ιόντων.

Ιοντικός ή ετεροπολικός δεσμός: ο δεσμός που δημιουργείται με αποβολή και πρόσληψη ηλεκτρονίων.

Ισότοπα: άτομα με τον ίδιο ατομικό αλλά διαφορετικό μαζικό αριθμό.

K

Καταλύτης: χημική ουσία που αυξάνει την ταχύτητα μιας αντίδρασης, χωρίς να καταναλώνεται.

Καύση: η αντίδραση μιας ουσία με οξυγόνο ή αέρα που συνοδεύεται από παραγωγή φωτός και θερμότητας.

Κορεσμένο διάλυμα: το διάλυμα στο οποίο έχει διαλυθεί η μέγιστη ποσότητα της ουσίας σε σταθερές συνθήκες.

M

Μάζα: το ποσό της ύλης που περιέχεται σε ένα σώμα

Μαζικός αριθμός (A) : ο αριθμός των πρωτονίων και των νετρονίων στον πυρήνα ενός ατόμου.

Μεταθετική αντίδραση: αντίδραση στην οποία δεν υπάρχει μεταβολή στους αριθμούς οξείδωσης των στοιχείων που μετέχουν σ' αυτές.

Μεταστοιχείωση: η μετατροπή ενός χημικού στοιχείου σε άλλο μέσω πυρηνικής αντίδρασης.

Μίγμα: αποτελείται από δύο ή περισσότερες καθαρές ουσίες οι οποίες διατηρούν την ταυτότητα και τις ιδιότητές τους.

Mol (mol): μονάδα ποσότητας ουσίας στο S.I. Το 1 mol είναι η ποσότητα που περιέχει N_A σωματίδια.

Μόριο: Μόριο είναι το μικρότερο κομμάτι μιας καθορισμένης ουσίας

(ένωσης ή στοιχείου) που μπορεί να υπάρξει ελεύθερο, διατηρώντας τις ιδιότητες της ύλης από την οποία προέρχεται.

Μοριακός Τύπος: δείχνει από ποια στοιχεία αποτελείται η ένωση και τον ακριβή αριθμό των ατόμων στο μόριο της ένωσης.

N

Νετρόνιο: υποατομικό σωματίδιο του πυρήνα, ηλεκτρικά ουδέτερο.

Νουκλεόνια: σωματίδια του πυρήνα δηλαδή πρωτόνια και νετρόνια.

O

Ογκομετρική φιάλη: όργανο μέτρησης όγκου.

Ογκομετρικός κύλινδρος: όργανο

μέτρησης όγκου.

Όγκος: ο χώρος που καταλαμβάνει ένα σώμα.

Ομάδα: κατακόρυφη στήλη του περιοδικού πίνακα με στοιχεία που έχουν ανάλογες ιδιότητες.

Ομογενές μίγμα: μίγμα με ίδια σύσταση και ιδιότητες σ' όλη την έκταση του.

Ομοιοπολικός δεσμός: ο δεσμός που δημιουργείται με αμοιβαία συνεισφορά ηλεκτρονίων.

Οξέα: κατά τον Arrhenius οι υδρογονούχες ενώσεις που στα υδατικά τους διαλύματα δίνουν H^+ .

Οξειδία: ενώσεις στοιχείων με το οξυγόνο.

Οξειδοαναγωγική αντίδραση: αντίδραση στην οποία έχουμε

**μεταβολή στους αριθμούς οξειδώ-
σης ορισμένων στοιχείων της
αντίδρασης.**

**Όξινα οξείδια: οξείδια με συμπερι-
φορά οξέων.**

**Όξινη βροχή: η βροχή που έχει pH
μικρότερο του 5,6 (pH της καθαρής
βροχής).**

**Όξινος χαρακτήρας: κοινές
ιδιότητες των οξέων.**

**Ουσία ή καθορισμένο σώμα: σώμα
με καθορισμένη σύσταση και
ιδιότητες.**

Π

**Περιεκτικότητα διαλύματος: το
μέγεθος που δείχνει την ποσότητα
της διαλυμένης ουσίας σε ορισμένη
ποσότητα διαλύματος.**

Περιοδικός πίνακας: πίνακας ταξινόμησης των στοιχείων κατά αύξοντα ατομικό αριθμό.

Περίοδος: οριζόντια σειρά του περιοδικού πίνακα που περιέχει στοιχεία με άτομα που έχουν «χρησιμοποιήσει» τον ίδιο αριθμό στιβάδων για την κατανομή των ηλεκτρονίων τους.

Πε-χα (pH): δείχνει πόσο όξινο ή βασικό είναι ένα διάλυμα.

Πεχάμετρο: όργανο μέτρησης του pH ενός διαλύματος με ακρίβεια.

Προχούϊδα: όργανο μέτρησης όγκου.

Πυκνό διάλυμα: διάλυμα μεγάλης περιεκτικότητας.

Πυκνότητα (ρ): το πηλίκο της μάζας προς τον αντίστοιχο όγκο.

Πυρηνική Χημεία: η χημεία που ασχολείται με τις μεταβολές του πυρήνα ενός ατόμου.

P

Ραδιενέργεια: η ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται κατά τη ραδιενεργό αποσύνθεση – διάσπαση – ασταθών πυρήνων προς σταθερότερους.

Σ

Σιφώνιο εκροής: όργανο μέτρησης όγκου.

Σχετική ατομική μάζα (A_r): Ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές είναι μεγαλύτερη η μάζα ενός ατόμου από το 1/12 της μάζας του ατόμου του άνθρακα-12.

Αντικαθιστά τον όρο ατομικό βάρος.

Στιβάδα: Τα ηλεκτρόνια που κινούνται στην ίδια περίπου απόσταση από τον πυρήνα λέμε ότι βρίσκονται στην ίδια στιβάδα ή φλοιό ή ενεργειακή στάθμη.

Φ

Φυσικές ιδιότητες: οι ιδιότητες ενός σώματος που προσδιορίζονται χωρίς να μεταβάλλεται η χημική του σύσταση.

Φυσικό φαινόμενο: η μεταβολή στην οποία αλλάζουν ορισμένες από τις φυσικές ιδιότητες των ουσιών, ενώ η χημική σύσταση διατηρείται.

Χ

Χημεία: η επιστήμη της ύλης και των μεταμορφώσεων της.

Χημικές ιδιότητες: οι ιδιότητες

ενός σώματος που προσδιορίζονται με μεταβολή της χημικής τους σύστασης.

Χημική ένωση: καθορισμένη ουσία που αποτελείται από δύο τουλάχιστον άτομα που έχουν διαφορετικό ατομικό αριθμό.

Χημικό στοιχείο ή στοιχείο: καθορισμένη ουσία που αποτελείται από άτομα με τον ίδιο ατομικό αριθμό.

Χημικό φαινόμενο: η μεταβολή στην οποία έχουμε ριζική αλλαγή στη σύσταση και στις ιδιότητες των ουσιών.

Χρόνος υποδιπλασιασμού (ημιζωή), $t_{1/2}$: ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για να διασπαστεί η μισή από την αρχική ποσότητα του ραδιενεργού υλικού.

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

αέρια κατάσταση	72, 1ος τ.
αερίων πίνακας	92, 3ος τ.
ακτίνες α.....	24,28, 5ος τ.
ακτίνες β.....	24, 5ος τ.
ακτίνες γ	24, 5ος τ.
άλατα	56, 3ος τ.
αλυσιδωτή αντίδραση	64, 5ος τ.
ανάμιξη διαλυμάτων	78, 5ος τ.
αντίδραση απλής αντικατάστασης.....	83, 3ος τ.
αντίδραση αποσύνθεσης ..	82, 3ος τ.
αντίδραση διάσπασης.....	82, 3ος τ.
αντίδραση διπλής αντικατάστασης.....	90, 3ος τ.
αντίδραση εξουδετέρωσης.....	95, 3ος τ.
αντίδραση σύνθεσης	81, 3ος τ.
αντιδραστήρας ατομικός (πυρηνικός).....	64, 5ος τ.

απαριθμητής	
σπινθηρισμών	37, 5ος τ.
απόδοση αντίδρασης	78, 3ος τ.
αποτελεσματική κρούση ...	71, 3ος τ.
αραίωση διαλύματος	73, 4ος τ.
αριθμοί οξείδωσης	
(πίνακας).....	108,109, 2ος τ.
αριθμός Avogadro	29, 4ος τ.
αριθμός οξείδωσης	108, 2ος τ.
ατομική ακτίνα	62, 2ος τ.
ατομική μονάδα	
μάζας(amu)	21, 4ος τ.
ατομικός αριθμός	66, 1ος τ.
ατομικότητα στοιχείου	54, 1ος τ.
άτομο	53,57, 1ος τ./17,2ος τ.
βάρος.....	37,1ος τ.
βάσεις.....	26, 3ος τ.
βασικός χαρακτήρας.....	38, 3ος τ.
γραμμομοριακός όγκος	37, 4ος τ.
δείκτες	42, 3ος τ.
διάλυμα	91, 1ος τ.
διάλυμα ακόρεστο.....	99, 1ος τ.

διάλυμα αραιό.....	94, 1ος τ.
διάλυμα βασικό	41, 3ος τ.
διάλυμα κορεσμένο	99, 1ος τ.
διάλυμα όξινο	41, 3ος τ.
διάλυμα ουδέτερο.....	41, 3ος τ.
διάλυμα πυκνό	94, 1ος τ.
διάλυμα περιεκτικό- τητας.....	95, 1ος τ./66, 4ος τ.
διαλυμένη ουσία	91, 1ος τ.
διαλύτης	91, 1ος τ.
διαλυτότητα	98, 1ος τ.
διεθνές σύστημα μονάδων, SI	30, 32, 1ος τ.
δραστικότητας σειρά	85, 3ος τ.
ενδόθερμη αντίδραση	78, 3ος τ.
εξάχνωση	73, 1ος τ.
εξουδετέρωση	95, 3ος τ.
εξώθερμη αντίδραση	78, 3ος τ.
ετεροπολικός δεσμός	67, 2ος τ.
ευγενή αέρια	55, 1ος τ.
ηλεκτραρνητικότητα.....	67, 2ος τ.
ηλεκτρολύτης	12, 3ος τ.

ηλεκτρολυτική διάσταση ..	13, 3ος Τ.
ηλεκτρόνια σθένους	57, 2ος Τ.
ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	20, 24, 5ος Τ.
ηλεκτρονιακή δομή	34, 2ος Τ.
ηλεκτρονιακός τύπος	90, 2ος Τ.
ηλεκτρόνιο	62, 1ος Τ.
ηλεκτρονίων κατανομή	30, 2ος Τ.
ημιζωή	32, 5ος Τ.
Θεωρία Arrhenius	13, 3ος Τ.
ίζημα	89, 92, 3ος Τ.
ιζημάτων πίνακας	92, 3ος Τ.
ιόν	56, 1ος Τ.
ιονίζουσα ακτινοβολία	74, 5ος Τ.
ιοντικός δεσμός	67, 2ος Τ.
ισότοπα	68, 1ος Τ.
καθοδικές ακτίνες	24, 5ος Τ.
καταλύτης	76, 3ος Τ.
καταστατική εξίσωση αερίων	53, 59, 4ος Τ.
κβαντικός αριθμός, κύριος	21, 2ος Τ.

κοσμική ακτινοβολία.....	45, 5ος τ.
κρύσταλλος.....	69, 2ος τ.
κρυσταλλικό πλέγμα	
.....	57, 1ος τ./76, 2ος τ.
μάζα	39, 1ος τ.
μάζα υποατομικών	
σωματιδίων.....	64, 1ος τ.
μαζικός αριθμός.....	67, 1ος τ.
μεταθετική αντίδραση	89, 3ος τ.
μεταστοιχείωση.....	11, 5ος τ.
μίγμα.....	85, 1ος τ.
μίγμα ομογενές.....	89, 1ος τ.
μίγμα ετερογενές	89, 1ος τ.
μολ, mol	31, 4ος τ.
μονάδες μέτρησης	
.....	28, 31, 1ος τ.
μοριακός τύπος (γραφή)	
.....	112, 2ος τ.
μοριακός τύπος (ονομασία)	
.....	113, 2ος τ.
μοριακότητα κατ' όγκο, (Molarity)	66, 4ος τ.

μόριο	50, 1ος τ.
νετρόνιο	64, 1ος τ.
νόμος Boyle	53, 4ος τ.
νόμος Charles.....	55, 4ος τ.
νόμος διατήρησης της μάζας	67, 3ος τ.
νόμος Gay-Lussac	59, 4ος τ.
νουκλεόνια	69, 1ος τ.
νουκλίδιο.....	16, 5ος τ.
όγκος	41, 1ος τ.
ομάδα περιοδικού πίνακα	45, 2ος τ.
ομοιοπολικός δεσμός	84, 2ος τ.
ομοιοπολικός μη πολικός δεσμός	59, 3ος τ.
ομοιοπολικός πολικός δεσμός	60, 3ος τ.
ονοματολογία ανόργανων ενώσεων	65, 3ος τ.
οξέα ανόργανα.....	15, 3ος τ.
οξειδία	48, 3ος τ.
οξειδία βασικά	53, 3ος τ.

οξειδία επαμφοτερίζοντα ..	55, 3ος τ.
οξειδία όξινα	51, 3ος τ.
οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις	80, 3ος τ.
όξινη βροχή	100, 3ος τ.
όξινος χαρακτήρας	32. 3ος τ.
όργανα μέτρησης μάζας ...	40, 1ος τ.
ουράνιο	19, 5ος τ.
παγκόσμια σταθερά αερίων	61, 4ος τ.
περιεκτικότητα διαλύματος	91,95, 3ος τ./66,4ος τ.
περιοδικός νόμος	36,2ος τ.
περιοδικός πίνακας	35,52,2ος τ.
περίοδος περιοδικού πίνακα	38,2ος τ.
περίσσεια	93,96,4ος τ.
πε-χα(pH)	41,3ος τ.
πεχάμετρο.....	45,3ος τ.
πρότυπες συνθήκες, STP ..	40,4ος τ.
πρωτόνιο	62,1ος τ.
πυκνότητα.....	46,1ος τ.

πυκνότητα αερίου	64,	4ος τ.
πυρήνας	62,65,	1ος τ.
πυρήνας ασταθής	16,	5ος τ.
πυρήνας μητρικός	21,	5ος τ.
πυρηνική αντίδραση	12,	5ος τ.
πυρηνική χημεία	12,	5ος τ.
ραδιενέργεια	19,	5ος τ.
ραδιενεργός διάσπαση	20,	5ος τ.
ραδιοθεραπεία	58,	5ος τ.
ραδιοϊσότοπο	29,	5ος τ.
ραδιοχρονολόγηση.....	56,	5ος τ.
σπινθηροσκόπιο	37,	5ος τ.
σταλαγμίτες	112,	3ος τ.
σταλακτίτες	112,	3ος τ.
στερεά κατάσταση	71,	1ος τ.
στιβάδα	61,	1ος τ./19,
στοιχείο (χημικό).....	86,	1ος τ.
στοιχειομετρικές ασκήσεις	86,	4ος τ.
συγκέντρωση διαλύματος .	66,	4ος τ.
συμπύκνωση διαλύματος .	75,	4ος τ.
συντελεστές χημικής		

εξίσωσης	64, 3ος τ.
σύντηξη	62, 5ος τ.
σχάση.....	64, 5ος τ.
σχετική ατομική μάζα, Ar .	19, 4ος τ.
σχετική μοριακή μάζα, Mr .	23, 4ος τ.
σωματίδιο άλφα	24, 5ος τ.
σωματίδιο βήτα	27, 5ος τ.
υγρή κατάσταση.....	72, 1ος τ.
υπόθεση Avogadro	38, 4ος τ.
Φασματογράφος μάζας	22, 4ος τ.
φορτίο υποατομικών σωματιδίων	64, 1ος τ.
φυσικές ιδιότητες	77, 1ος τ.
φυσικό φαινόμενο	79, 1ος τ.
χημικές ιδιότητες.....	78, 1ος τ.
χημική αντίδραση.....	64, 3ος τ.
χημική ένωση	88, 1ος τ.
χημική εξίσωση	64,65,3ος τ.
χημικό φαινόμενο.....	80, 1ος τ.
χημικός δεσμός	67, 2ος τ.
χρόνος υποδιπλασιασμού	33, 5ος τ.

EYPETHPIA ONOMATΩN

Arrhenius	13, 3ος Τ.
Avogadro	28, 4ος Τ.
Becquerel	22, 5ος Τ.
Berzelius	101, 2ος Τ.
Bohr	61, 1ος Τ./22, 2ος Τ.
Boyle	55, 4ος Τ.
Charles	57, 4ος Τ.
Curie	22, 5ος Τ.
Dalton	60, 1ος Τ.
Δημόκριτος	59, 1ος Τ./20, 2ος Τ.
Gay- Lussac	58, 4ος Τ.
Lavoisier	18, 3ος Τ.
Mendeleev	32, 36, 2ος Τ.
Meyer	34, 2ος Τ.
Moseley	35, 2ος Τ.
Newlands	31, 2ος Τ.
Rutherford.....	60, 1ος Τ./14, 5ος Τ.
Schrodinger	60, 1ος Τ.
Soddy	14, 5ος Τ.
Sommerfield	60, 1ος Τ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

➤ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΜΑΖΕΣ ΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ

➤ ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΜΑΖΩΝ ΜΕ ΤΕΣΣΕΡΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ

Σχετικές Ατομικές Μάζες ορισμένων στοιχείων (για υπολογισμούς)		
Άζωτο	N	14
Άνθρακας	C	12
Αργίλιο	Al	27
Άργυρος	Ag	108
Ασβέστιο	Ca	40
Βάριο	Ba	137
Βρώμη	Br	80
Θείο	S	32
Ιώδιο	I	127
Κάλιο	K	39
Κασσίτερος	Sn	119

Μαγγάνιο	Mn	55
Μαγνήσιο	Mg	24
Μόλυβδος	Pb	207
Νάτριο	Na	23
Νικέλιο	Ni	59
Οξυγόνο	O	16
Πυρίτιο	Si	28
Σίδηρος	Fe	56
Υδράργυρος	Hg	201
Υδρογόνο	H	1
Φθόριο	F	19
Φωσφόρος	P	31
Χαλκός	Cu	63,5
Χλώριο	Cl	35,5
Χρώμιο	Cr	52
Ψευδάργυρος	Zn	65

ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΜΑΖΕΣ (A_r) ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΤΕΣΣΕΡΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ

Η σύγκριση έγινε με βάση το ισότοπο ^{12}C που έχει $A_r=12$ ακριβώς

Ατομ. Αριθ.	Όνομα	Σύμβολο	A_r
1	Υδρογόνο	H	1.008
2	Ήλιο	He	4.003
3	Λίθιο	Li	6.941
4	Βηρύλλιο	Be	9.012
5	Βόριο	B	10.81
6	Άνθρακας	C	12.01
7	Άζωτο	N	14.01
8	Οξυγόνο	O	16.00
9	Φθόριο	F	19.00
10	Νέο	Ne	20.18
11	Νάτριο	Na	22.99
12	Μαγνήσιο	Mg	24.31

13	Αργίλιο (Αλουμίνιο)	Al	26.98
14	Πυρίτιο	Si	28.09
15	Φώσφορος	P	30.97
16	Θείο	S	32.07
17	Χλώριο	Cl	35.45
18	Αργό	Ar	39.95
19	Κάλιο	K	39.10
20	Ασβέστιο	Ca	40.08
21	Σκάνδιο	Sc	44.96
22	Τιτάνιο	Ti	47.88
23	Βανάδιο	V	50.94
24	Χρώμιο	Cr	52.00
25	Μαγγάνιο	Mn	54.94
26	Σίδηρος	Fe	55.85
27	Κοβάλτιο	Co	58.93
28	Νικέλιο	Ni	58.69
29	Χαλκός	Cu	63.55
30	Ψευδάργυρος	Zn	65.39
31	Γάλλιο	Ga	69.72
32	Γερμάνιο	Ge	72.59

33	Αρσενικό	As	74.92
34	Σελήνιο	Se	78.96
35	Βρώμιο	Br	79.90
36	Κρυπτό	Kr	83.80
37	Ρουβίδιο	Rb	85.47
38	Στρόντιο	Sr	87.62
39	Ύτριο	Y	88.91
40	Ζιρκόνιο	Zr	91.22
41	Νιόβιο	Nb	92.21
42	Μολυβδαίνιο	Mo	95.94
43	Τεχνητίο	⁹⁹ Tc	98.91
44	Ρουθήνιο	Ru	101.1
45	Ρόδιο	Rh	102.9
46	Παλλάδιο	Rd	106.4
47	Άργυρος	Ag	107.9
48	Κάδμιο	Cd	112.4
49	Ίνδιο	In	114.8
50	Κασσίτερος	Sn	118.7
51	Αντιμόνιο	Sb	121.8
52	Τελλούριο	Te	127.6
53	Ιώδιο	I	126.9

54	Ξένιο	Xe	131.3
55	Καίσιο	Cs	132.9
56	Βάριο	Ba	137.3
57	Λανθάνιο	La	138.9
58	Δημήτριο	Ce	140.1
59	Πρασινοδύμιο	Pr	140.9
60	Νεοδύμιο	Nd	144.2
61	Προμήθειο	¹⁴⁵Pm	144.9
62	Σαμάριο	Sm	150.4
63	Ευρώπιο	Eu	152.0
64	Γαδολίνιο	Gd	157.3
65	Τέρβιο	Tb	158.9
66	Δυσπρόσιο	Dy	162.5
67	Όλμιο	Ho	164.9
68	Έρβιο	Er	167.3
69	Θούλιο	Tm	168.9
70	Υπτέρβιο	Yb	173.0
71	Λουτήτιο	Lu	175.0
72	Άφνιο	Hf	178.5
73	Ταντάλιο	Ta	180.9

74	Βολφράμιο (Τουγκστένιο)	W	183.9
75	Ρήνιο	Re	186.2
76	Όσμιο	Os	190.2
77	Ιρίδιο	Ir	192.2
78	Λευκόχρυσος (Πλατίνα)	Pt	195.1
79	Χρυσός	Au	197.0
80	Υδράργυρος	Hg	200.6
81	Θάλλιο	Tl	204.4
82	Μόλυβδος	Pb	207.2
83	Βισμούθιο	Bi	209.0
84	Πολώνιο	^{210}Po	210.0
85	Άστατο	^{210}At	210.0
86	Ραδόνιο	^{222}Rn	222.0
87	Φράγκιο	^{223}Fr	223.0
88	Ράδιο	^{226}Ra	226.0
89	Ακτίνιο	^{227}Ac	227.0
90	Θόριο	Th	232.0
91	Πρωτακτίνιο	^{231}Pa	231.0

92	Ουράνιο	U	238.0
93	Ποσειδώνιο (Νεπτούνιο)	²³⁷Np	237.0
94	Πλουτώνιο	²³⁹Pu	239.1
95	Αμερίκιο	²⁴³Am	243.1
96	Κιούριο	²⁴⁷Cm	247.1
97	Μπερκέλιο	²⁴⁷Bk	247.1
98	Καλιφόρνιο	²⁵²Cf	252.1
99	Αϊνσταϊνίο	²⁵²Es	252.1
100	Φέρμιο	²⁵⁷Fm	257.1
101	Μεντελέβιο	²⁵⁶Md	256.1
102	Νομπέλιο	²⁵⁹No	259.1
103	Λωρένσιο	²⁶⁰Lr	260.1

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

➤ ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΕΣ

➤ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ ΚΑΙ ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ

Μέγεθος	Σύμβολο μεγέθους	Ονομασία μονάδας	Σύμβολο μονάδας
Μήκος	l	μέτρο	m
Μάζα	m	χιλιόγραμο	Kg
Χρόνος	t	δευτερόλεπτο	s
Θερμοκρασία	T	κέλβιν	K
Ποσότητα ουσίας	n	μολ	mol
Ποσότητα ηλεκτρισμού	I	αμπέρ	A
Φωτεινή Ισχύς	I _u	καντέλα	cd

Πρόθεμα	Σύμβολο	Σχέση με τη βασική μονάδα	Παράδειγμα
Mega-	M	10^6	$1\text{Mm}=10^6\text{m}$
Kilo-	k	10^3	$1\text{Km}=10^3\text{m}$
deci-	d	10^{-1}	$1\text{dm}=10^{-1}\text{m}$
centi-	c	10^{-2}	$1\text{cm}=10^{-2}\text{m}$
milli-	m	10^{-3}	$1\text{mm}=10^{-3}\text{m}$
micro-	μ	10^{-6}	$1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$
nano-	n	10^{-9}	$1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$
pico-	p	10^{-12}	$1\text{pm}=10^{-12}\text{m}$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

ΤΙΜΕΣ ΘΕΜΕΛΙΩΔΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ

ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΤΙΜΗ
Φορτίο ηλεκτρονίου	e ή e^-	$1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Σταθερά Faraday	F	$96485 \text{ C/mol } e$
Αριθμός Avogadro	N ή N_A ή N_O	$6,02209 \cdot 10^{23}$ σωματίδια*/ mole
Παγκόσμια σταθερά αερίων	R	$8,2057 \cdot 10^{-2} \text{ L} \cdot$ $\text{atm/mole} \cdot \text{K}$
Γραμμομοριακός όγκος σε ΚΣ	V_m	$22,41 \text{ L}$

*** Τα σωματίδια μπορεί να είναι άτομα (π.χ. Na) μόρια (π.χ. H₂) ιόντα (π.χ. Na⁺), e, άλλα σωματίδια και πρέπει να ορίζονται κάθε φορά**

5. ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΧΗΜΕΙΑ

5.1 Ραδιενεργός διάσπαση – Χρόνος υποδιπλασιασμού – Συνέπειες ραδιενέργειας για τον άνθρωπο – Πηγές ραδιενέργειας15

5.2 Μερικές εφαρμογές ραδιοϊσοτόπων53

5.3 Μεταστοιχειώσεις – Σχάση – Σύντηξη62

Γνωρίζεις ότι: «Το πρόβλημα των ραδιενεργών αποβλήτων»67

Ανακεφαλαίωση –
Λέξεις κλειδιά – Ερωτήσεις –
Ασκήσεις – Προβλήματα73

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΟΡΩΝ106

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ.....122

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΝΟΜΑΤΩΝ131

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

**ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΑΤΟΜΙΚΕΣ ΜΑΖΕΣ
ΟΡΙΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ.....132**

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΑΤΟΜΙΚΩΝ
ΜΑΖΩΝ ΜΕ ΤΕΣΣΕΡΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ
ΨΗΦΙΑ134**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

**ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ
ΜΟΝΑΔΕΣ140**

**ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ ΚΑΙ
ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ
ΜΟΝΑΔΩΝ141**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

**ΤΙΜΕΣ ΘΕΜΕΛΙΩΔΩΝ
ΣΤΑΘΕΡΩΝ142**

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη 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 Υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.