

2. Ατομικά βάρη στοιχείων από φάσματα μάζας

Σκοπός

Με βάση το φάσμα του αερίου νέου (Ne) και την εκατοστιαία φυσική αναλογία των ισοτόπων του, θα βρείτε μια μέθοδο μέτρησης των ισοτοπικών αφθονιών από τα φάσματα μάζας. Κατόπιν, θα εφαρμόσετε τη μεθοδό σας στα φάσματα μάζας του υδραργύρου, του χλωριδίου του υδρογόνου και του βρωμιδίου του υδρογόνου, προκειμένου να προσδιορίσετε την ισοτοπική σύσταση και τα ατομικά βάρη των υδραργύρου, χλωρίου και βρωμίου.

Προσδοκώμενα αποτελέσματα

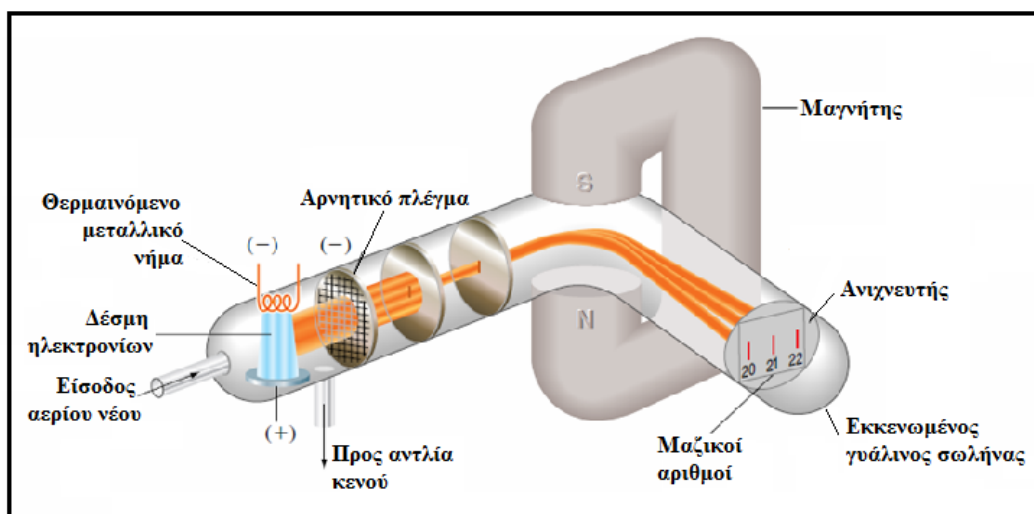
Όταν θα έχετε εκτελέσει αυτή την άσκηση, θα μπορείτε να:

- Σχεδιάζετε το φάσμα μάζας ενός στοιχείου, γνωρίζοντας τα φυσικά ισότοπά του και τις φυσικές αφθονίες αυτών.
- Ερμηνεύετε φάσματα μάζας στοιχείων και απλών μορίων.
- Υπολογίζετε τις ισοτοπικές αφθονίες των ισοτόπων διαφόρων στοιχείων από το φάσμα μάζας αυτών.
- Υπολογίζετε τα ατομικά βάρη στοιχείων από το φάσμα μάζας αυτών.

Θεωρητικό υπόβαθρο

ΑΤΟΜΙΚΑ ΒΑΡΗ (Ebbing / Gammon, Ενότητα 2.4)

Τη γνώση μας για την ύπαρξη των ισοτόπων και της φυσικής τους αναλογίας στα στοιχεία την οφείλουμε στην ανακάλυψη και στη χρήση των φασματομέτρων μάζας (Σχήμα 1). Αυτά τα «έξυπνα» μηχανήματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στον προσδιορισμό των μαζών των ισοτόπων τόσο για στοιχεία όσο και για ενώσεις.



Σχήμα 1
Διάγραμμα ενός απλού φασματομέτρου μάζας που δείχνει τον διαχωρισμό των ισοτόπων του Ne

Αέριο νέο εισέρχεται σε εκκενωμένο θάλαμο, όπου άτομα νέου σχηματίζουν θετικά ιόντα, μετά από σύγκρουση με ηλεκτρόνια. Τα θετικά φορτισμένα άτομα νέου, Ne^+ , επιταχύνονται από ένα αρνητικό πλέγμα και αναγκάζονται να περάσουν ανάμεσα από τους πόλους ενός μαγνήτη. Η δέσμη των θετικά φορτισμένων ατόμων διαχωρίζεται από το μαγνητικό πεδίο σε τρεις δέσμες, σύμφωνα με τις σχέσεις μάζα προς φορτίο. Ακολουθώντας, οι τρεις δέσμες οδεύουν προς έναν ανιχνευτή στο άκρο του σωλήνα. (Ο ανιχνευτής εδώ έχει τη μορφή φωτογραφικής πλάκας. Σε σύγχρονα φασματόμετρα, ο ανιχνευτής είναι ηλεκτρονικός και οι θέσεις των μαζών καταγράφονται από υπολογιστή.)

Για την εκτέλεση αυτής της άσκησης, θα πρέπει να γνωρίζετε πολύ καλά τα ακόλουθα: Τι είναι ατομικός και μαζικός αριθμός. Τι είναι ισότοπα και πώς συμβολίζονται. Σε τι διαφέρουν τα ισότοπα ενός στοιχείου. Παραδείγματα ισωτόπων. Τι είναι το φάσμα μάζας. Επί ποιας αρχής στηρίζεται η λειτουργία του φασματομέτρου μάζας. Ποιες πληροφορίες μάς δίνει το φασματομέτρο μάζας. Τι είναι η ισοτοπική ή κλασματική αφθονία. Τι είναι το ατομικό βάρος ενός στοιχείου και πώς υπολογίζεται από το φάσμα μάζας του στοιχείου.

Ας δούμε το παράδειγμα του μονοατομικού αερίου νέου (Ne). Σε ένα δείγμα αυτού του αερίου υπάρχουν τρία είδη φυσικών ισωτόπων: ^{20}Ne (10 πρωτόνια και 10 νετρόνια), ^{21}Ne (10 πρωτόνια και 11 νετρόνια) και ^{22}Ne (10 πρωτόνια και 12 νετρόνια). Οι φυσικές αφθονίες αυτών των ισωτόπων είναι 90,51%, 0,27% και 9,22%, αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι σε κάθε 10.000 άτομα νέου, 9051 είναι άτομα ^{20}Ne , 27 είναι άτομα ^{21}Ne και 922 είναι άτομα ^{22}Ne .

1. Ατομικό βάρος του νέου (Ne)

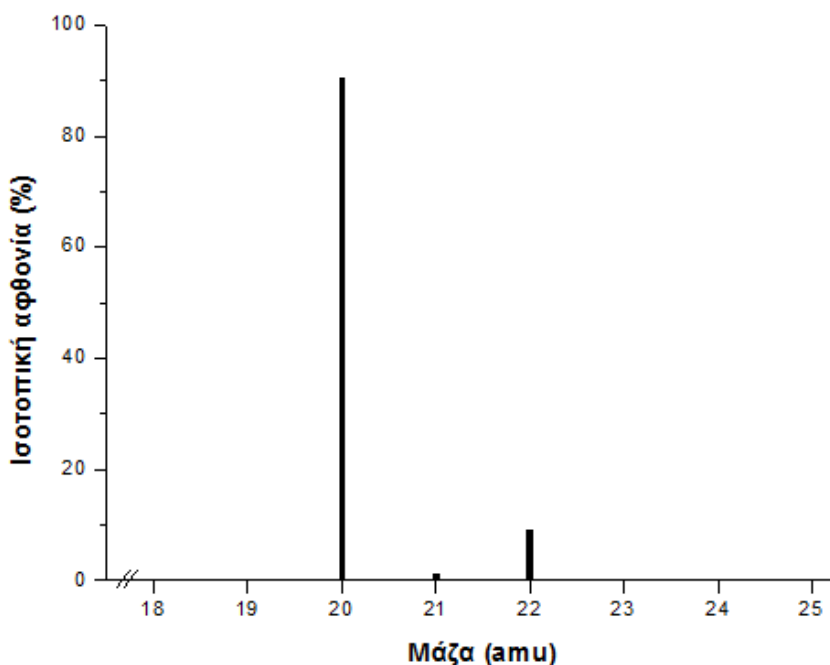
Το φασματομέτρο μάζας μάς δίνει τις ακόλουθες μάζες (σε παρένθεση) για τα τρία ισότοπα του νέου: Νέο-20 (19,992 amu), νέο-21 (20,994 amu) και νέο-22 (21,991 amu). Για τον υπολογισμό του ατομικού βάρους του νέου, πολλαπλασιάζουμε κάθε ισοτοπική μάζα με την ισοτοπική αφθονία και αθροίζουμε τα επιμέρους γινόμενα:

$$(19,992 \text{ amu} \times 0,9051) + (20,994 \text{ amu} \times 0,0027) + (21,991 \text{ amu} \times 0,0922) = 20,179 \text{ amu}$$

Το ατομικό βάρος του νέου είναι 20,179 amu.

2. Φάσμα μάζας ατόμων

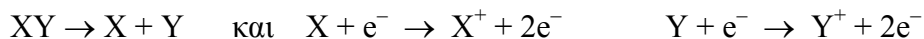
Στο Σχήμα 2 βλέπετε το φάσμα μάζας του νέου. Πόσες κορυφές διακρίνετε; Σε ποιες τιμές ατομικής μάζας και ισοτοπικής αφθονίας αντιστοιχούν αυτές; Ποια προσέγγιση διακρίνετε στην αφετηρία καθεμιάς από τις τρεις κορυφές; Ποιο συμπέρασμα συνάγετε;



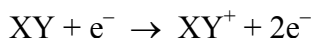
Σχήμα 2 Το φάσμα μάζας του νέου (Ne)

3. Φάσμα μάζας μορίων: Θραυσματοποίηση

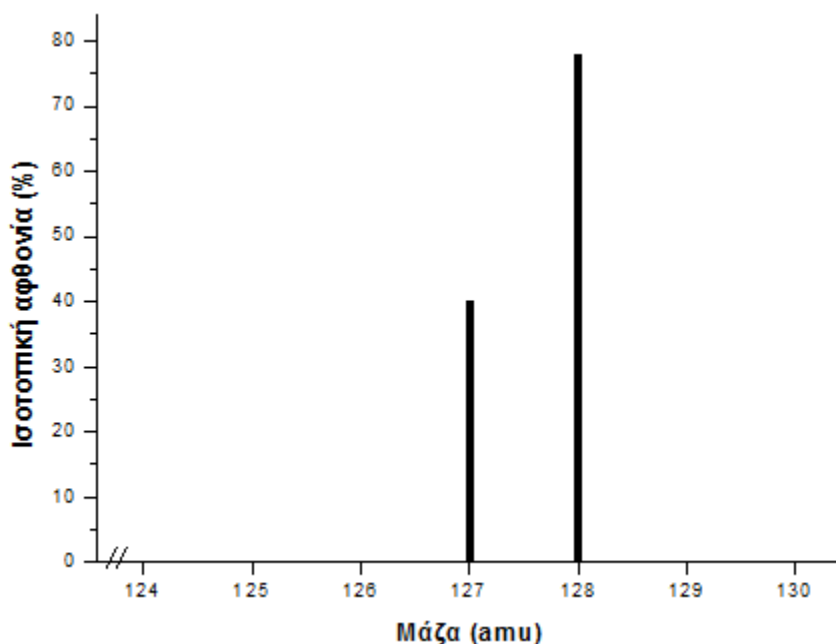
Όταν ένα υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνιο συγκρούεται με ένα μόριο XY, το αποτέλεσμα είναι κάπως πιο πολύπλοκο από εκείνο της σύγκρουσής του με ένα άτομο. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του συγκρουόμενου ηλεκτρονίου μεταφέρεται στο μόριο XY. Αν αυτή η ενέργεια είναι επαρκής, μπορεί να σπάσει κάποιος χημικός δεσμός και το μόριο να γίνει δύο κομμάτια (θραυσματοποίηση). Κάθε κομμάτι (θραύσμα) μπορεί να συγκρουσθεί με κάποιο άλλο ηλεκτρόνιο και να αποκτήσει ένα θετικό φορτίο:



Έτσι, το φάσμα μάζας ενός μορίου περιέχει σήματα οφειλόμενα σε θραύσματα του μορίου, αλλά και σήματα οφειλόμενα στο ακέραιο μητρικό μόριο XY:



Ως παράδειγμα, ας εξετάσουμε το φάσμα μάζας του ιωδιδίου του υδρογόνου, HI (Σχήμα 3). Το σήμα στον μαζικό αριθμό 128 αποδίδεται στα ιόντα HI^+ , αφού το ιώδιο αποτελείται αποκλειστικά από άτομα ^{127}I και ο μαζικός αριθμός του υδρογόνου είναι 1 ($127 + 1 = 128$). Σημειώστε ότι το ^1H είναι το μοναδικό ισότοπο του υδρογόνου που επηρεάζει το φάσμα μάζας, επειδή η ισοτοπική αφθονία του άλλου φυσικού του ισότοπου, του ^2H (δευτερίου) είναι μόνο 0,015%. Τέλος, το σήμα στον μαζικό αριθμό 127 αποδίδεται στα ιόντα $^{127}\text{I}^+$ που προέρχονται από τη διάσπαση του μητρικού μορίου HI. Επίσης, να σημειώσουμε ότι δεν προσπαθούμε να ερμηνεύσουμε τις σχετικές εντάσεις των σημάτων που οφείλονται στο μητρικό ιόν (HI^+) και στο προϊόν της θραυσματοποίησης (I^+). *Ερμηνεύουμε τις σχετικές εντάσεις δύο ή περισσότερων σημάτων μόνον όταν αυτά οφείλονται σε ισότοπα.*



Σχήμα 3 Το φάσμα μάζας του ιωδιδίου του υδρογόνου (HI)

2. Ατομικά βάρη στοιχείων από φάσματα μάζας

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ

Όνοματεπώνυμο

Τμήμα (Α.Μ.)

Ημερομηνία

Επιβλέπων

1. Το φάσμα μάζας ενός υποθετικού στοιχείου X εμφανίζει ένα σήμα (a) στον μαζικό αριθμό 13 και ένα σήμα (b) στον μαζικό αριθμό 15 με σχέση υψών $(a)/(b) = 1/4$.

(α) Σχεδιάστε το φάσμα μάζας του X.

(β) Πόσα ισότοπα υπάρχουν; Γιατί;

(γ) Πόση είναι η κλασματική αφθονία κάθε ισοτόπου;

(δ) Αν Z είναι ο ατομικός αριθμός του στοιχείου X, πώς συμβολίζονται τα ισότοπά του;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

2. Ένα ισότοπο με μαζικό αριθμό 38 έχει δύο νετρόνια περισσότερα από τα πρωτόνια του. Τίνος στοιχείου είναι το ισότοπο αυτό και πώς συμβολίζεται;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

3. Ένα στοιχείο έχει τρία φυσικά ισότοπα με τις ακόλουθες μάζες και κλασματικές αφθονίες:

Ισοτοπική μάζα (amu)	Κλασματική αφθονία (%)
27,977	92,21
28,976	4,70
29,974	3,09

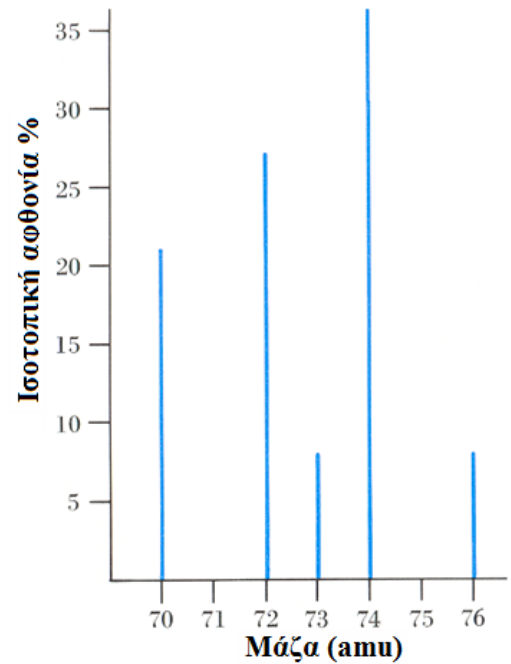
Υπολογίστε το ατομικό βάρος αυτού του στοιχείου. Για ποιο στοιχείο πρόκειται;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

4. Παραπλεύρως δίνεται το φάσμα μάζας του γερμανίου.

- (α) Πόσα ισότοπα έχει το γερμάνιο;
 - (β) Πώς συμβολίζονται τα ισότοπα αυτά;
 - (γ) Ποια είναι περίπου η κλασματική αφθονία των ισωτόπων του γερμανίου;
 - (δ) Πόσο είναι κατά προσέγγιση το ατομικό βάρος του γερμανίου;
- Γιατί η τιμή που προσδιορίζετε είναι προσεγγιστική;

ΑΠΑΝΤΗΣΗ



5. Τα δύο φυσικά ισότοπα του λιθίου, το λίθιο-6 και το λίθιο-7, έχουν μάζες 6,01513 amu και 7,01601 amu, αντίστοιχα.

- (α) Χωρίς να γίνουν αριθμητικές πράξεις, ποιο από τα δύο ισότοπα εμφανίζει τη μεγαλύτερη φυσική αναλογία;
 - (β) Ποια είναι η ακριβής φυσική αναλογία των δύο ισωτόπων;
- Δίνεται: ατομικό βάρος Li = 6,941 amu

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Όργανα - Σκεύη

- Τρίγωνο ορθογώνιο γεωμετρίας
- Υπολογιστής τσέπης (κομπιουτεράκι)

Περίληψη της άσκησης

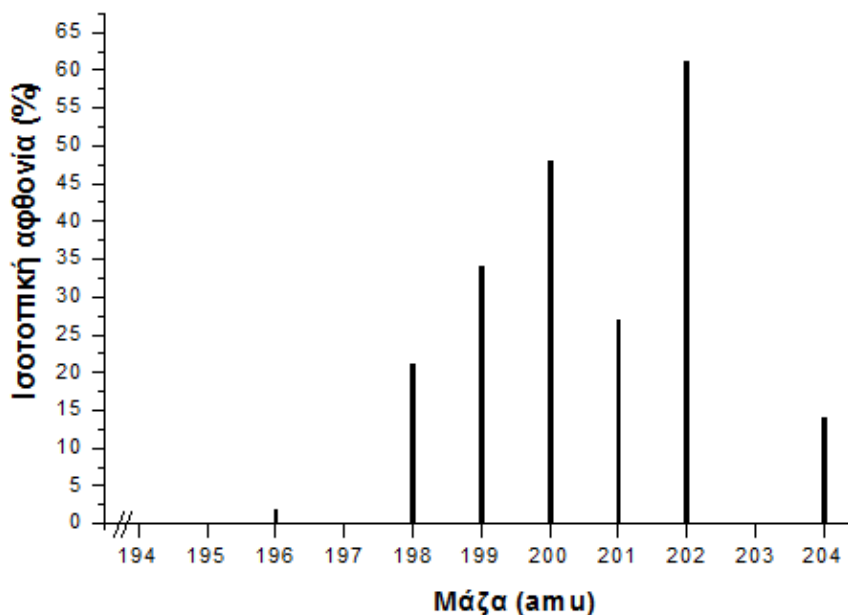
Εδώ θα επινοήσετε μια μέθοδο για τον προσδιορισμό της κλασματικής αφθονίας των ισοτόπων του νέου από το φάσμα μάζας του στοιχείου (Σχήμα 2), λαμβάνοντας υπόψη ότι το ύψος ενός σήματος είναι ανάλογο προς την κλασματική αφθονία του αντίστοιχου ισοτόπου.

Κατόπιν, θα εφαρμόσετε τη μέθοδό σας για να υπολογίσετε τις κλασματικές αφθονίες των ισοτόπων του υδραργύρου από το φάσμα μάζας του στοιχείου (Σχήμα 4). Μετά, θα υπολογίσετε τις κλασματικές αφθονίες των ισοτόπων του χλωρίου από το φάσμα μάζας του χλωριδίου του υδρογόνου (Σχήμα 5). Ένα δείγμα χλωριδίου του υδρογόνου περιέχει μόρια H^{35}Cl και H^{37}Cl . Οι σχετικές αφθονίες αυτών των μορίων θα είναι ίδιες με τις κλασματικές αφθονίες των ισοτόπων ^{35}Cl και ^{37}Cl . Έτσι, οι σχετικές εντάσεις των σημάτων που προέρχονται από ιόντα H^{35}Cl^+ και H^{37}Cl^+ θα αντικατοπτρίζουν τις κλασματικές αφθονίες των δύο ισοτόπων του χλωρίου. Πρόσθετα, θα δείτε και σήματα από τα ιόντα $^{35}\text{Cl}^+$ και $^{37}\text{Cl}^+$ που προέρχονται από τη θραυσματοποίηση των ιόντων H^{35}Cl^+ και H^{37}Cl^+ .

Με παρόμοιο τρόπο, θα βρείτε τις κλασματικές αφθονίες των ισοτόπων του βρωμίου από το φάσμα μάζας του βρωμιδίου του υδρογόνου (Σχήμα 6). Όμως, θα χρειασθεί να εξαγάγετε τους μαζικούς αριθμούς των ισοτόπων του βρωμίου από το φάσμα μάζας αυτού.

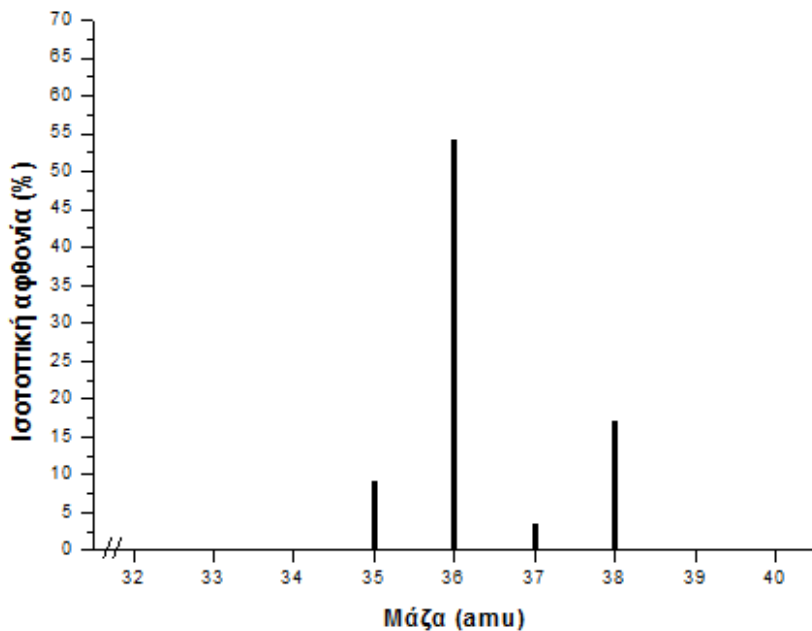
Θα πρέπει να δώσετε μια εξήγηση για την προέλευση κάθε σήματος στα φάσματα, πριν μπορέσετε να υπολογίσετε τις ισοτοπικές αφθονίες του χλωρίου και του βρωμίου.

Επίσης, θα χρειασθεί να υπολογίσετε τα ατομικά βάρη των υδραργύρου, χλωρίου και βρωμίου από τα αποτελέσματά σας. Για τους σκοπούς της παρούσας άσκησης, θα χρησιμοποιήσετε μαζικούς αριθμούς αντί των ατομικών μαζών (ακριβείς τιμές).



Σχήμα 4 Το φάσμα μάζας του υδραργύρου

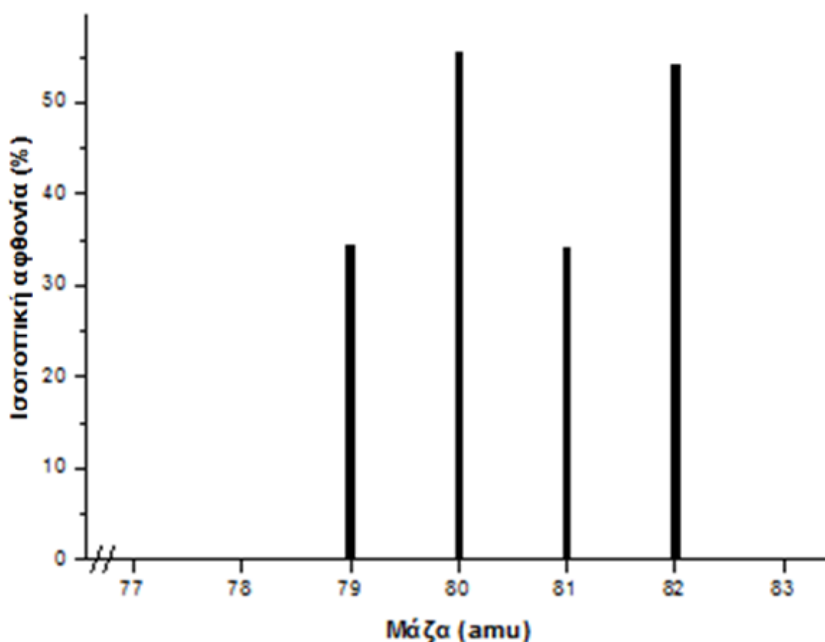
Τέλος, μπορεί να σας ζητηθεί να ερμηνεύσετε και το φάσμα μάζας του στοιχειακού βρωμίου. Η ουσία αυτή αποτελείται από διατομικά μόρια, X_2 , όπως όλα τα αλογόνα. Όπως θα δείτε, η ερμηνεία ενός φάσματος μάζας διατομικού μορίου με περισσότερα του ενός ισότοπα είναι σημαντικά δυσκολότερη από την ερμηνεία ενός μονατομικού στοιχείου, όπως είναι το νέο (Ne).



Σχήμα 5 Το φάσμα μάζας του χλωριδίου του υδρογόνου

Πορεία

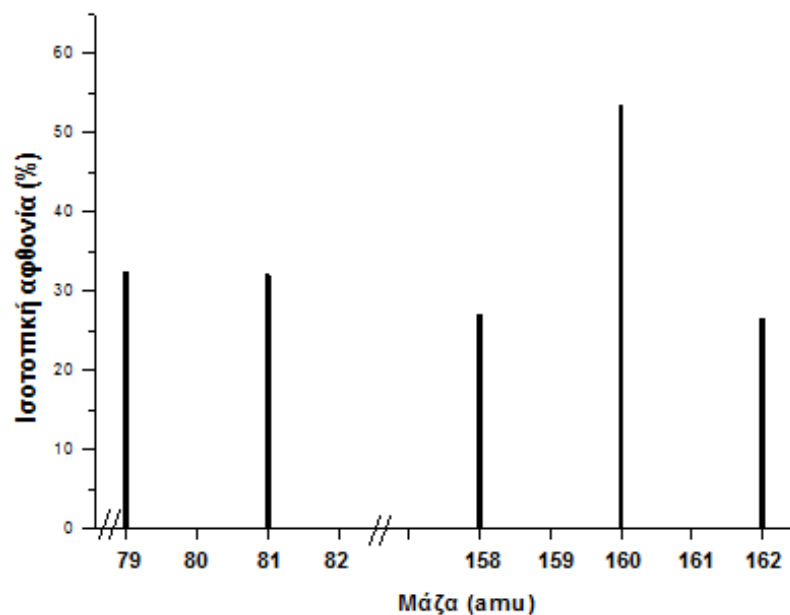
1. Αναφέρετε την προέλευση κάθε σήματος στα φάσματα μάζας του υδραργύρου και του χλωριδίου του υδρογόνου (Σχήματα 4 και 5). Μετρήστε στις μονάδες του άξονα ισοτοπικής αφθονίας τα ύψη των κορυφών (σημάτων) και καταγράψτε τα χρησιμοποιώντας τον ίδιο βαθμό ακρίβειας.



Σχήμα 6 Το φάσμα μάζας του βρωμιδίου του υδρογόνου

2. Θεωρήστε το φάσμα μάζας του βρωμιδίου του υδρογόνου (Σχήμα 6). Ποια ισότοπα του βρωμίου οδηγούν σε αυτό το φάσμα; Καταγράψτε τις απαντήσεις σας. Κάντε τις ίδιες μετρήσεις, όπως προηγουμένως για το φάσμα του υδραργύρου.

3. Επαναλάβετε το βήμα 2 για το φάσμα του στοιχειακού βρωμίου (Σχήμα 7).



Σχήμα 7 Το φάσμα μάζας του στοιχειακού βρωμίου (Br₂)

ΦΥΛΛΟ		ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ
ΕΡΓΑΣΙΑΣ	Ατομικά βάρη στοιχείων από φάσματα μάζας	ΤΜΗΜΑ (Α.Μ.) ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
2		

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

1. Κορυφές υδραργύρου

Μαζικός αριθμός	Ύψος κορυφής (αυθαίρετες μονάδες)
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Κορυφές χλωριδίου του υδρογόνου

Μαζικός αριθμός	Τύπος	Ύψος κορυφής (αυθαίρετες μονάδες)
.....
.....
.....
.....

3. Κορυφές βρωμιδίου του υδρογόνου

Μαζικός αριθμός	Τύπος	Ύψος κορυφής (αυθαίρετες μονάδες)
.....
.....
.....
.....

Πόσα ισότοπα του βρωμίου εμφανίζονται; Εξηγήστε.

4. Κορυφές βρωμίου, Br_2

Μαζικός αριθμός	Τύπος	Ύψος κορυφής (αυθαίρετες μονάδες)
.....
.....
.....
.....
.....

Υπολογισμοί

1. Υπολογίστε τις κλασματικές αφθονίες των ισοτόπων του υδραργύρου, χλωρίου και βρωμίου.

2. Υπολογίστε τα ατομικά βάρη των υδραργύρου, χλωρίου και βρωμίου από τα δεδομένα σας. Χρησιμοποιήστε μαζικούς αριθμούς αντί των ακριβών τιμών των ατομικών μαζών. Συγκρίνετε τα αποτελέσματά σας με τα πραγματικά ατομικά βάρη αυτών των στοιχείων και σχολιάστε τις όποιες διαφορές.

3. Γιατί το φάσμα μάζας του βρωμίου περιέχει τρεις κορυφές των οποίων τα ύψη έχουν περίπου τη σχέση 1:2:1; Ποια είναι η προέλευση αυτών των σημάτων; Πού οφείλεται η εμφάνιση των δύο άλλων σημάτων; Γιατί αυτά έχουν περίπου το ίδιο ύψος;