

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ II

ΑΣΚΗΣΗ: Μελέτη της ακτινοβολίας γάμμα από τα φυσικά
ραδιενεργά ισότοπα και
μέτρηση των μιονίων της κοσμικής ακτινοβολίας
(ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΛΙΟΛΙΟΣ)

ΤΙ ΘΑ ΠΟΥΜΕ ΣΗΜΕΡΑ:

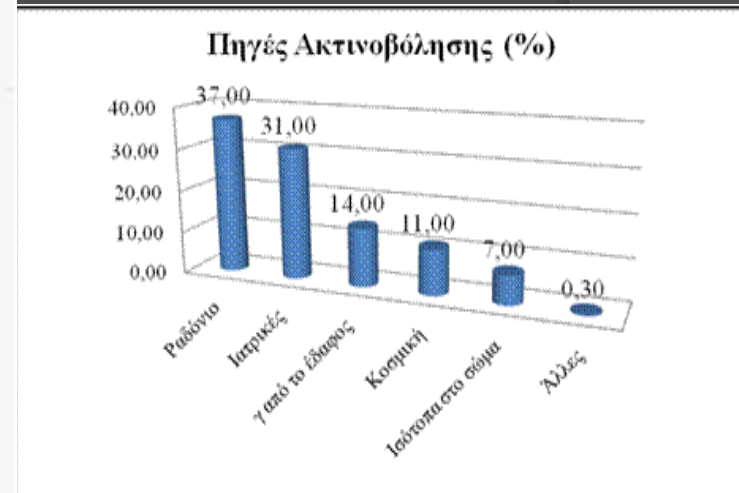
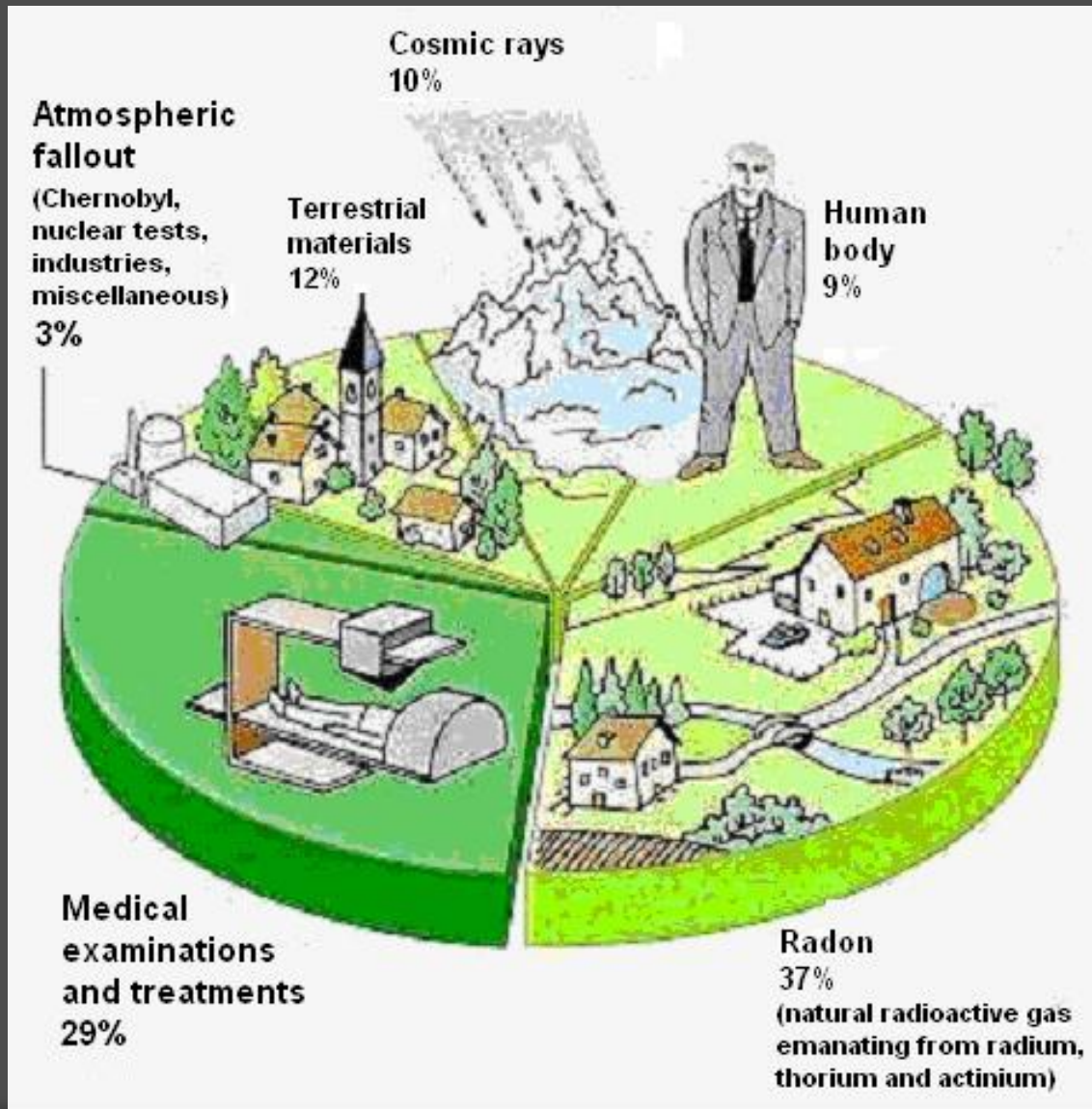
- Ακτινοβολία γάμμα από φυσικά ραδιενεργά
- Μιόνια λόγω κοσμικής ακτινοβολίας
- Σύστημα ανιχνευτή σπινθηρισμών
- Τι μετράμε (σειρά εργασίας)
- Επεξεργασία & συμπεράσματα



Αντικείμενο της άσκησης

- Στην άσκηση αυτή μελετούμε το **υπόστρωμα** (background) ενός ανιχνευτή σπινθηρισμών. Το υπόστρωμα αυτό οφείλεται κυρίως στις εξής δύο αιτίες:
- α) στην ακτινοβολία γάμμα που εκπέμπουν τα φυσικά ραδιενεργά ισότοπα
- β) στα μίονια που δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα.

ΠΗΓΕΣ ΙΟΝΙΣΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



Το ποσοστό ακτινοβόλησης από πηγές ακτίνων γάμμα και από την κοσμική ακτινοβολία είναι το ένα τέταρτο της συνολικής.

Radioactive nuclides on Earth

Three types of radioactive nuclides exist on Earth:

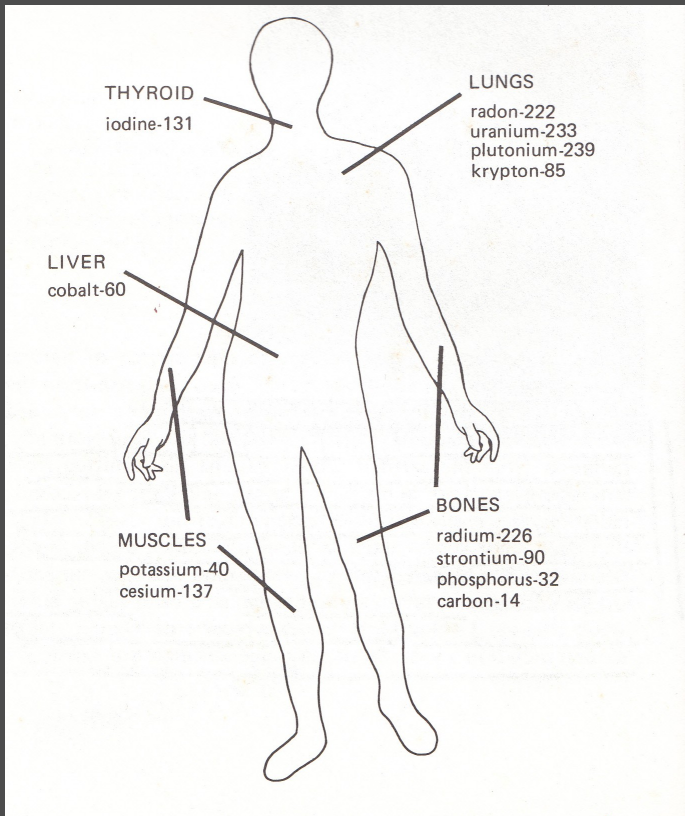
- primordial nuclides,
- cosmogenic nuclides,
- and human-made radionuclides.

RADIOACTIVE ELEMENTS

(a) Primordial Nuclides	Symbol	Half-life	Natural Activity
Uranium-235	^{235}U	$7.04 \times 10^8 \text{ yr}$	0.72% of all uranium
Uranium-238	^{238}U	$4.47 \times 10^9 \text{ yr}$	99.27% of all U, 3.03 $\mu\text{g/l}$ in seawater
Thorium-232	^{232}Th	$1.41 \times 10^{10} \text{ yr}$	
Radium-226	^{226}Ra	$1.6 \times 10^3 \text{ yr}$	
Potassium-40	^{40}K	$1.28 \times 10^9 \text{ yr}$	
Rubidium-87	^{87}Rb	$4.8 \times 10^{10} \text{ yr}$	
(b) Cosmogenic Nuclides	Symbol	Half-life	Natural Activity
Carbon-14	^{14}C	5730. yr	0.22 Bq/g in organic matter
Tritium-3	^3H	12.3 yr	$1.2 \times 10^{-3} \text{ Bq/kg}$
Beryllium-7	^7Be	53.28 da	

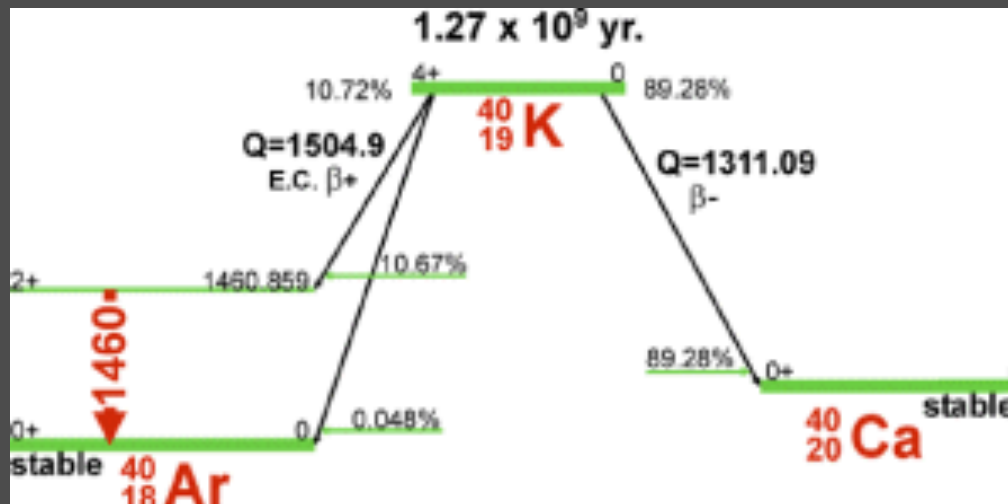
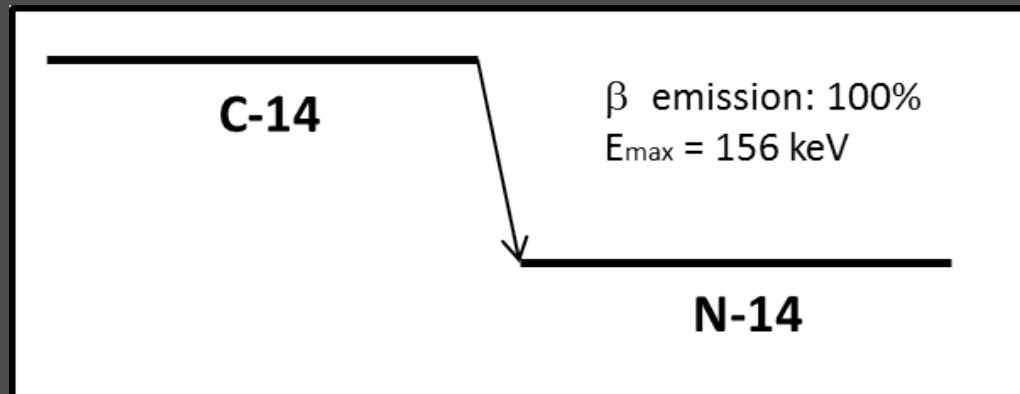
Radioactivity in a human body

Radioactivity found in a typical adult human body of 70 kg.



<u>Nuclide</u>	<u>Total Mass</u>	<u>Total Activity</u>
<u>Uranium</u>	90µg	1.1 Bq
<u>Thorium</u>	30µg	0.11 Bq
<u>Potassium</u>	17 mg	4,400 Bq
<u>Radium</u>	31 pg	1.1 Bq
<u>Tritium</u>	0.06 pg	23 Bq
<u>Polonium</u>	0.2 pg	37 Bq
<u>Carbon</u>	1.8µg	15,000 Bq

^{14}C και ^{40}K



Μέση λαμβανόμενη δόση ανά έτος (mrem/yr) από διάφορες πηγές

<i>Source/Activity</i>	<i>Average Dose/year (or as noted)</i>
<i>5 hour jet plane ride</i>	3 mrem/5 hours
<i>Building materials</i>	4 mrem
<i>Chest X-ray</i>	8 mrem
<i>Cosmic</i>	30 mrem
<i>Soil</i>	29 mrem
<i>Internal to our body</i>	40 mrem
<i>Per Mammogram</i>	138 mrem
<i>Radon gas</i>	200 mrem
<i>Per CT Scan</i>	1000 mrem
<i>Per Cancer treatment</i>	5,000,000 mrem
<i>Smoking 20 cigarettes/day</i>	5300 mrem

rem:

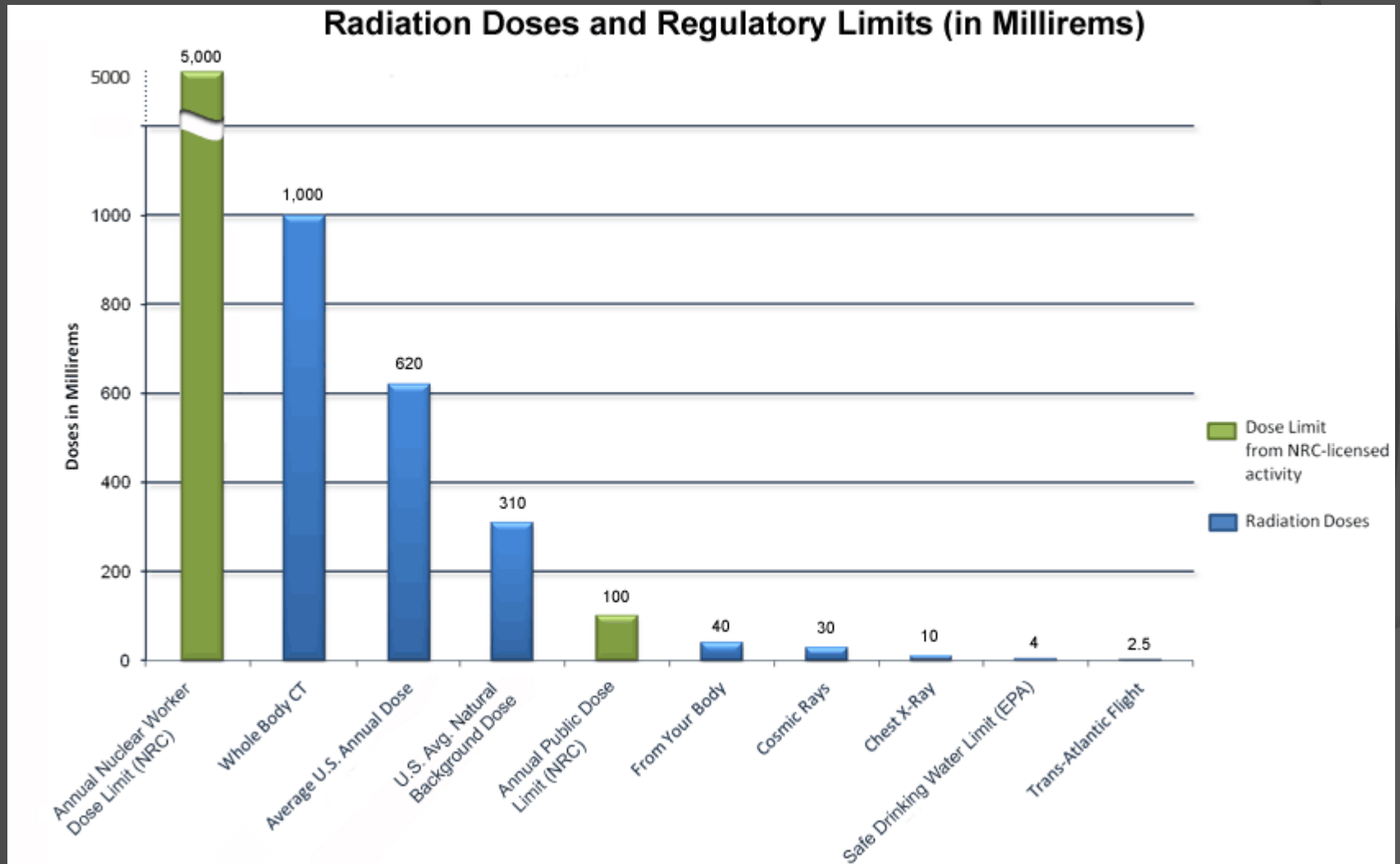
Μονάδα ενεργού απορροφούμενης δόσης από ανθρώπινο ιστό λόγω ιονιστικής ακτινοβολίας. Εκφράζει την επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία της ιονιστικής ακτινοβολίας (και αντιστοιχεί περίπου σε 1 roentgen X-rays).

Η σύγχρονη μονάδα απορροφούμενης δόσης (στο SI) είναι το Sievert.

1 Sv = 100 rem.

1mSv (100 mrem) is the annual dose limit for the general public.

Μέση λαμβανόμενη δόση ανά έτος (mrem/yr) από διάφορες πηγές



Κοσμική ακτινοβολία



Αντικείμενο της άσκησης

- Στην άσκηση αυτή μελετούμε το **υπόστρωμα** (background) ενός ανιχνευτή σπινθηρισμών. Το υπόστρωμα αυτό οφείλεται κυρίως στις εξής δύο αιτίες:
- α) στην ακτινοβολία γάμμα που εκπέμπουν τα φυσικά ραδιενεργά ισότοπα
- β) στα μίονια που δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα.

ΑΝΙΧΝΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ σύστημα σπινθηριστή NaI(Tl)

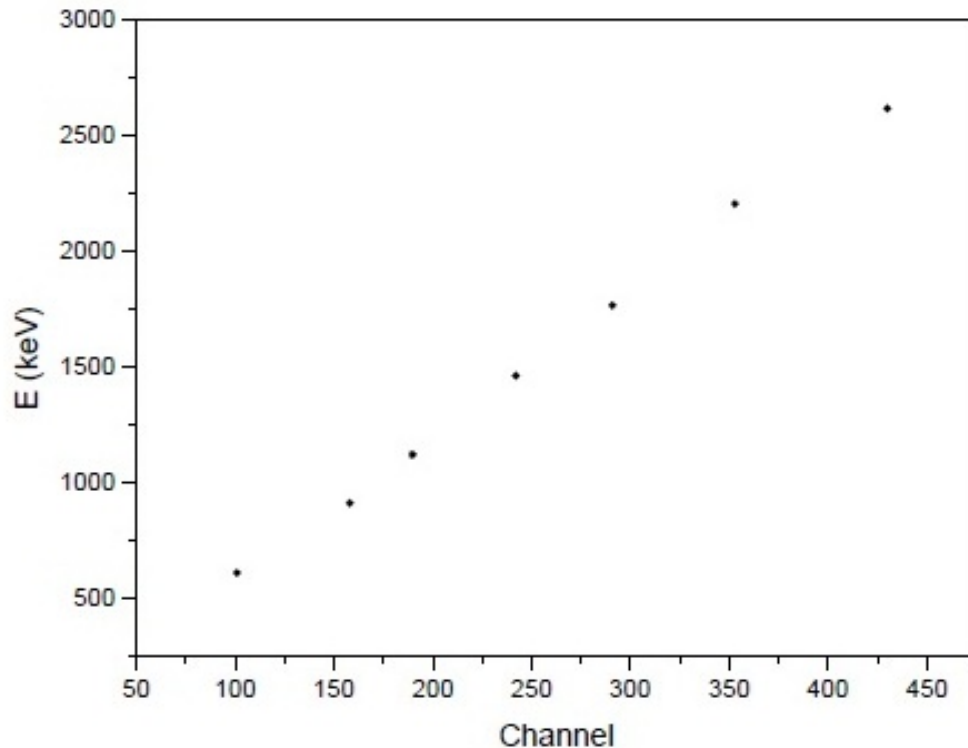


Κρύσταλλος ιωδιούχου νατρίου, εμπλουτισμένου με θάλιο, NaI(Tl), μαζί με τον ΦΠ. Διαστάσεις κρυστάλλου (διάμετρος βάσης x ύψος) 3,81cm x 3,81cm.

Η πλήρης ανιχνευτική διάταξη με τον ανιχνευτή NaI, τον φωτοπολ/στη, τις ηλεκτρονικές μονάδες και τον υπολογιστή για τη λήψη του φάσματος.



Καμπύλη βαθμολογίας του συστήματος (αντιστοίχιση κανάλι - ενέργεια).



Οι ραδιενεργές πηγές αναφοράς που χρησιμοποιούνται στις φοιτητικές ασκήσεις του εργαστηρίου Πυρηνικής Φυσικής περιλαμβάνουν τα ισότοπα:

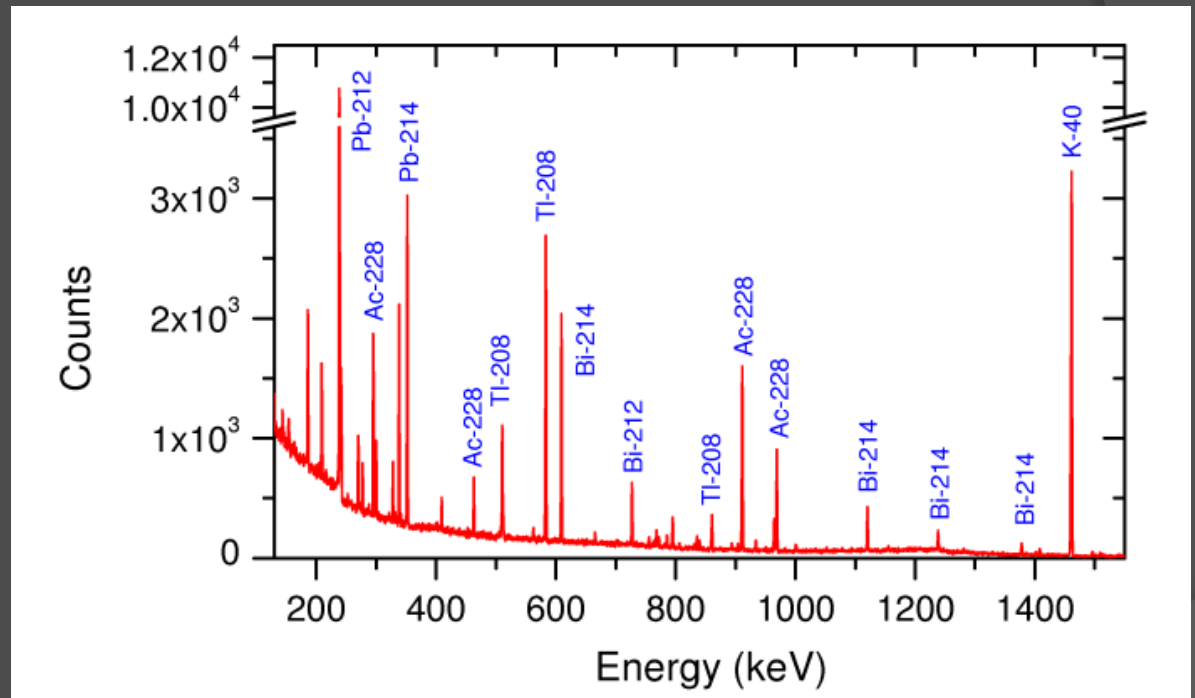
^{137}Cs (662 keV)

^{22}Na (511, 1275 keV)

^{54}Mn (835 keV)

Υπόστρωμα φυσικών γάμμα ραδιενεργών όπως εμφανίζεται σε ένα σύστημα φασματοσκοπίας υψηλής διακριτικής ικανότητας

- Σε ένα φάσμα υποστρώματος στην περιοχή ενεργειών μέχρι 1.5 MeV, αναμένεται να εμφανίζονται πολλές φωτοκορυφές των φυσικών ραδιενεργών.
- Η πιο έντονη κορυφή είναι του ^{40}K , στα 1461 keV.



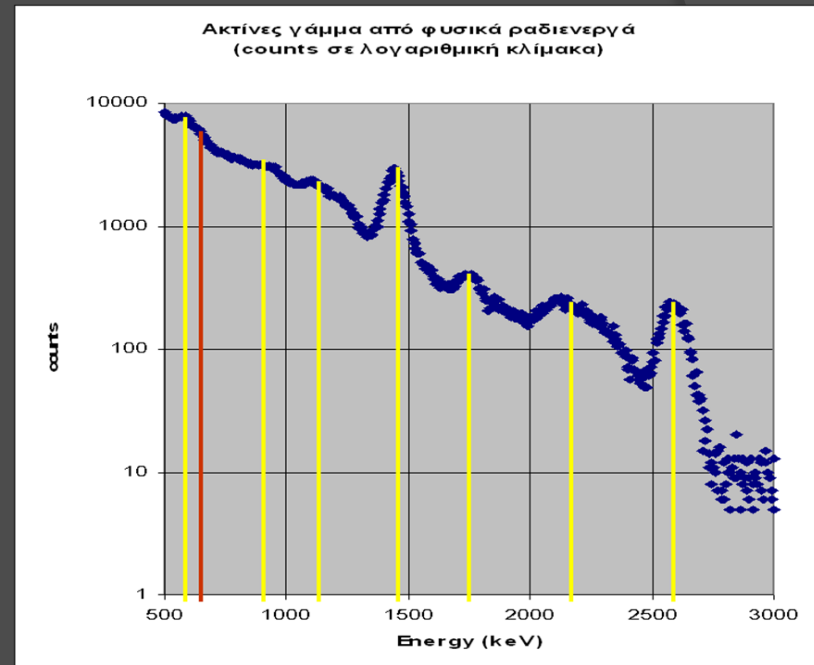
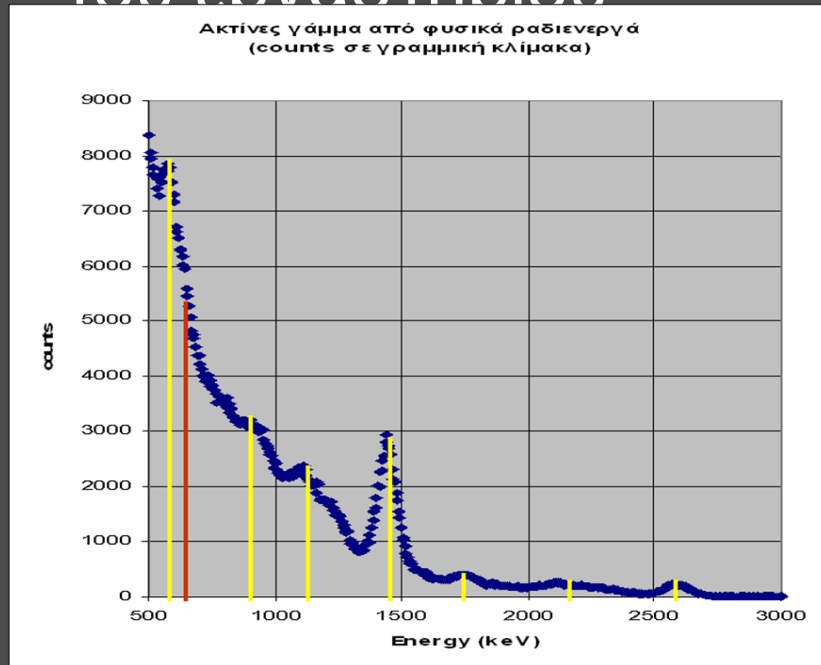
Υπόστρωμα φυσικών γάμμα ραδιενεργών που εμφανίζεται στο σύστημα σπινθηριστή του εργαστηρίου

- Σε ένα φάσμα υποστρώματος στην περιοχή ενεργειών μέχρι λίγα MeV, αναμένεται να εμφανίζονται κάποιες από τις παρακάτω φωτοκορυφές των φυσικών ραδιενεργών:

Ισότοπο	^{40}K	^{214}Bi	^{214}Bi	^{214}Bi	^{214}Bi	^{228}Ac	^{208}Tl
Ενέργεια (keV)	1461	609	1120	1765	2204	911	2615

- Η πιο έντονη κορυφή είναι του ^{40}K , ενώ εύκολα φαίνεται και η κορυφή με τη μεγαλύτερη ενέργεια, του ^{208}Tl .

Φάσμα γάμμα ακτινών
γάμμα από φυσικά
ραδιενεργά όπως
φαίνεται στο σύστημα σπινθηριστή
του ερναστειού



Η καταμέτρηση του φάσματος γίνεται μετά από αντιστοίχιση κανάλι-ενέργεια (βαθμολογία του συστήματος).

Η βαθμολογία αυτή (ή βαθμονόμηση) γίνεται με την χρήση ακτινοβολίας γάμμα από πηγές γνωστών ενεργειών.

Ενέργεια που δέχεται ο σπινθηριστής από τα μίονια

- Για να υπολογίσουμε την ενέργεια που περιμένουμε να δέχεται ο σπινθηριστής από τα μίονια, πρέπει να κάνουμε μια προεργασία:
- Υπολογίζουμε το μήκος της διαδρομής και την ενέργεια που αφήνουν στον σπινθηριστή τα μίονια που διέρχονται μέσα από αυτόν, **με κατακόρυφη διεύθυνση**. Θεωρείστε ότι τα **μίονια** είναι **ελάχιστης ιονιστικής ικανότητας** (είναι λογική αυτή η υπόθεση;).
- Υπολογίστε επίσης το **μέγιστο μήκος της διαδρομής** και την αντίστοιχη ενέργεια που αφήνουν στον σπινθηριστή τα μίονια που διέρχονται **πλαγίως**. Αυτή θα είναι και η **μέγιστη ενέργεια** που αποτίθεται στον σπινθηριστή από τα μίονια και η επομένως **η μέγιστη ενέργεια που θα φροντίσουμε να μπορεί να καταμετρηθεί**.

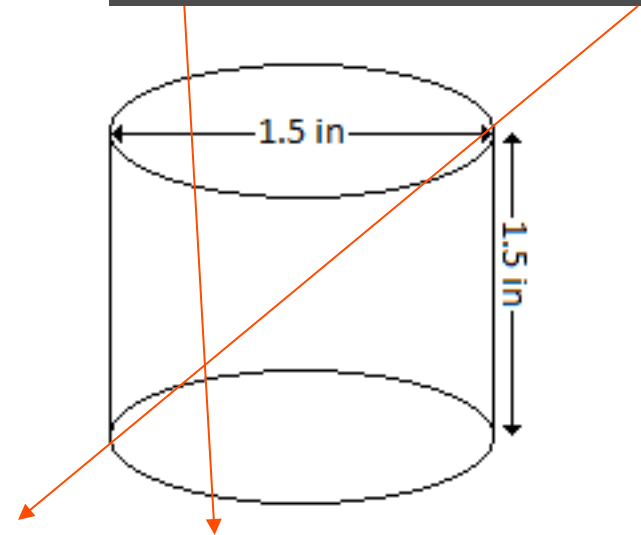
Στοιχεία που χρειάζονται για τον υπολογισμό της ενέργειας που

Η ενέργεια που θα εναποθέτουν τα μόνια μέσα στον σπινθηριστή θα είναι:

$$E_{ολ} = \left(\frac{dE}{dx} \right)_{min} \cdot x$$

όπου $x = l \cdot \rho$ (σε μονάδες g/cm²)

με ρ την πυκνότητα και l το μήκος διαδρομής που διανύουν τα μόνια μέσα στον απαριθμητή.



Στοιχεία που χρειάζονται για τους υπολογισμούς

Στοιχεία που χρειάζονται για τον σπινθηριστή NaI:

Διαστάσεις (διάμετρος x ύψος): $1.5' \times 1.5' = 3,81 \text{ cm} \times 3,81 \text{ cm}$

Πυκνότητα: $\rho = 3.67 \text{ g/cm}^3$

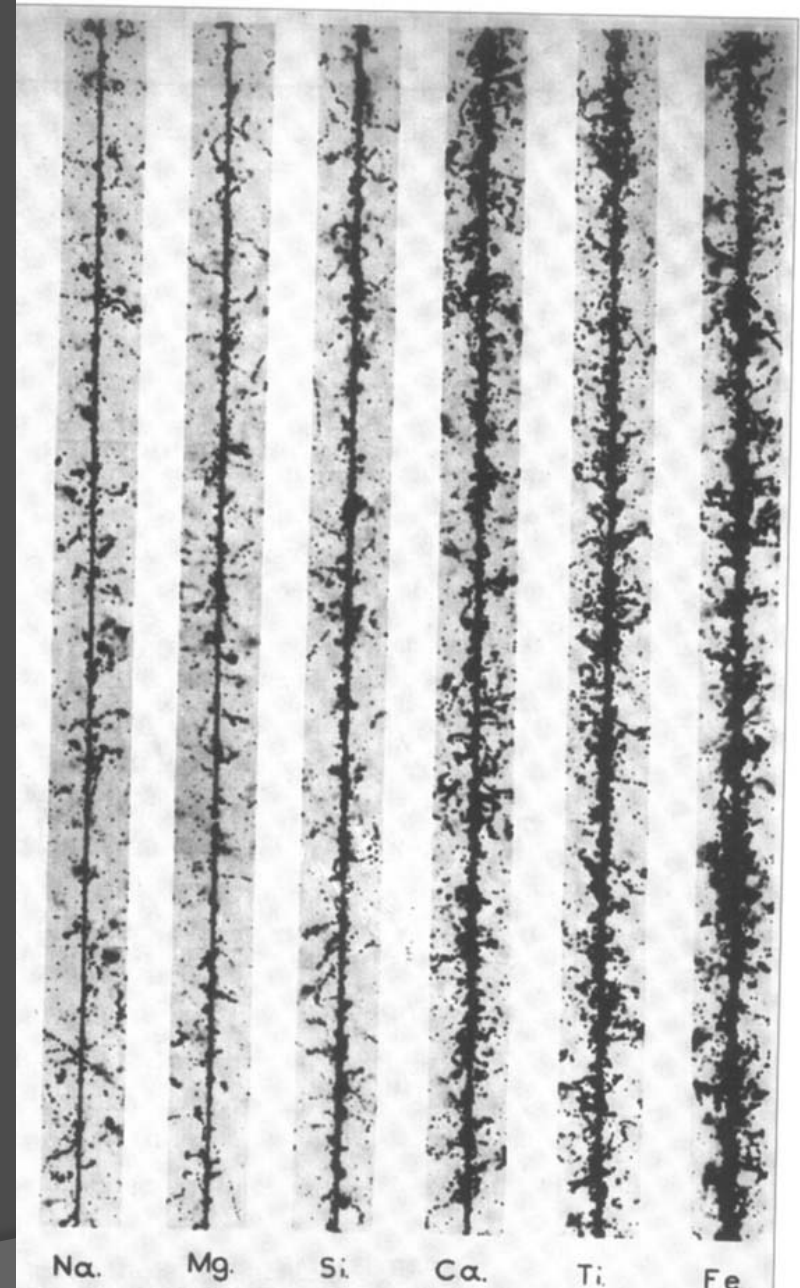
$$(dE/dx)_{\min} = 1.305 \text{ MeV}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})$$

$$(dE/dx)_{\min} = (1.305 \text{ MeV}) \cdot (x \text{ cm}) \cdot (\rho \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}) = 4.79 \text{ MeV/cm}$$

Τι είναι το $(dE/dx)_{\min}$;
Λίγα από **θεωρία Bethe-Bloch**

Τα σωματίδια που προσπίπτουν σε κάποιο υλικό αλληλεπιδρούν μαζί του με διάφορους μηχανισμούς και χάνουν ενέργεια η οποία αποτίθεται στο υλικό.

Η θεωρία BB περιγράφει την απώλεια της ενέργειας των φορτισμένων σωματιδίων που διέρχονται μέσα από διάφορα υλικά.



Τύπος Bethe-Bloch

- Η απώλεια της ενέργειας ενός φορτισμένου σωματιδίου (πλὴν e και μ) μέσω ιονισμών και διεγέρσεων, ανά μονάδα διαδρομῆς του σωματιδίου, δίνεται από τον **τύπο Bethe – Bloch**:

$$-\left. \frac{dE}{dx} \right|_{ion} = N_A \frac{Z}{A} \frac{4\pi a^2 (\hbar c)^2}{m_e c^2} \frac{Z_i^2}{\beta^2} \left(\ln \frac{2m_e c^2 \gamma^2 \beta^2}{I} - \beta^2 - \delta \right)$$

όπου

E η κινητική ενέργεια του σωματιδίου,

$\beta = v/c$ η ταχύτητα του σωματιδίου,

$\gamma = (1-\beta^2)^{-1/2} = E/m_0 c^2$ ο παράγων Lorentz του σωματιδίου,

$\alpha = 1/137$ η σταθερά της λεπτῆς υφῆς,

Z_i το φορτίο του σωματιδίου,

m_e η μάζα ηρεμίας του ηλεκτρονίου,

I η μέση ενέργεια ιονισμού (ίση με $\sim 10 \cdot Z$ eV, για τον αέρα $I = 34$ eV),

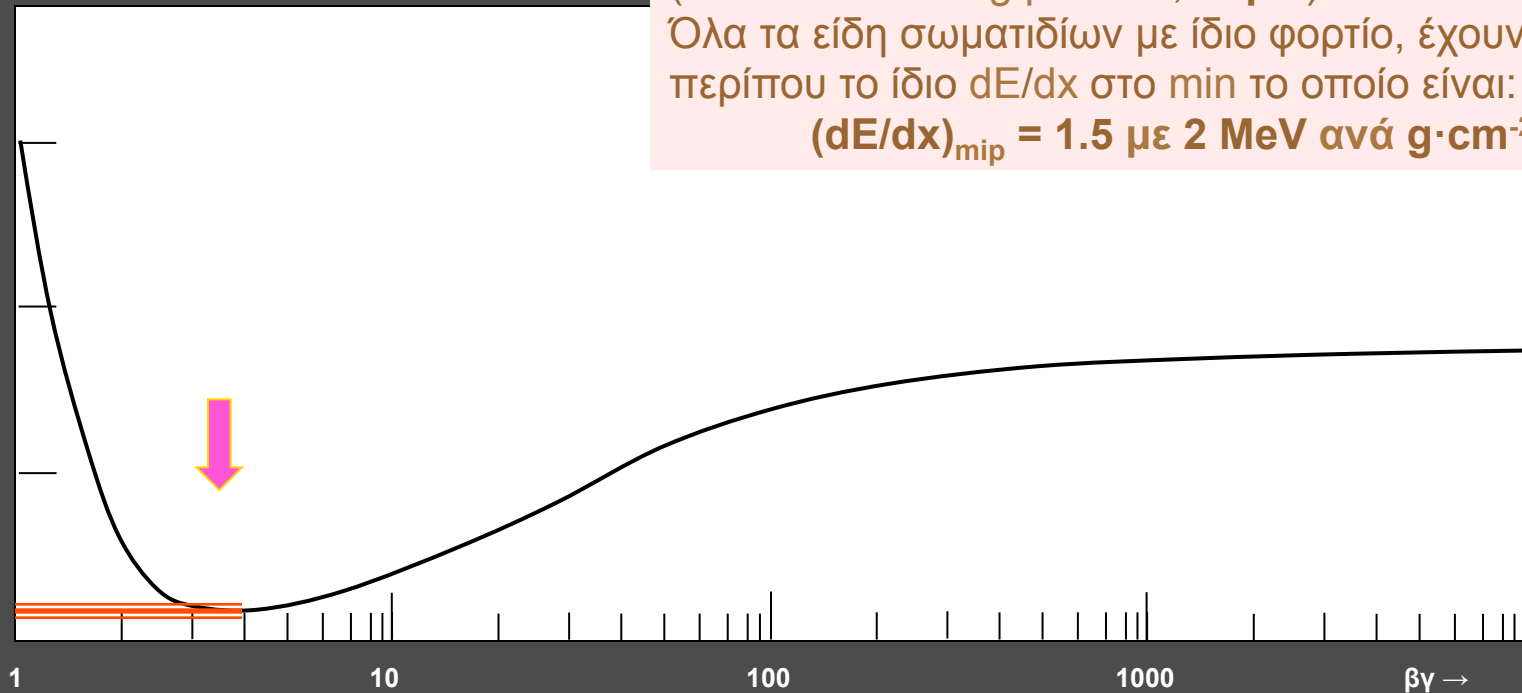
Z ο ατομικός αριθμός του υλικού,

A η ατομική μάζα του υλικού (g/mole).

δ διορθωτικός όρος σχετικός με την πυκνότητα του υλικού.

καμπύλη Bethe-Bloch

$$-\frac{dE}{dx} = K_1 Z_i^2 \left(\frac{1}{\beta^2} \ln(K_2 \gamma^2 \beta^2) - 1 - \frac{\delta}{\beta^2} \right)$$



Στο **ελάχιστο** της καμπύλης:

$\beta\gamma \approx 3.5 - 4$ ή $\beta \approx 0.96$ ή $E_{mip} \approx 3-4 m_0 c^2$
τα σωματίδια έχουν τον μικρότερο ρυθμό απώλειας ενέργειας και τα λέμε

σωματίδια ελάχιστης ιονιστικής ικανότητας
(minimum ionizing particles, **mip's**).

Όλα τα είδη σωματιδίων με ίδιο φορτίο, έχουν περίπου το ίδιο dE/dx στο min το οποίο είναι:

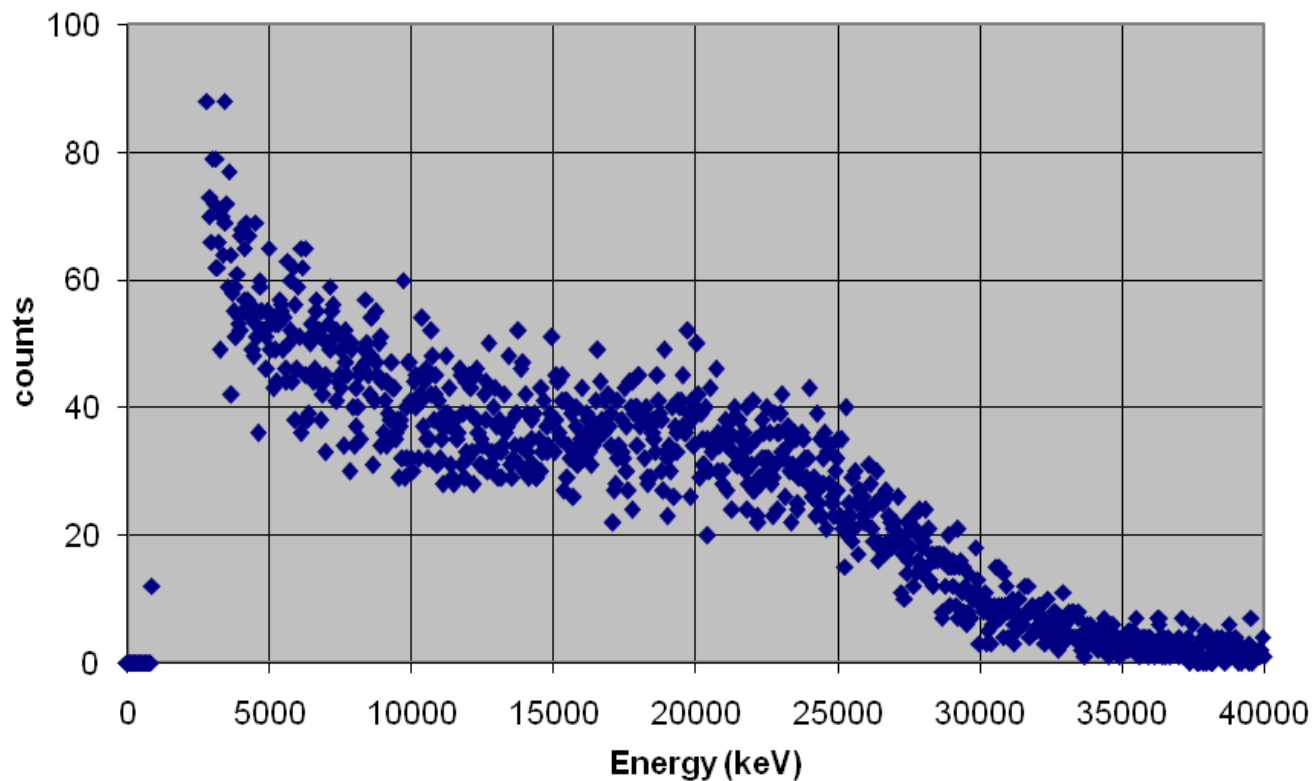
$$(dE/dx)_{mip} = 1.5 \text{ με } 2 \text{ MeV ανά g}\cdot\text{cm}^{-2}$$

Η απώλεια της ενέργειας dE/dx μέσω ιονισμών και διεγέρσεων για πρωτόνια.

Η ποσότητα $\beta\gamma$ ισούται με $p/m_0 c$, δηλαδή είναι ίση με την ορμή του σωματιδίου σε μονάδες $m_0 c$.

Φάσμα αποτιθέμενης ενέργειας από μίονια της κοσμικής ακτινοβολίας

Ενέργεια που αποτέθηκε από μίονια της κοσμικής
ακτινοβολίας



ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ και ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- ◉ Πραγματοποιούμε τη συνδεσμολογία του ανιχνευτή NaI(1.5'x1.5'). Βάζουμε την υψηλή τάση.
- ◉ **ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ γ ΑΠΟ ΤΑ ΦΥΣΙΚΑ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΑ ΙΣΟΤΟΠΑ**
- ◉ Στον ανιχνευτή, πάρτε το φάσμα του ^{22}Na και φροντίστε να έχετε τέτοια ενίσχυση (gain) και υψηλή τάση (HV) ώστε η φωτοκορυφή των 511 keV να είναι περίπου στο κανάλι 80 με 120. Αυτό χρειάζεται για να μπορούν να φανούν στο φάσμα και τα γεγονότα της μέγιστης ενέργειας γάμμα των φυσικών ισοτόπων (2615 keV).
- ◉ Βαθμολογίστε πρόχειρα το σύστημα του σπινθηριστή (πηγή του ^{22}Na). Κάντε το διάγραμμα ενέργεια - κανάλι: $K = K(E)$. Φέρτε την καμπύλη βαθμολογίας γραφικά. (Η ενεργειακή βαθμολογία χρειάζεται για να αντιστοιχήσετε τις κορυφές του φάσματος υποστρώματος με τις ενέργειες των γάμμα των φυσικών ραδιενεργών).
- ◉ Κλείστε τις πηγές μέσα στη μολύβδινη θωράκιση. Βάλτε μεγάλο χρόνο μέτρησης (ώρες) και αρχίστε τη λήψη του φάσματος των φυσικών ραδιενεργών (υπόστρωμα).
- ◉ Υπολογίστε το κανάλι στο οποίο αναμένετε να εμφανιστεί η κορυφή του ^{40}K .
- ◉ Μετά από χρονικό διάστημα μισής ώρας, παρατηρείστε το φάσμα σας, στο οποίο βρείτε και σημειώστε το κανάλι κορυφής του ^{40}K . Χρησιμοποιείστε το κι αυτό σαν τρίτο σημείο στην καμπύλη βαθμολογίας.
- ◉ Βρείτε και σημειώστε τα κανάλια τριών τουλάχιστον ακόμη κορυφών.
- ◉ Στην εργασία σας, χρησιμοποιώντας την καμπύλη βαθμολογίας, βρείτε τις ενέργειες των κορυφών και ταυτοποιείστε τες (δηλαδή βρείτε από ποιο ισότοπο εκπέμπονται).

ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ και ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

- **ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΙΟΝΙΩΝ ΤΗΣ ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**
- Μειώστε την υψηλή τάση (HV) στα $\frac{3}{4}$ της προηγούμενης. Αυτό χρειάζεται για να μπορούν να φανούν στο φάσμα και τα γεγονότα της μέγιστης αποτιθέμενης ενέργειας των μιονίων της κοσμικής ακτινοβολίας.
- Αρχίστε τη λήψη του φάσματος των μιονίων. Παρατηρείστε ότι το φάσμα των γάμμα των φυσικών ισοτόπων έχει συρρικνωθεί στα πρώτα 100 κανάλια και δύσκολα διακρίνονται κορυφές.
- Μετά από χρονικό διάστημα μισής ώρας, παρατηρείστε το φάσμα σας. Είναι επίπεδο; Φαίνεται κάπου να τελειώνει; Γιατί;
- Υπολογίστε το εμβαδόν S_a της πάνω επιφάνειας του σπινθηριστή ($r = 1,905 \text{ cm}$) και το εμβαδόν S_p της παράπλευρης επιφάνειάς του ($r = 1,905 \text{ cm}$, $u = 3,81 \text{ cm}$). Θεωρείστε ότι η “ενεργός επιφάνεια” του σπινθηριστή για καταμέτρηση μιονίων είναι $S = S_a + 0.25 \times S_p$.
- Καταγράψτε το χρόνο t συλλογής του φάσματος.
- Ορίστε ως περιοχή ενδιαφέροντος (ROI) τα κανάλια που έχουν καταγραφεί τα γεγονότα μιονίων (δηλαδή από το τέλος του φάσματος των φυσικών ραδιενεργών έως το κανάλι 1000). Το ολοκλήρωμα της περιοχής είναι ο αριθμός N των μιονίων που καταμετρήθηκαν στη διάρκεια της λήψης του φάσματος.
- Υπολογίστε την ροή $\Phi = N / S \cdot t$ των μιονίων (αριθμός μιονίων ανά $\text{cm}^2 \cdot \text{min}$). Βρείτε το στατιστικό σφάλμα της ροής.
- Συγκρίνετε την τιμή της ροής που βρήκατε πειραματικά με την τιμή της βιβλιογραφίας.
- Σχολιάστε τα αποτελέσματα και εκθέστε τα συμπεράσματά σας.