

Επιταχυντές Χαμηλών Ενεργειών

Α. Λαγογιάννης

Ινστιτούτο Πυρηνικής και Σωματιδιακής Φυσικής

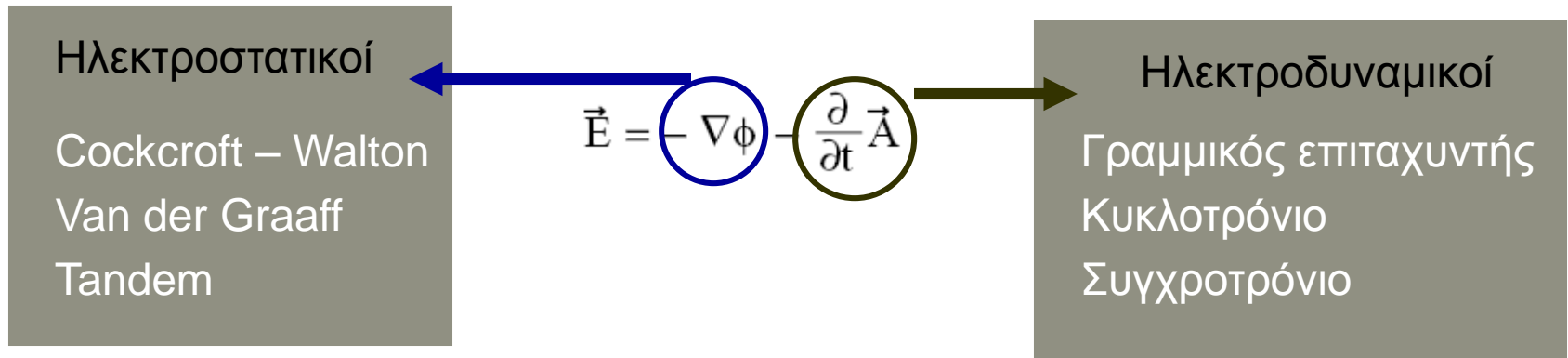
Επιταχυντής:

Διάταξη που μεταδίδει ενέργεια σε φορτισμένα σώματα και ιόντα και τα συγκρατεί σε συγκεκριμένη τροχιά

Ηλεκτρικό πεδίο

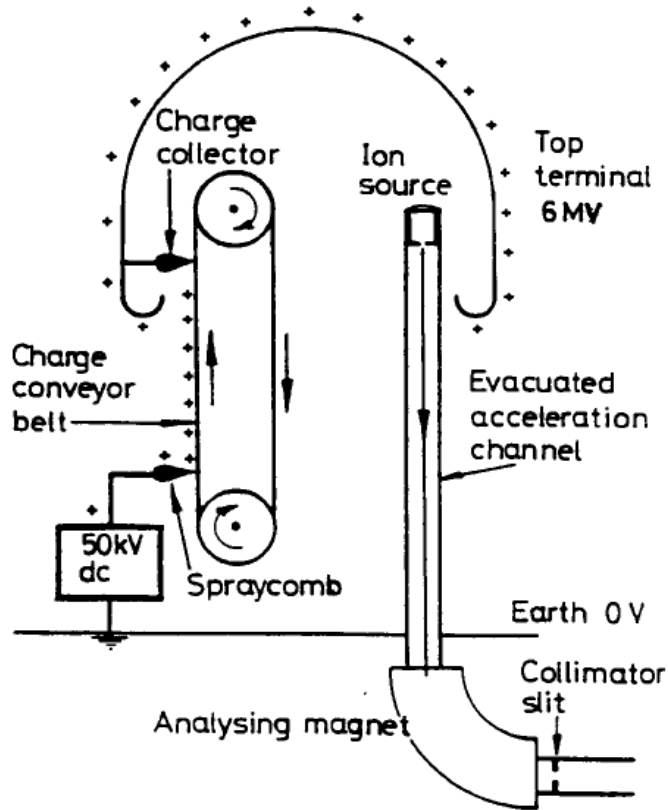
Μαγνητικό πεδίο

Είδη επιταχυντών



Επιταχυντής χαμηλών ενεργειών < 100 MeV

Van der Graaff



Σταθερό ηλεκτρικό πεδίο

Παραγωγή ηλεκτρικού φορτίου στη βάση

Μεταφορά του φορτίου στο ηλεκτρόδιο που περιέχει την πηγή των ιόντων μέσω μονωτικού ιμάντα

Μέγιστη τάση λειτουργίας 6 MV

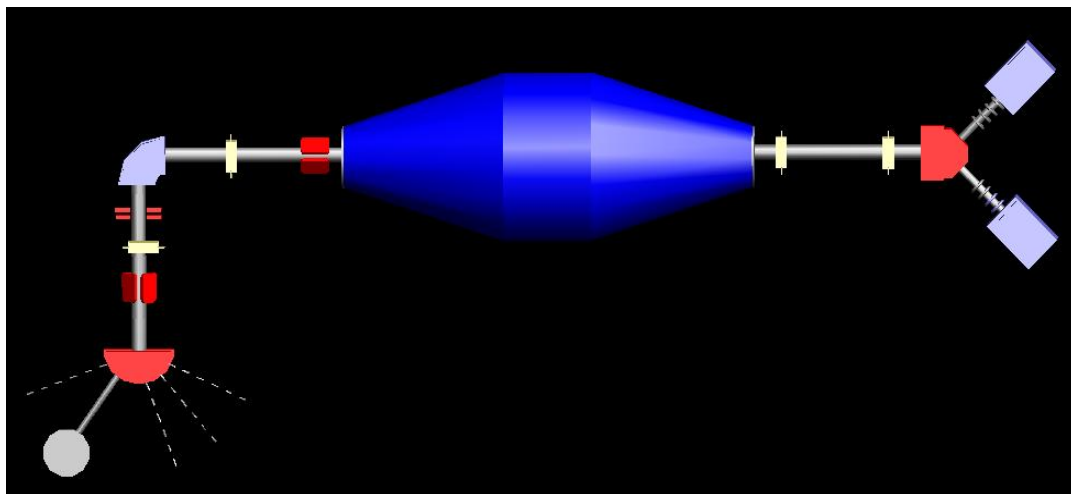
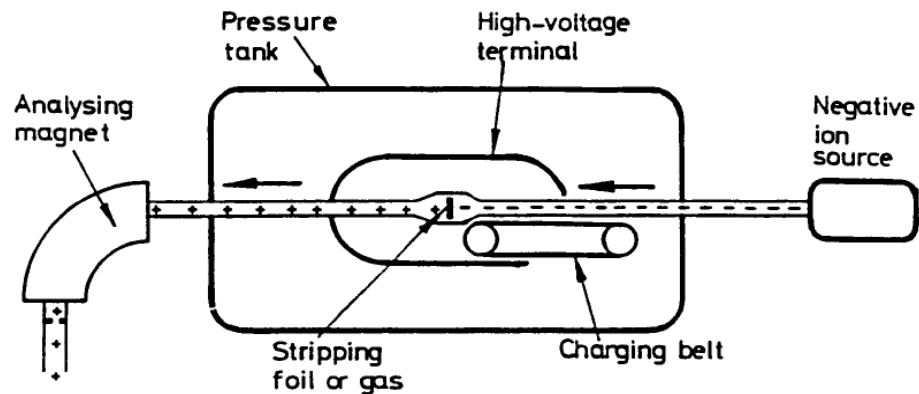
Περιορισμός της ανώτατης τάσης λειτουργίας λόγω εκφορτίσεων του ηλεκτροδίου

Tandem

Δεξαμενή υψηλής πίεσης που περικλείει μια γεννήτρια Van der Graaff

Στο κέντρο γίνεται «απογύμνωση» των ιόντων και από αρνητικά γίνονται θετικά

Διπλασιασμός της ενέργειας



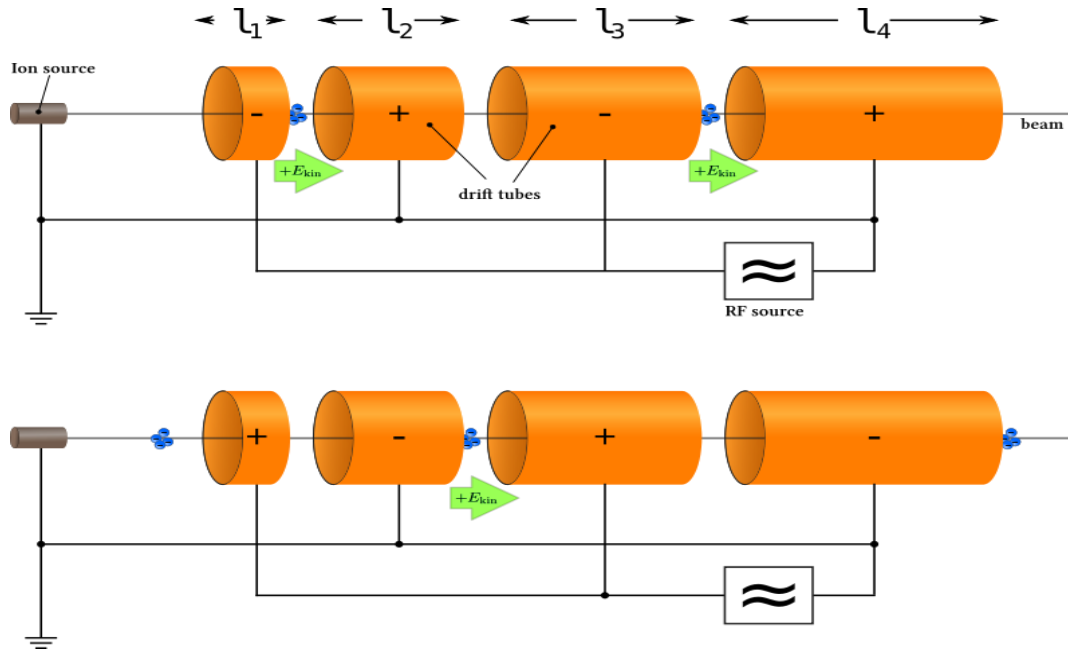
Μέγιστη τάση 24.5 MV
Μέγιστη ενέργεια 49 MeV

Μεγάλη ακρίβεια στην
τελική ενέργεια των ιόντων

Γραμμικός Επιταχυντής

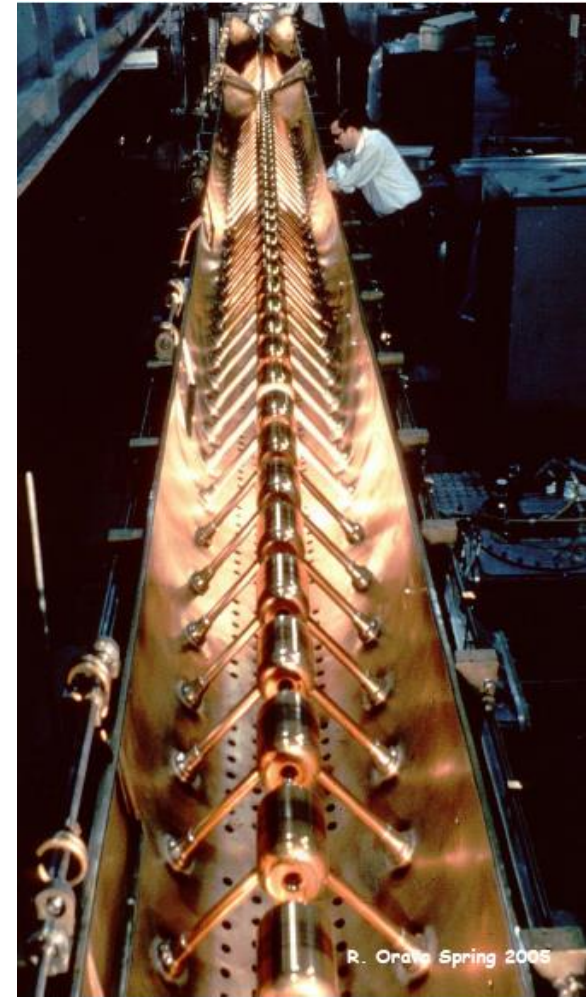
Η επιτάχυνση των ιόντων γίνεται σε ευθεία γραμμή

Εναλλασσόμενη τάση λειτουργίας
σταθερής συχνότητας



Επιτάχυνση μεταξύ των ηλεκτροδίων

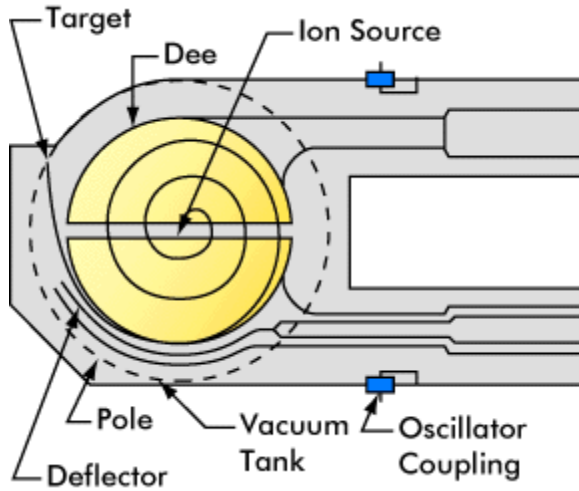
Συχνότητα εναλλασσομένου συντονίζεται με
την ταχύτητα των ιόντων



Κυκλοτρόνιο

Η κίνηση των ιόντων γίνεται σε κυκλική τροχιά με αυξανόμενη ακτίνα

Πηγή των ιόντων στο κέντρο της διάταξης



Δύο ηλεκτρόδια σε σχήμα D με διάκενο μεταξύ τους

Η επιτάχυνση γίνεται με εφαρμογή εναλλασσομένου ηλεκτρικού πεδίου σταθερής συχνότητας στο διάκενο των D



Σταθερό μαγνητικό πεδίο κάθετο στα ηλεκτρόδια που υποχρεώνει τα ιόντα σε κυκλική τροχιά

$$\frac{mv^2}{r} = Bqv$$

Κυκλοτρόνιο II

Μέγιστη ενέργεια επιτάχυνσης περιορίζεται από την ακτίνα του κυκλοτρονίου
Αλλαγή μάζας των ιόντων σε μεγάλες ταχύτητες λόγω σχετικιστικών φαινομένων
και απώλεια του συντονισμού

Λύση I : Συγχροκυκλοτρόνιο

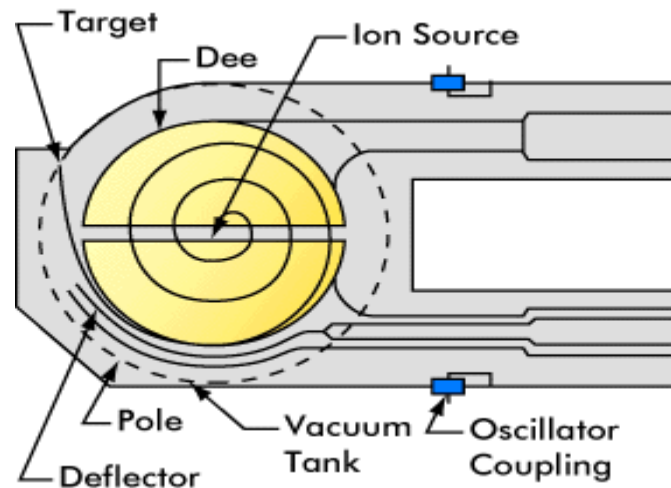
Σταθερό μαγνητικό πεδίο

Αλλαγή της συχνότητας του εναλλασσόμενου πεδίου σε μεγαλύτερες ενέργειες

Λύση II : Ισόχρονο κυκλοτρόνιο

Σταθερή συχνότητα εναλλασσόμενου πεδίου

Αύξηση του μαγνητικού πεδίου σε μεγαλύτερες τροχιές



Λύση III : Συγχροτρόνιο

Πυρηνική Δομή

Η μελέτη της δομής των πυρήνων με σταθερά ισότοπα έχει σχεδόν κορεστεί. Τα πειράματα πυρηνικής δομής έχουν πλέον προχωρήσει σε μεγαλύτερες ενέργειες και πιο εξωτικούς πυρήνες. Υπάρχουν όμως ακόμα πειράματα που μπορούν να διεξαχθούν σε χαμηλές ενέργειες.

Πυρηνικές Αντιδράσεις

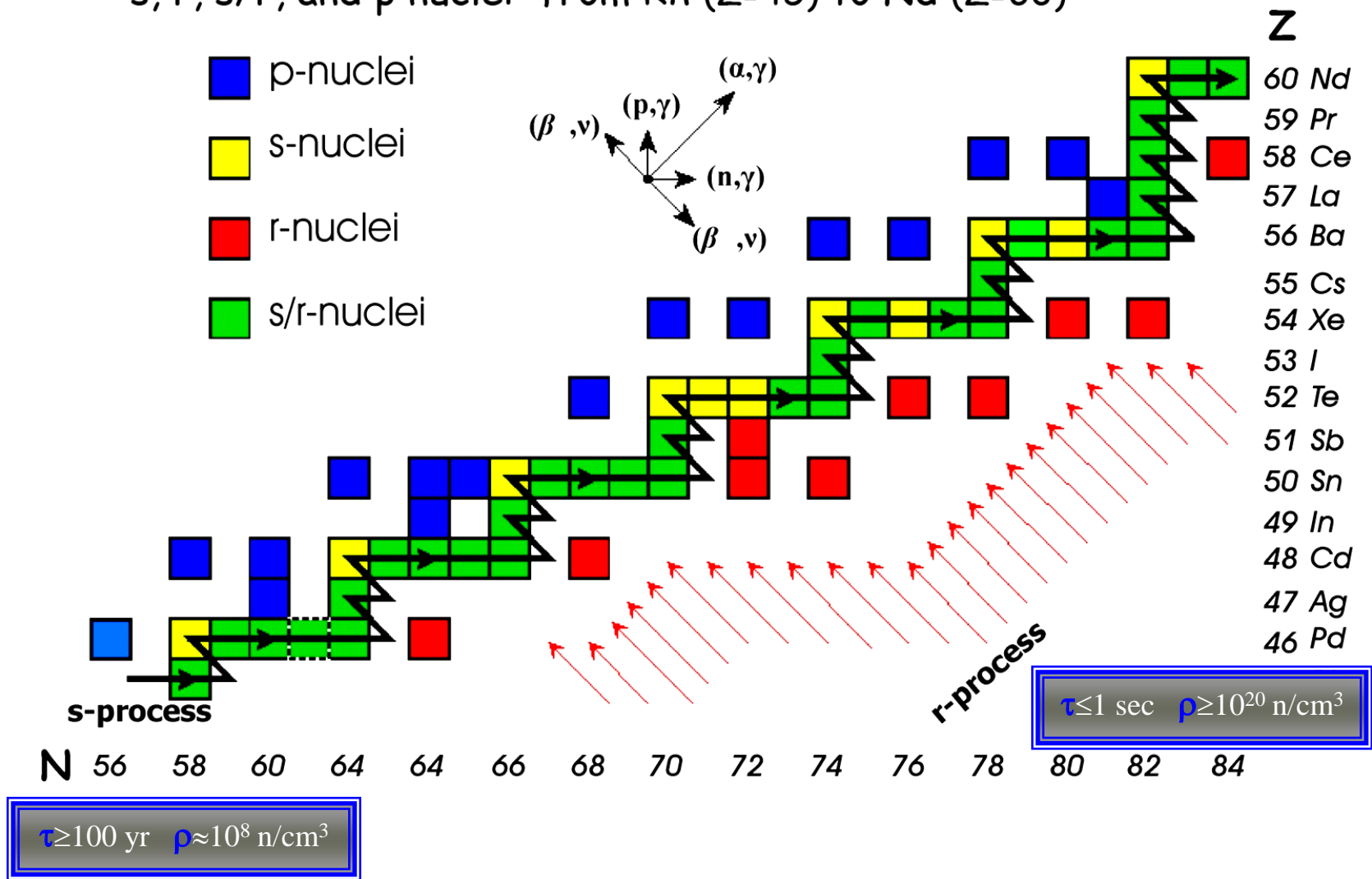
Κατανόηση των παραμέτρων που υπεισέρχονται στις πυρηνικές αντιδράσεις
Πυρηνική αστροφυσική για την δημιουργία μοντέλων πυρηνοσύνθεσης

Εφαρμογές

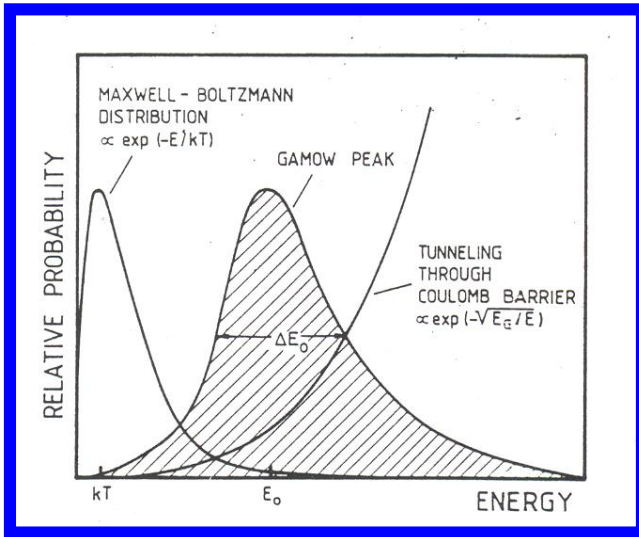
Ιοντικές τεχνικές ανάλυσης
Φασματοσκοπία μάζας με χρήση επιταχυντών (AMS)
Ιατρικές εφαρμογές (έρευνα και ανάπτυξη ραδιοφαρμάκων...)

Πυρηνοσύνθεση

s, *r*, *s/r*, and *p* nuclei from Rh (Z=45) to Nd (Z=60)



Παράθυρο Gamow



$$E_0 = (bkT/2)^{2/3}$$

$$b^2 = E_G = 2\mu\pi^2 \frac{e^4 Z_t^2 Z_p^2}{\eta^2}$$

$$\Delta E = \sqrt{\frac{16E_0 kT}{3}} \exp(-3E_0/kT)$$

reaction	barrier (MeV)	E_0 (keV)	T (K)
$p + p$ (sun)	0.55	5.9	1.5×10^7
$\alpha + {}^{12}\text{C}$ (red giants)	300	56	1.5×10^8
${}^{12}\text{C} + {}^{12}\text{C}$ (massive stars)	10.44	1500	$\approx 1 \times 10^9$
$p + {}^{74}\text{Se}$ (p process)	7.9	2800	$\approx 3 \times 10^9$

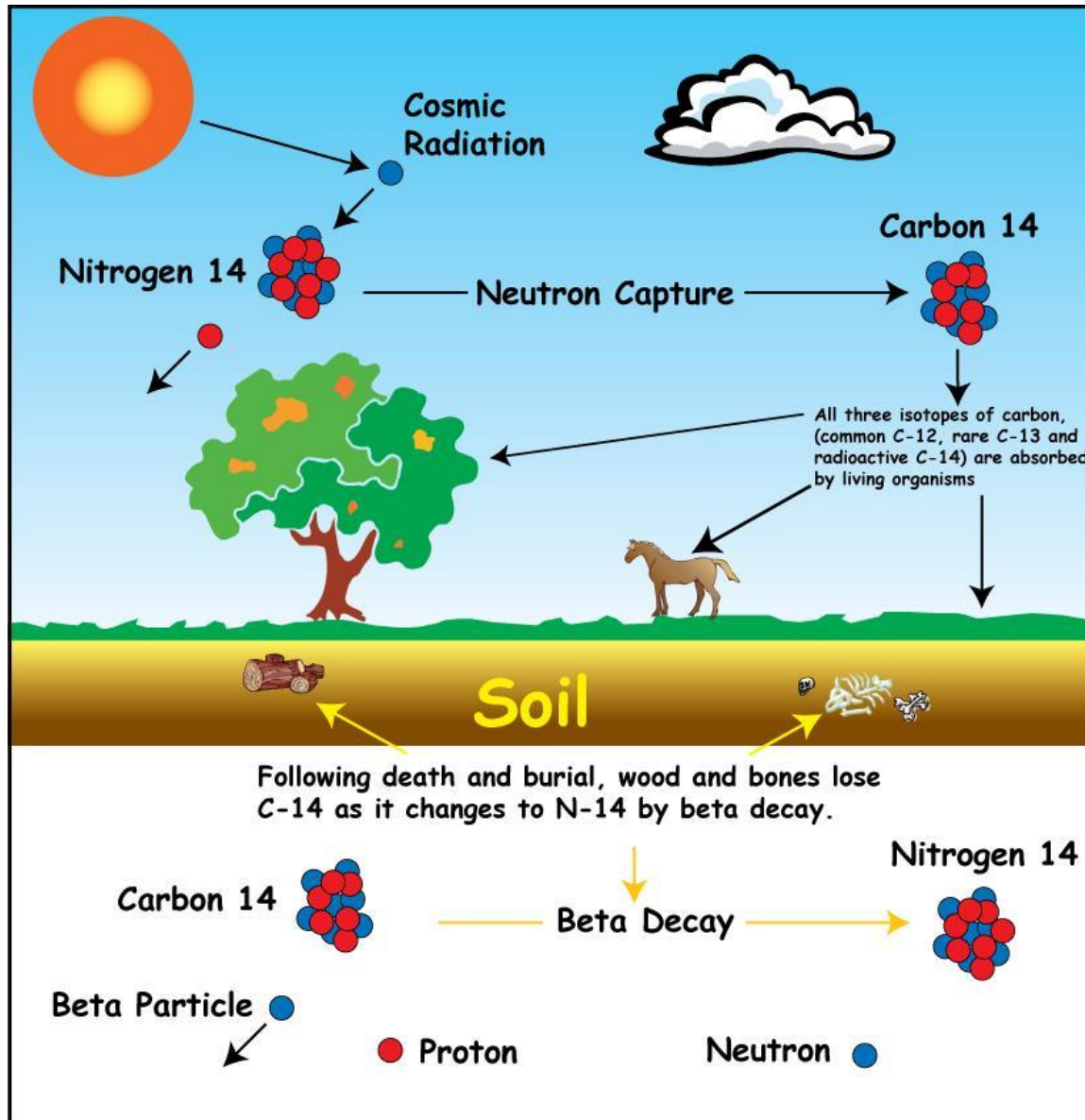
(p,γ) reactions: $E_{\text{CM}} = 1 - 5 \text{ MeV}$

(α,γ) reactions: $E_{\text{CM}} = 6-12 \text{ MeV}$

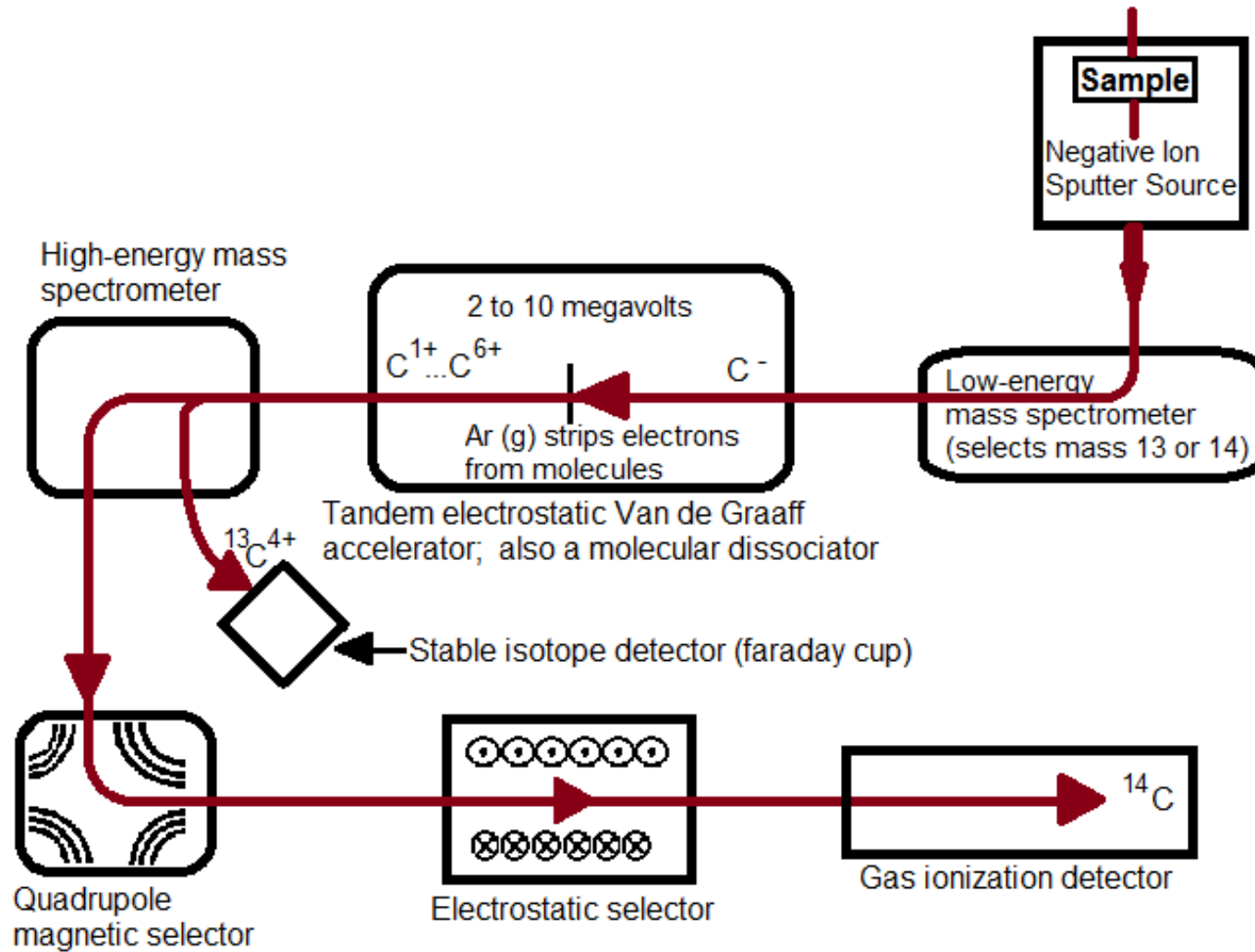


Η μέτρηση της ενεργού διατομής σ σε αυτό το εύρος ενεργειών

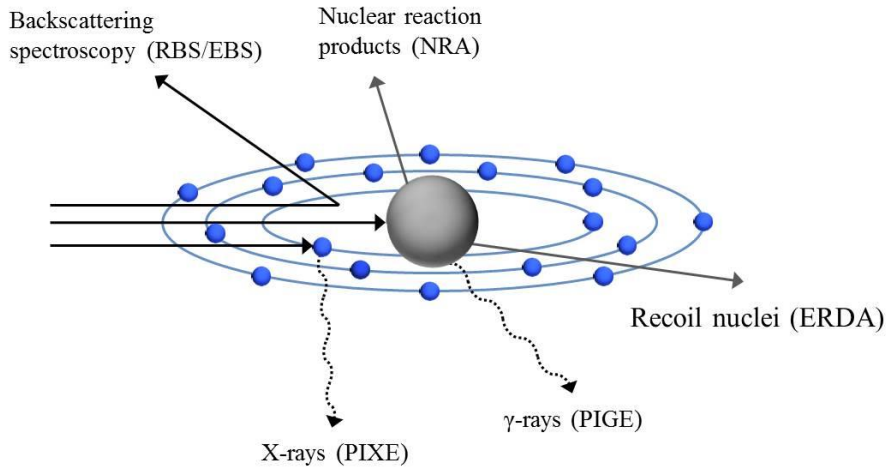
Ραδιοχρονολόγηση ^{14}C



Ραδιοχρονολόγηση ^{14}C



Ιοντικές Τεχνικές Ανάλυσης

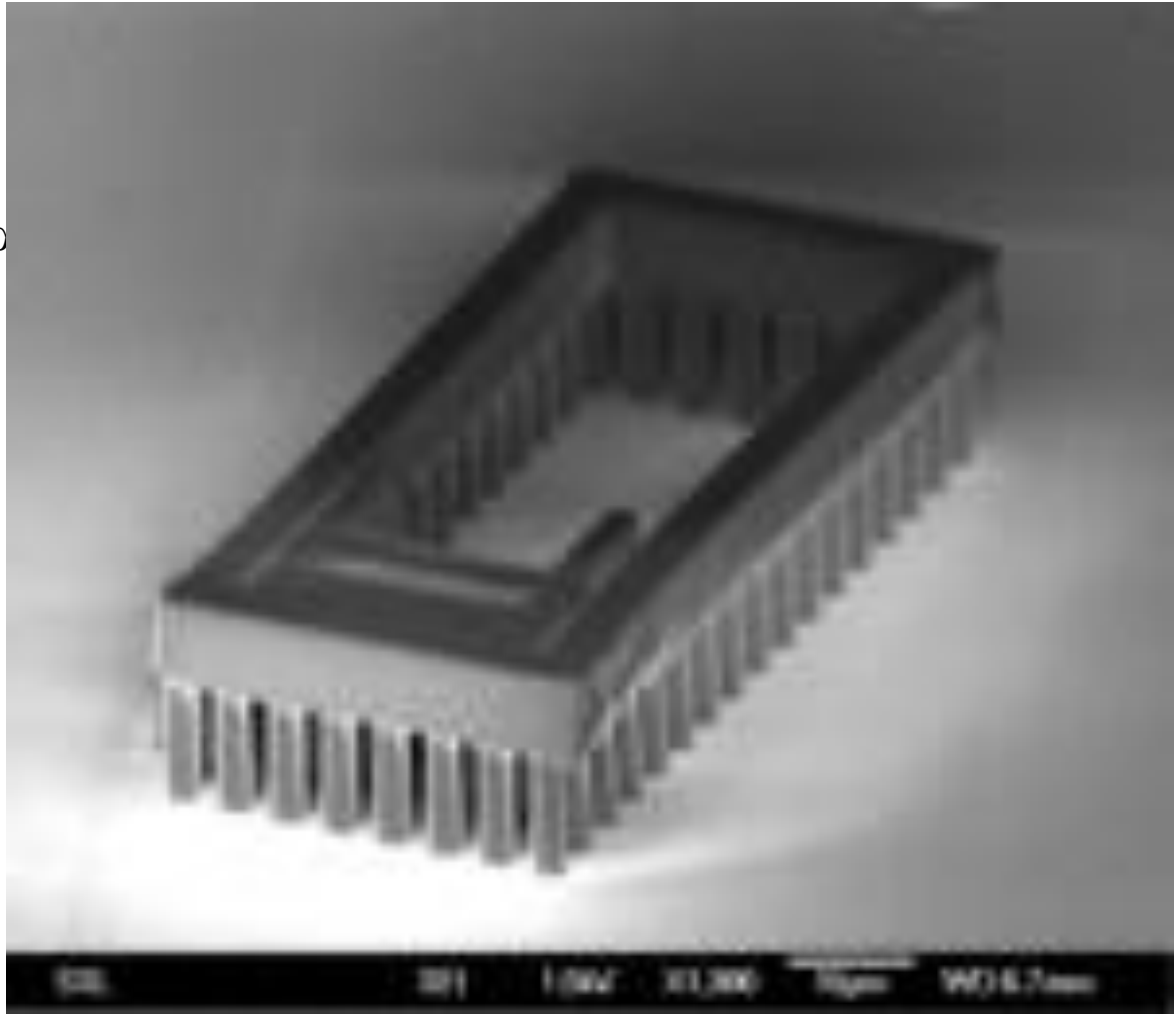


- Οι ιοντικές τεχνικές (IBA) βασίζονται στην αλληλεπίδραση υψηλής ενέργειας φορτισμένων ιόντων με τα ηλεκτρόνια ή τους πυρήνες του υπό μελέτη υλικού.
- Η αλληλεπίδραση μπορεί να οδηγήσει στην εκπομπή σωματιδίων ή ακτινοβολίας χαρακτηριστικής των στοιχείων που αποτελούν το δείγμα.

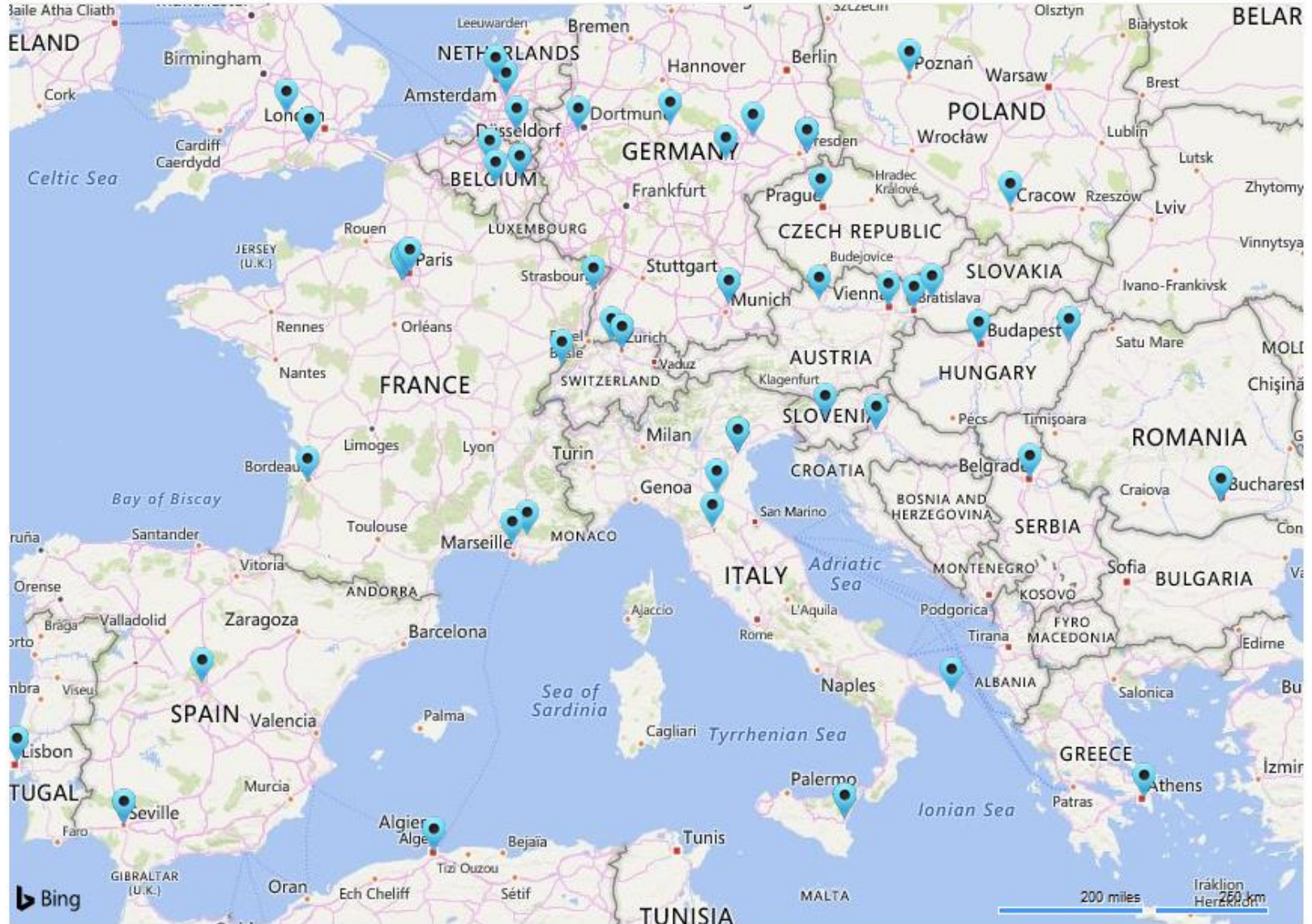
Μέθοδος	Αλληλεπίδραση	Ιδανική για
Backscattering Spectrometry (RBS/EBS)	Ελαστική σκέδαση σε μεγάλες γωνίες	Κατανομή βάθους βαρέων στοιχείων σε ελαφρά υποστρώματα
Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA)	Ελαστική σκέδαση σε μικρές γωνίες	Κατανομή βάθους ελαφρών στοιχείων
Nuclear Reaction Analysis (NRA)	Εκπομπή ελαφρών πυρήνων μετά την αλληλεπίδραση δέσμης με πυρήνες του στόχου	Κατανομή βάθους ελαφρών στοιχείων σε βαρέα υποστρώματα
Particle-Induced Gamma-ray Emission (PIGE)	Εκπομπή χαρακτηριστικής ακτίνας – γ κατά την ακτινοβόληση	Στοιχειακή ανάλυση ελαφρών στοιχείων από υδρογόνο έως πυρίτιο
Particle-Induced X-ray Emission (PIXE)	Εκπομπή χαρακτηριστικής ακτίνα – X μετά τον ιονισμό από την ιοντική δέσμη	Στοιχειακή ανάλυση για $Z > 11$

Εφαρμογές Επιταχυντών

- Μετατροπή επιφανειών
- Δημιουργία Μεμβρανών
- Κατασκευή Μικρομηχανών χαλαζίο
- Ανίχνευση ναρκωτικών
- Λιθογραφία
- Proton beam writing



Επιταχυντές στην ευρύτερη Περιοχή



Ρουμανία

Horia Hulubei National Institute for R&D in Physics and Nuclear Engineering (IFIN-HH)

9MV Tandem Πυρηνική Δομή
 Πυρηνικές Αντιδράσεις
 Πυρηνική Αστροφυσική

3MV Tandetron Ιοντικές Τεχνικές Ανάλυσης

1MV Tandem AMS

13 MeV Cyclotron Ραδιοφάρμακα

Σερβία

Vinca Institute of Nuclear Sciences, Belgrade

66 MeV Cyclotron (TESLA) Ραδιοφάρμακα, Μετατροπή υλικών

Ουγγαρία

KFKI Research Institute for Particle and Nuclear Physics, Budapest

5 MV VdG Ιοντικές Τεχνικές Ανάλυσης

Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences, Debrecen

5 MV VdG Πυρηνική Αστροφυσική
Ιοντικές Τεχνικές Ανάλυσης

Σλοβενία

Microanalytical Center, Josef Stefan Institute, Jožef Stefan Institute (JSI) , Ljubljana.

2 MV Tandetron Ιοντικές Τεχνικές Ανάλυσης

Σλοβακία

Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology, Trnava

6 MV Tandetron Ιοντικές Τεχνικές Ανάλυσης

Κροατία

Ruđer Bošković Institute, Zagreb

6 MV Tandem Ιοντικές Τεχνικές Ανάλυσης

1 MV Tandetron Πυρηνικές Αντιδράσεις

Ισπανία

CMAM, University of Madrid, Madrid

5 MV Tandem Ιοντικές Τεχνικές Ανάλυσης

Centro Nacional de Aceleradores, Seville

3 MV Tandem

1 MV Tandetron AMS

Πορτογαλία

Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Lisbon

2.5 MV VdG Ιοντικές Τεχνικές Ανάλυσης
Πυρηνικές Αντιδράσεις

3 MV Tandem AMS

Ιταλία

LABEC, INFN, Firenze

3 MV Tandem Ιοντικές Τεχνικές Ανάλυσης
Πυρηνικές Αντιδράσεις

LNL, INFN, Legnaro

14.5 MV Tandem Ιοντικές Τεχνικές Ανάλυσης
5.5 MV VdG Πυρηνικές Αντιδράσεις
2 MV VdG Πυρηνική Δομή
Linear Accelerator