

Επιταχυντές και Ανιχνευτές στην Πυρηνική και Σωματιδιακή Φυσική

Κ.Κορδάς Δ. Σαμψωνίδης

Διαλεξη 1η

Σκοπός - Υλη

- **Σκοπός**
- Η γνωριμία και μελέτη των βασικών αρχών επιτάχυνσης σωματιδίων καθώς και των τύπων των επιταχυντών.
- Μελέτη των βασικών αρχών φυσικής που χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση, στην ταυτοποίηση και τη μέτρηση σωματιδίων
- Μέθοδοι διαχείρισης δεδομένων πειρμάτων πυρηνικής και σωματιδιακής φυσικής.

- **Υλη**
- Ενεργός διατομή, διασπάσεις και χρόνοι ζωής, κινηματική αλληλεπιδράσεων.
- Επιταχυντές, ιστορική αναδρομή και εφαρμογές.
- Φυσική επιταχυντών, επιτάχυνση σωματιδίων.
- Μαγνητικά πεδία, εστίαση δέσμης σωματιδίων, ψύξη δέσμης.
- Αρχές ανίχνευσης σωματιδίων και εφαρμογές
 - Αλληλεπιδράσεις φορτισμένων σωματιδίων.
 - Αλληλεπιδράσεις ακτινοβολίας με την ύλη.
- Τροχιές φορτισμένων σωματιδίων.
- Θερμιδομετρία
- Σπινθιρισμός - Ακτινοβολία Cherenkov.
- Σκανδαλισμός και λήψη δεδομένων
- Ανακατασκευή αντικειμένων φυσικής

Βιβλία

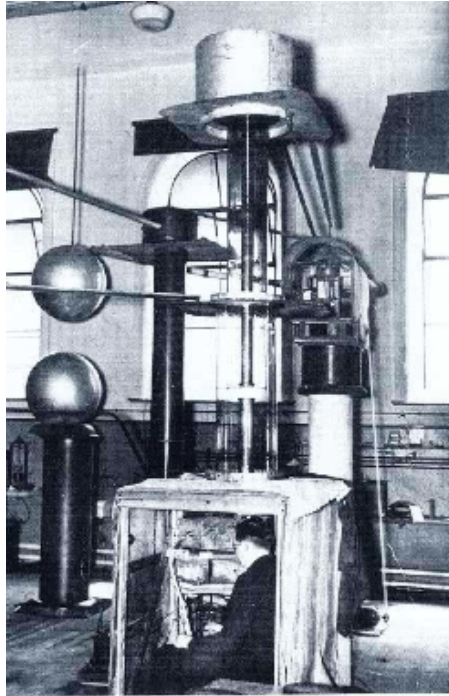
- An Introduction to Physics of Particle Accelerators, Mario Conte – William W. MacKay
- The Physics of Particle accelerators, Klaus Wille
- Introduction to Physics of High Energy Accelerators, D. Edwards & M. Syphers
- Particle Accelerator Physics: Volume I & II (study edition) by H. Wiedemann
- Fundamentals of Beam Physics, J. B. Rosenzweig
- The Physics of Particle Detectors, D. Green, Cambridge U. Press, 2000.
- Principles of Radiation Interaction in Matter and Detection, Claude Leroy, Pier-Giorgio Rancoita.

On the Web (Papers, Lectures & Books)

- Principles of Charged Particle Acceleration, S. Humphries
- Charged Particle Beams, S. Humphries
- Introduction to Microwave Linacs by D. Whittum (SLAC-PUB-8026)
- Introduction To High Energy Linear Accelerators, (TETN95/16), H. Henke
- High Energy Electron Linacs by P. Wilson (slac-pub-2884.pdf)
- USPAS Course Materials (<http://uspas.fnal.gov>)

ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ

Μια δυναμική περιοχή Ερευνας-Τεχνολογίας

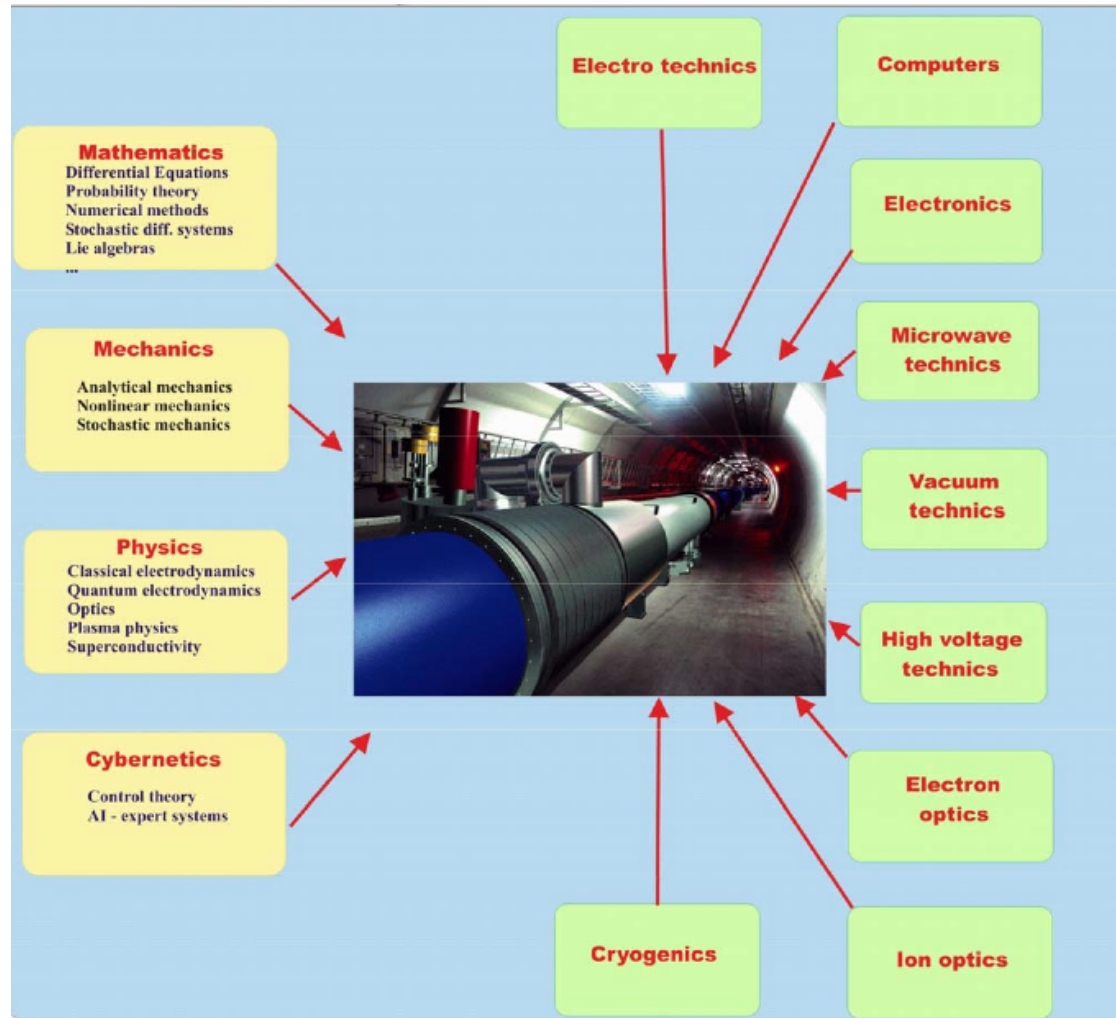


Ο πρώτος επιταχυντής
700 keV (direct-voltage)



LHC 7+7 TeV hadron collider

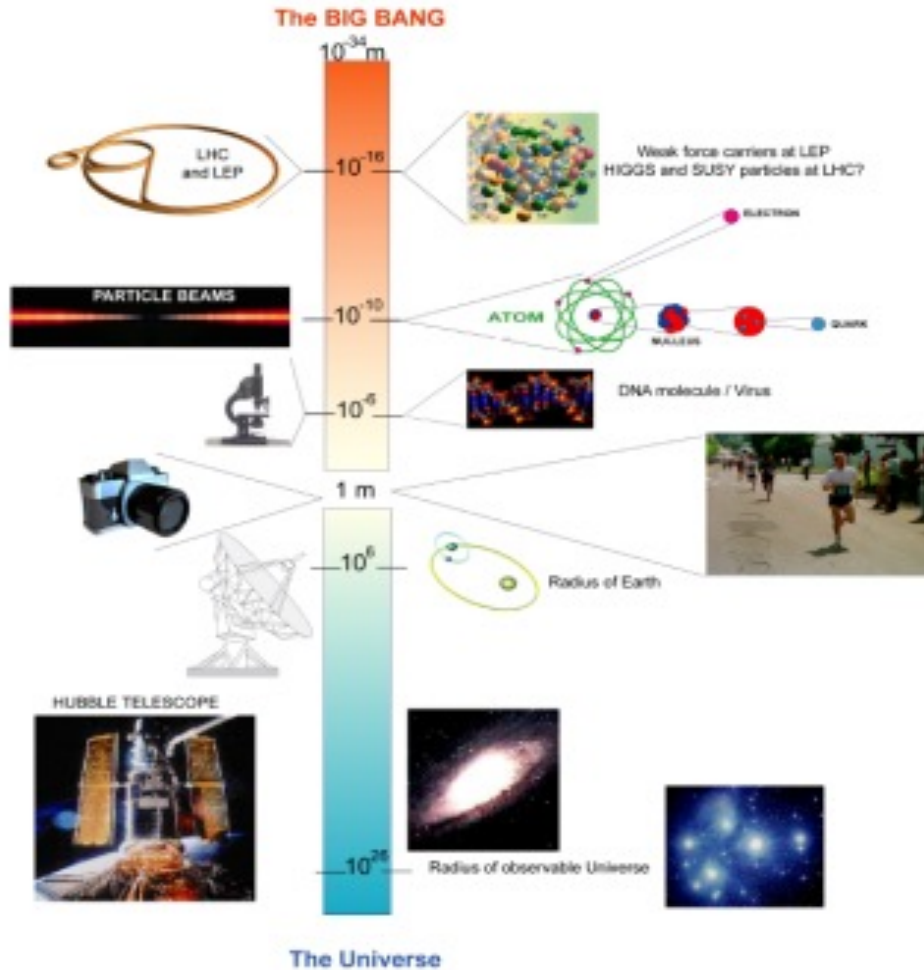
ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΕΣ



Στον κόσμο των επιταχυντών ο καθένας θα μπορούσε να βρει για τον εαυτό του μια πηγή έμπνευσης

Γιατί χρειαζόμαστε τους επιταχυντές

Μικροσκοπία της ύλης



Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας πρέπει να είναι μικρότερο του αντικειμένου που εξετάζεται

$$\lambda \ll \frac{h}{p} = \frac{hc}{E}$$

Object	Size	Energy of Radiation
Atom	10^{-10} m	0.00001 GeV (electrons)
Nucleus	10^{-14} m	0.01 GeV (alphas)
Nucleon	10^{-16} m	0.1 GeV (electrons)
Quarks	?	> 1 GeV (electrons)

Ραδιενεργές πηγές δίνουν ενέργειες της τάξης MeV



Για μεγαλύτερες ενέργειες χρειαζόμαστε επιταχυντές.

Γιατί χρειαζόμαστε τους επιταχυντές

Μικροσκοπία της ύλης

ακτινοβολία γ

Για μήκος κύματος $\lambda < 10^{-15}$ $\rightarrow E_\gamma = h\nu = hc/\lambda = 2 \times 10^{-10}$ J (1.2 GeV)

Με ακτινοβολία πέδησης e: $E_e = eU$ ($E_e > E_\gamma$) $\Rightarrow U > E_e/e = 1.2 \times 10^9$ V

Μήκος κύματος σωματιδίων (Φωτονίου, Ηλεκτρονίου, Πρωτονίου, ...): (de Broglie, 1923)

$$\lambda = h / p = hc / E \quad (= 1.2 \text{ fm} / p [\text{GeV}/c], \quad 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m})$$

Μεγαλύτερη ορμή \rightarrow Μικρότερο μήκος κύματος \rightarrow Μεγαλύτερη διακριτική ικανότητα

Γιατί χρειαζόμαστε τους επιταχυντές

Παραγωγή νέων σωματιδίων

Ενέργεια σε Υλη : Einstein (1905)

Μεγαλύτερη Ενέργεια -> παραγωγή σωματιδίων μεγαλύτερης μάζας.

$$E=mc^2$$

π.χ. δίδυμη γένεση: $E_\gamma > 2m_e c^2 = 1.637 \times 10^{-13} \text{ J} = 1.02 \text{ MeV}$

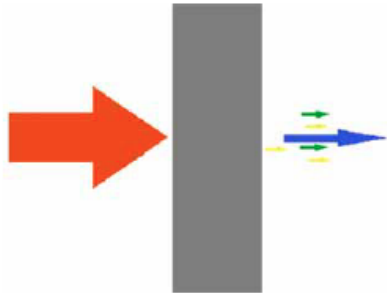
Ηλεκτρόνιο	e :	$E_o = 0.511 \text{ MeV}$
Πρωτόνιο	p :	$E_o = 938 \text{ MeV}$
b quark	b :	$E_o = 4735 \text{ MeV}$
Μποζόνιο	Z:	$E_o = 91\,190 \text{ MeV}$
t quark	t :	$E_o = 174000 \text{ MeV}$

Σωματίδια -> c -> δεν αυξάνεται η ταχύτητα αλλά η μάζα

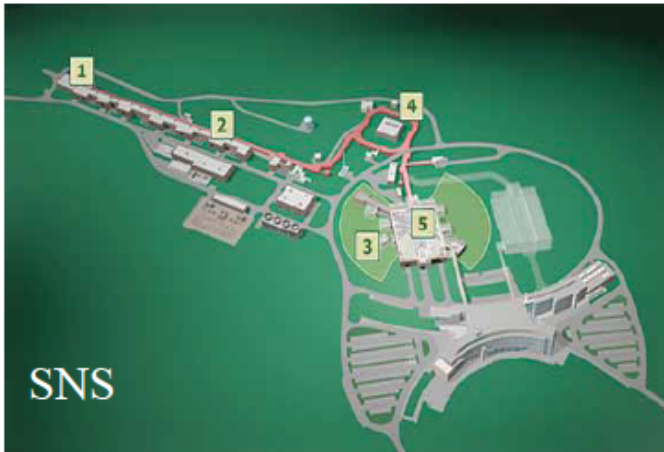
$$E = mc^2 = \frac{m_o c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma m_o c^2$$

Επιταχυντές (γιατί τους χρειαζόμαστε;)

Δευτερογενείς δέσμες



Π.χ. δέσμες νετρονίων, δέσμες νετρίνων κλπ



1 GeV, 35 mA of protons,
6% duty factor

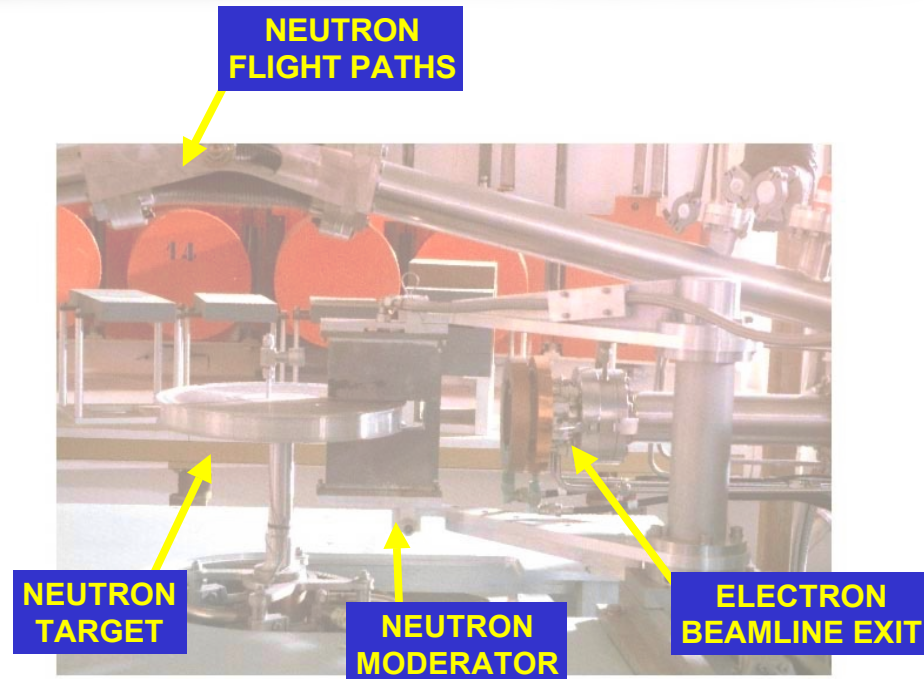
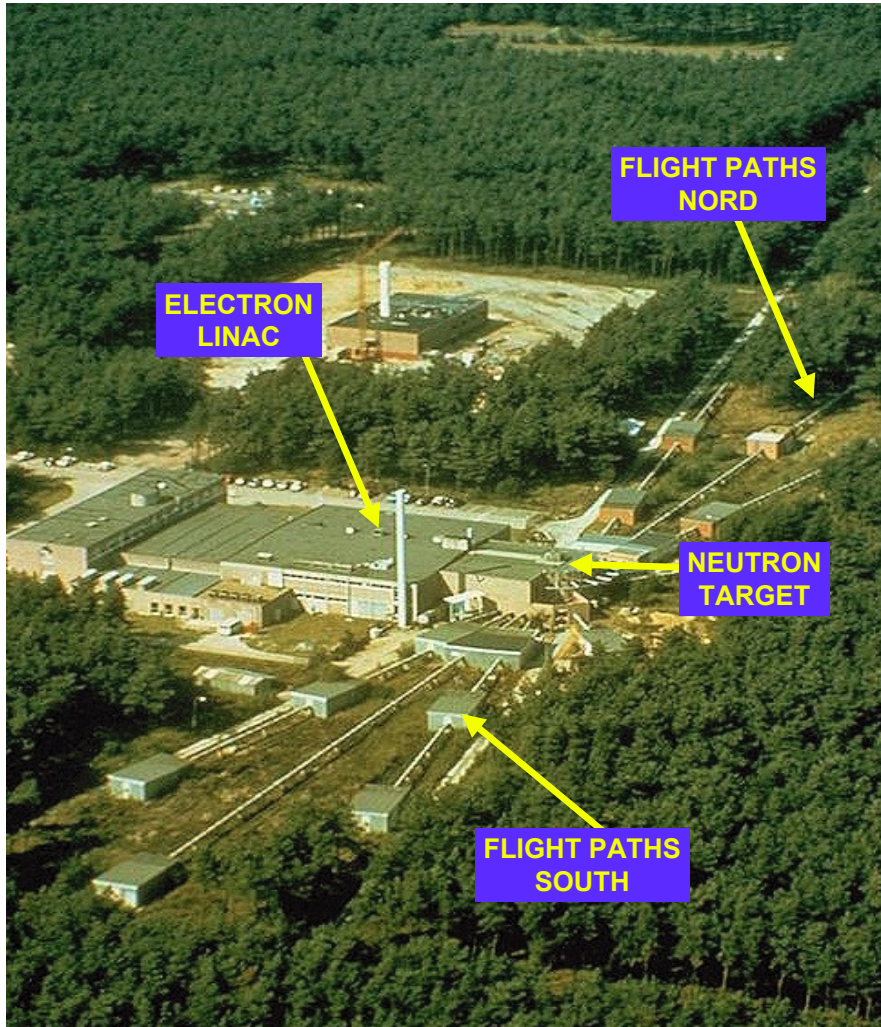
Spallation Neutron Source



1 MW liquid Hg target
>10¹⁷ n/sec

Επιταχυντές (γιατί τους χρειαζόμαστε;)

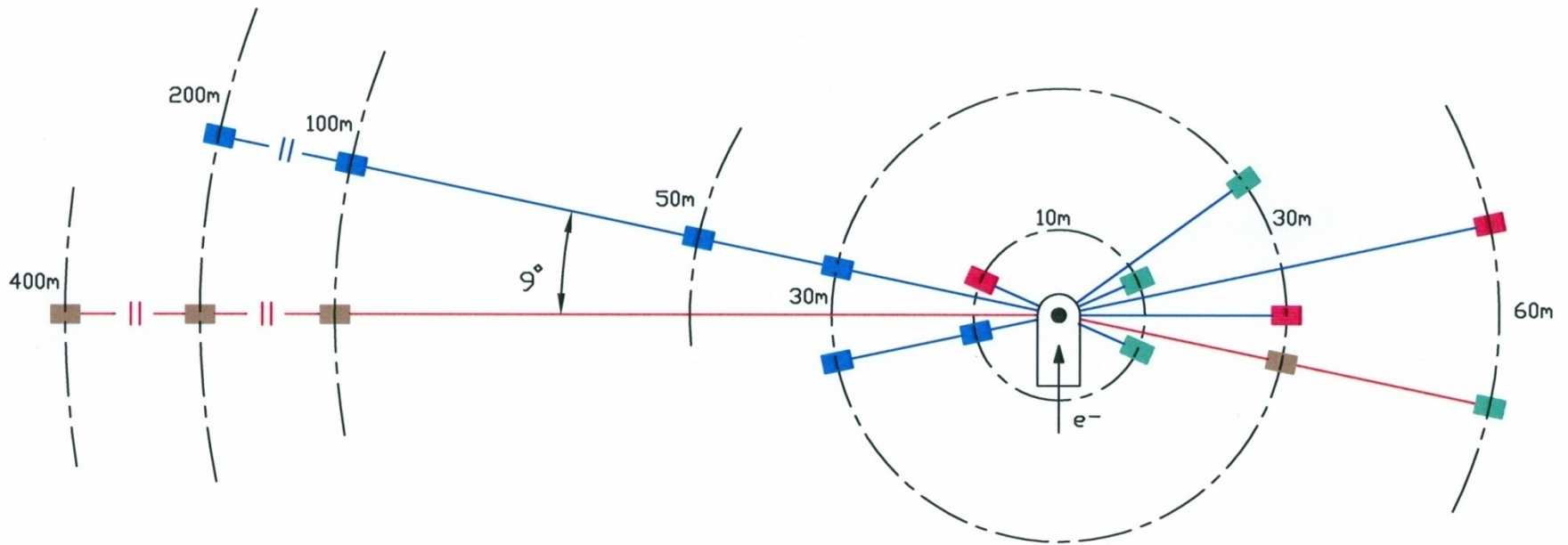
GELINA neutron time-of-flight facility



- e^- accelerated to $E_{e^- \text{ max}} \approx 140 \text{ MeV}$
- (e^-, γ) Bremsstrahlung in U-target (rotating & cooled with liquied Hg)
- (γ, n) , (γ, f) in U-target
- Low energy neutrons by water moderator in Be-canning

Επιταχυντές (γιατί τους χρειαζόμαστε;)

GELINA neutron time-of-flight facility

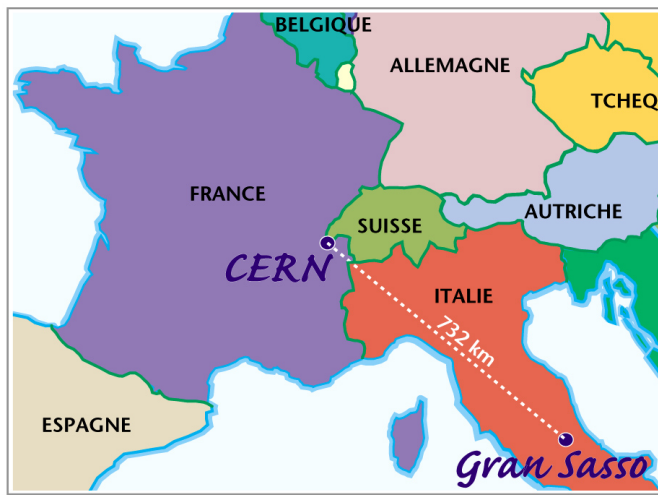
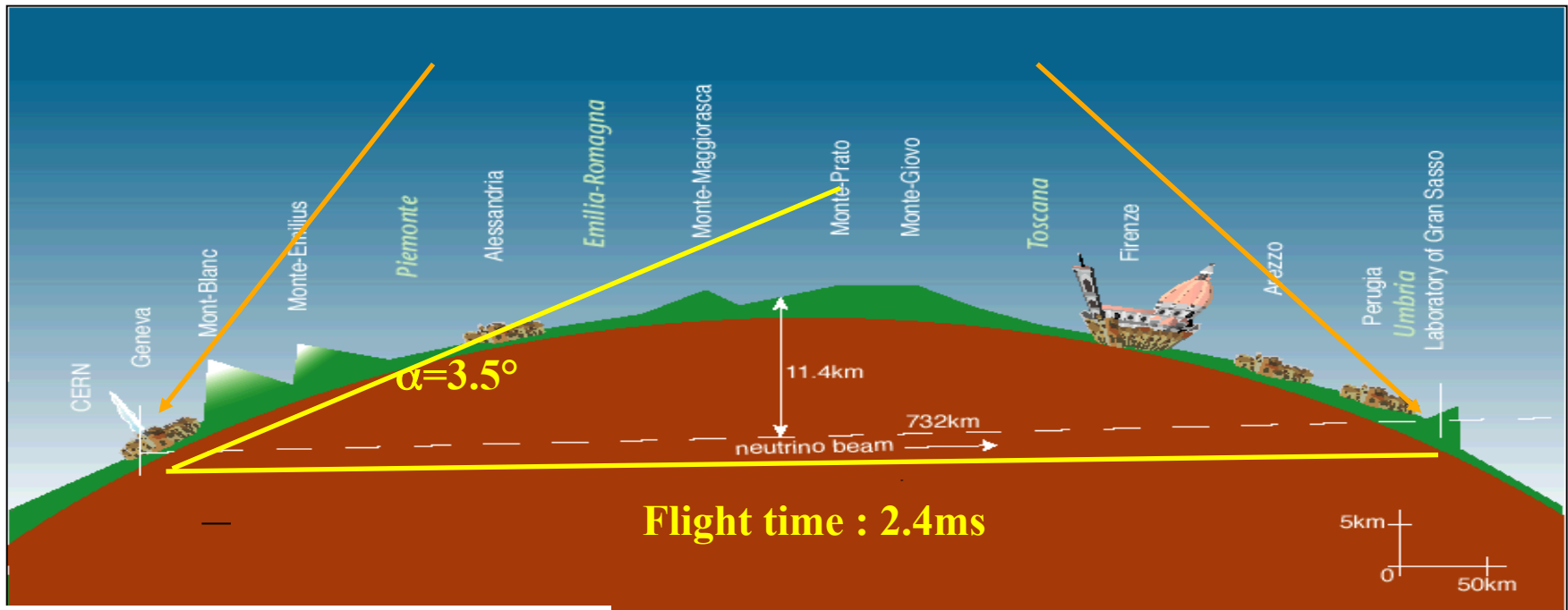


- (n, tot)
- (n, γ)
- (n, f) and (n, cp)
- $(n, n' \gamma)$



Επιταχυντές (γιατί τους χρειαζόμαστε;)

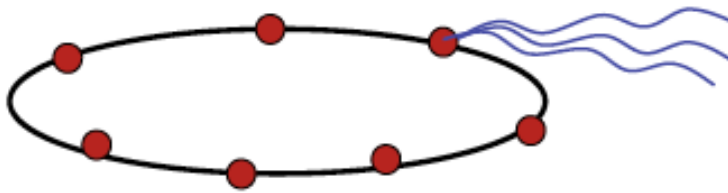
δέσμες νετρίνων **Cern Neutrino to Gran Sasso**



Επιταχυντές (γιατί τους χρειαζόμαστε;)

Ακτινοβολία Σύγχροτου

Synchrotron light source

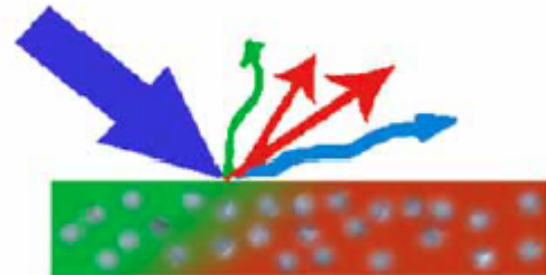


FOM: Brilliance v. λ

$$B = \text{ph/s/mm}^2/\text{mrad}^2/0.1\% \text{BW}$$

✱ Science with X-rays

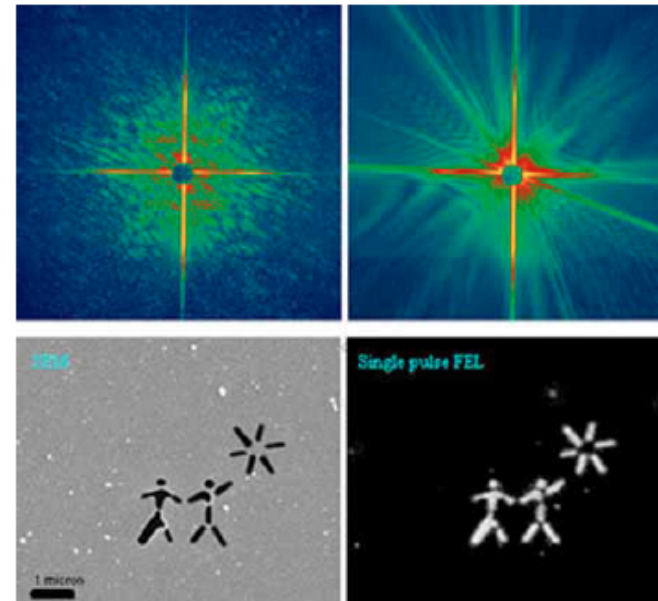
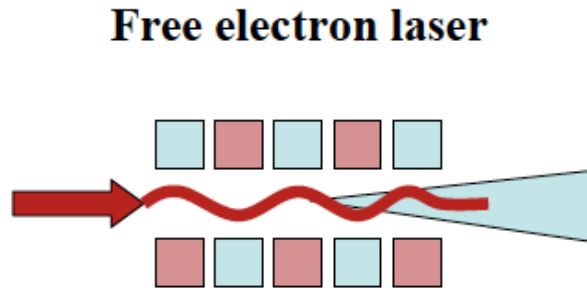
- Microscopy
- Spectroscopy



Επιταχυντές (γιατί τους χρειαζόμαστε;)

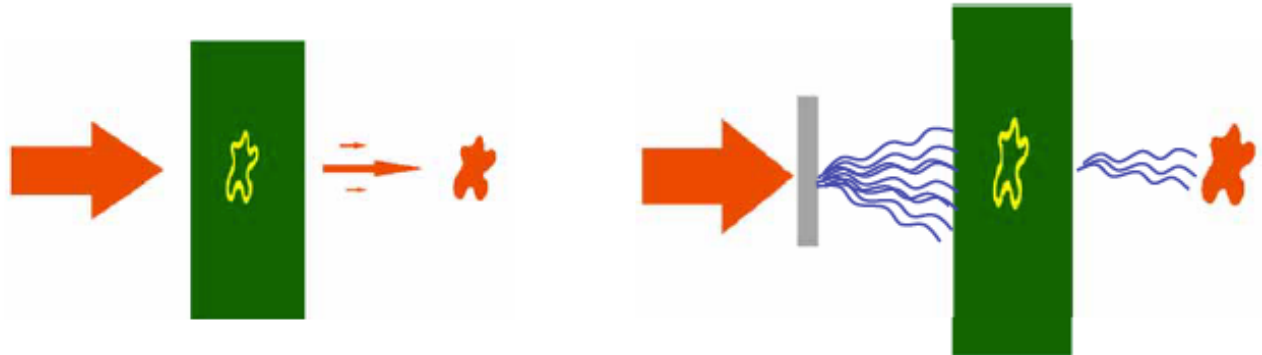
Ακτινοβολία Σύγχροτρου

Για ακόμα μεγαλύτερη φωτεινότητα χρειάζεται
“συνεκτική” εκπομπή (coherent emission) => FEL



Επιταχυντές (γιατί τους χρειαζόμαστε;)

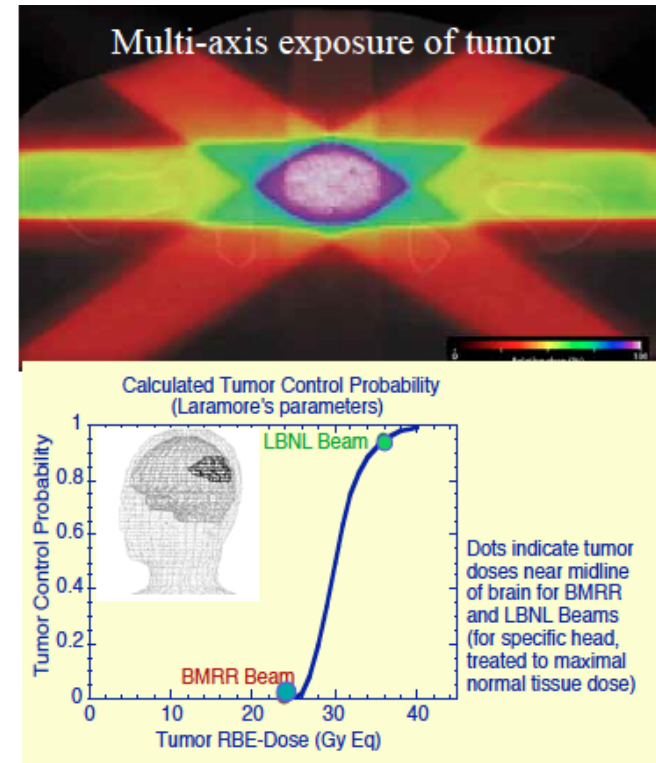
Radiography



Επιταχυντές (γιατί τους χρειαζόμαστε;)

Ιατρικές εφαρμογές

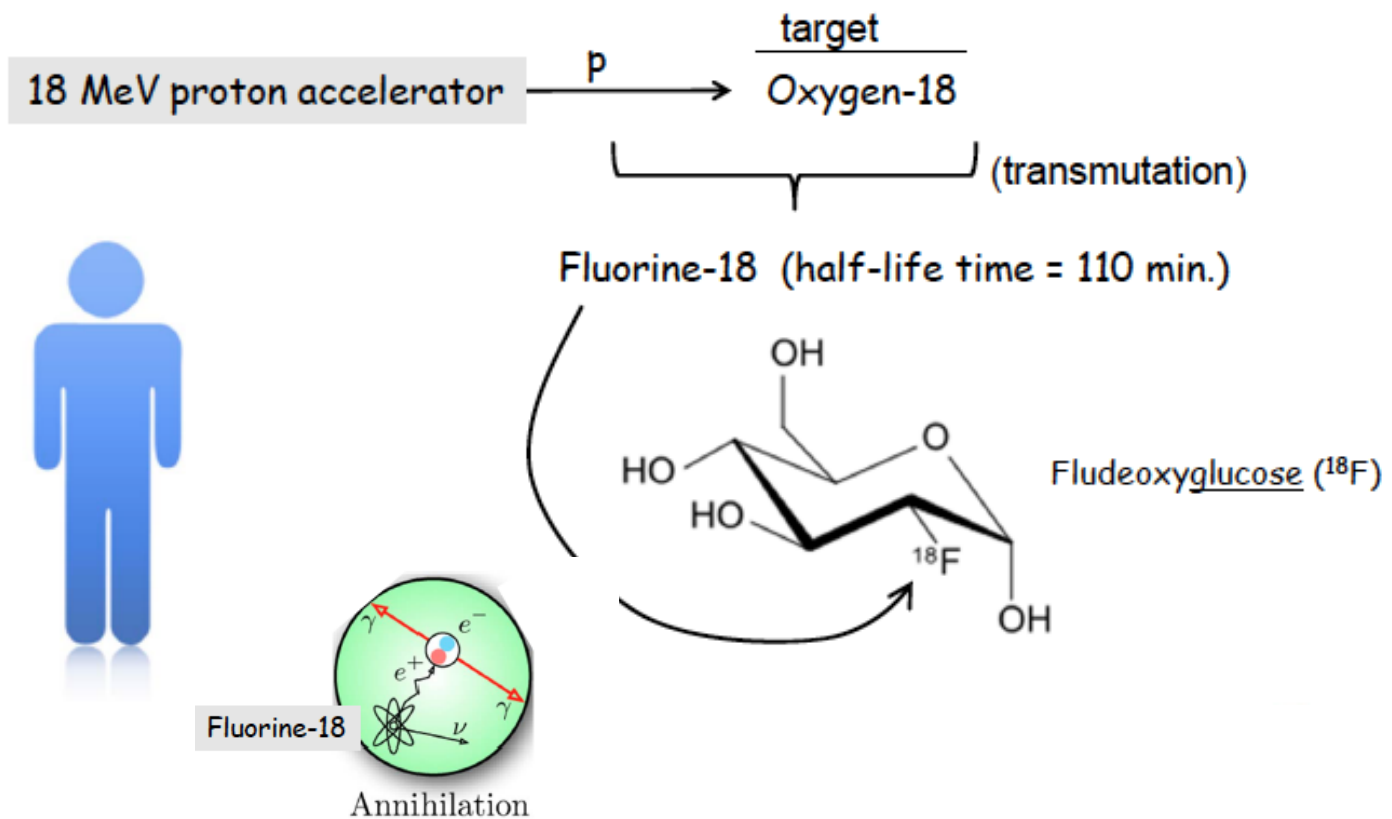
Θεραπεία



Επιταχυντές (γιατί τους χρειαζόμαστε;)

Ιατρικές εφαρμογές

Παραγωγή Ραδιοϊσοτόπων

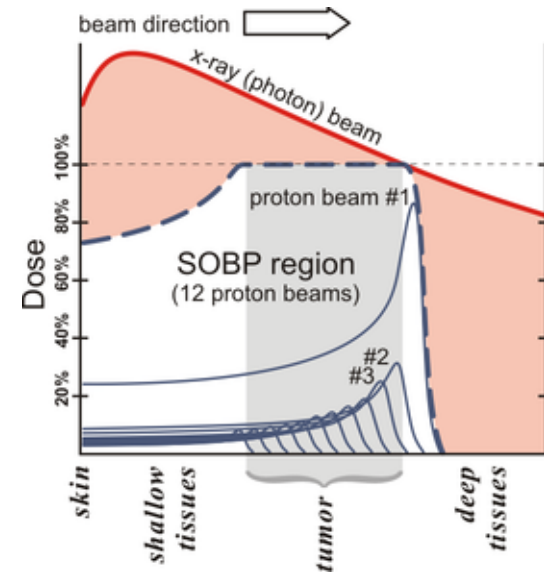


Επιταχυντές (γιατί τους χρειαζόμαστε;)

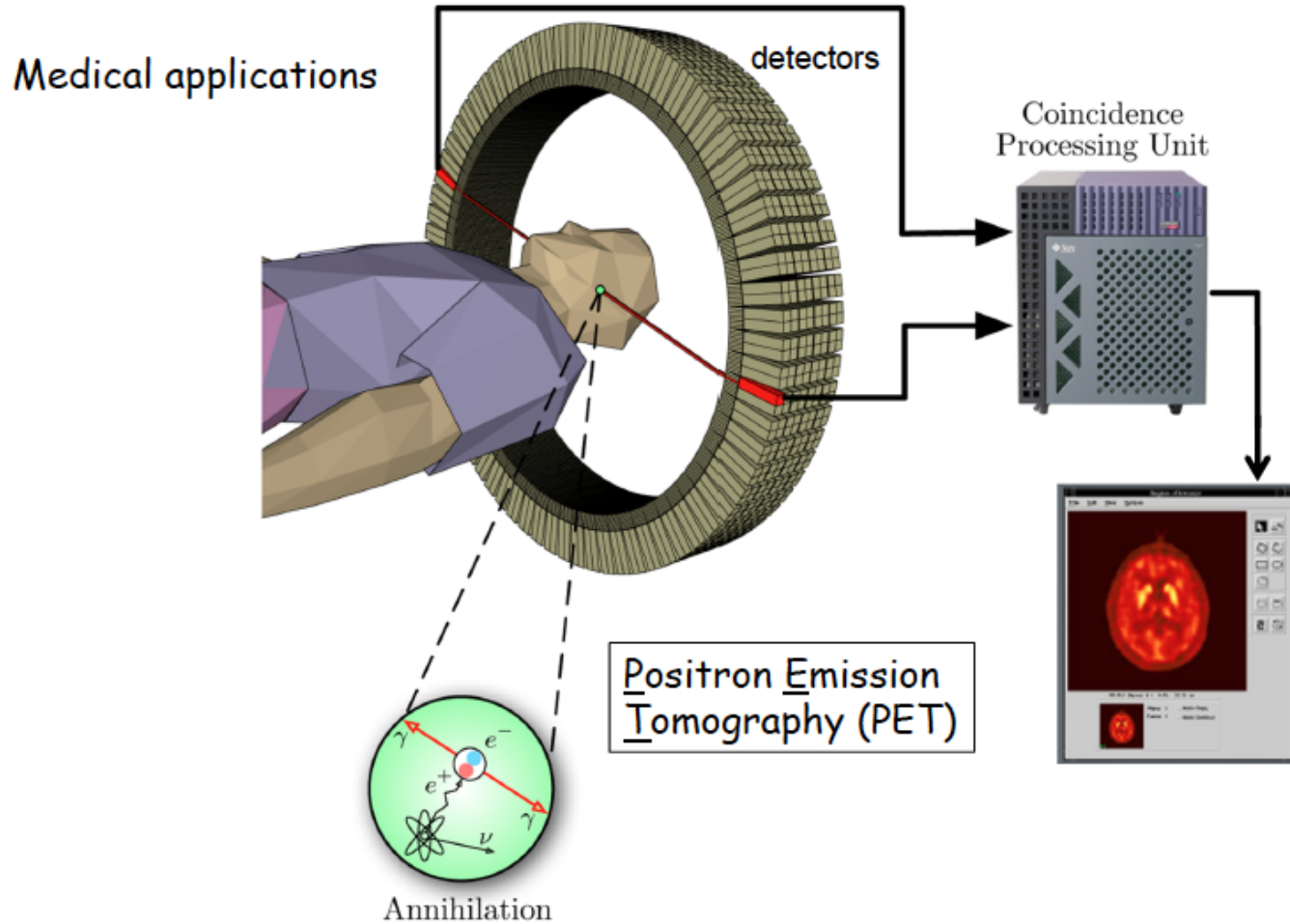
Hadron therapy



Heidelberg Ion Therapy Centre



Επιταχυντές (γιατί τους χρειαζόμαστε;)

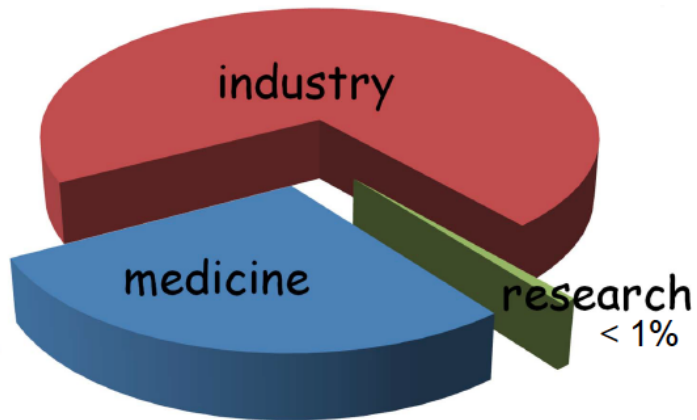


Επιταχυντές στον κόσμο (2002)

Basic and Applied Research		Medicine	
High-energy phys.	120	Radiotherapy	7500
S.R. sources	50	Isotope Product.	200
Non-nuclear Res.	1000	Hadron Therapy	20
Industry			
Ion Implanters	7000		
Industrial e- Accel.	1500	Total:	17390

STATISTICS ON ACCELERATORS 2002

Επιταχυντές στον κόσμο (2002)



Βιομηχανικές εφαρμογές

Application	
Ion implantation	~ 9500
Electron cutting and welding	~ 4500
Electron beam and x-ray irradiators	~ 2000
Ion beam analysis (including AMS)	~ 200
Radioisotope production (including PET)	~ 900
Nondestructive testing (including security)	~ 650
Neutron generators (including sealed tubes)	~ 1000

approx. numbers from 2007 (worldwide)

with energies up to 15 MeV