

**Τομέας Β΄  
Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματιδίων  
Ακαδημαϊκό Έτος 2021-22**

**Κώστας Βελλίδης  
Διευθυντής Τομέα Β΄**

**ΕΚΠΑ  
24 Νοεμβρίου 2021**

# Περιεχόμενα

- Ερευνητικό αντικείμενο
- Ανθρώπινο δυναμικό
- Εγκαταστάσεις
- Μαθήματα συναφή με την κατεύθυνση του Τομέα Β΄
- Ερωτήσεις και παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια της διάλεξης ευπρόσδεκτες

## Ερευνητικό Αντικείμενο του Τομέα Β΄

(Ερευνητικές δραστηριότητες θα παρουσιαστούν στο Β΄ εξάμηνο)

# Πυρηνική Φυσική και Σωματιδιακή Φυσική

- Αντικείμενο είναι η μελέτη των φυσικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα σε υποατομική κλίμακα

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar/2 \Rightarrow$$

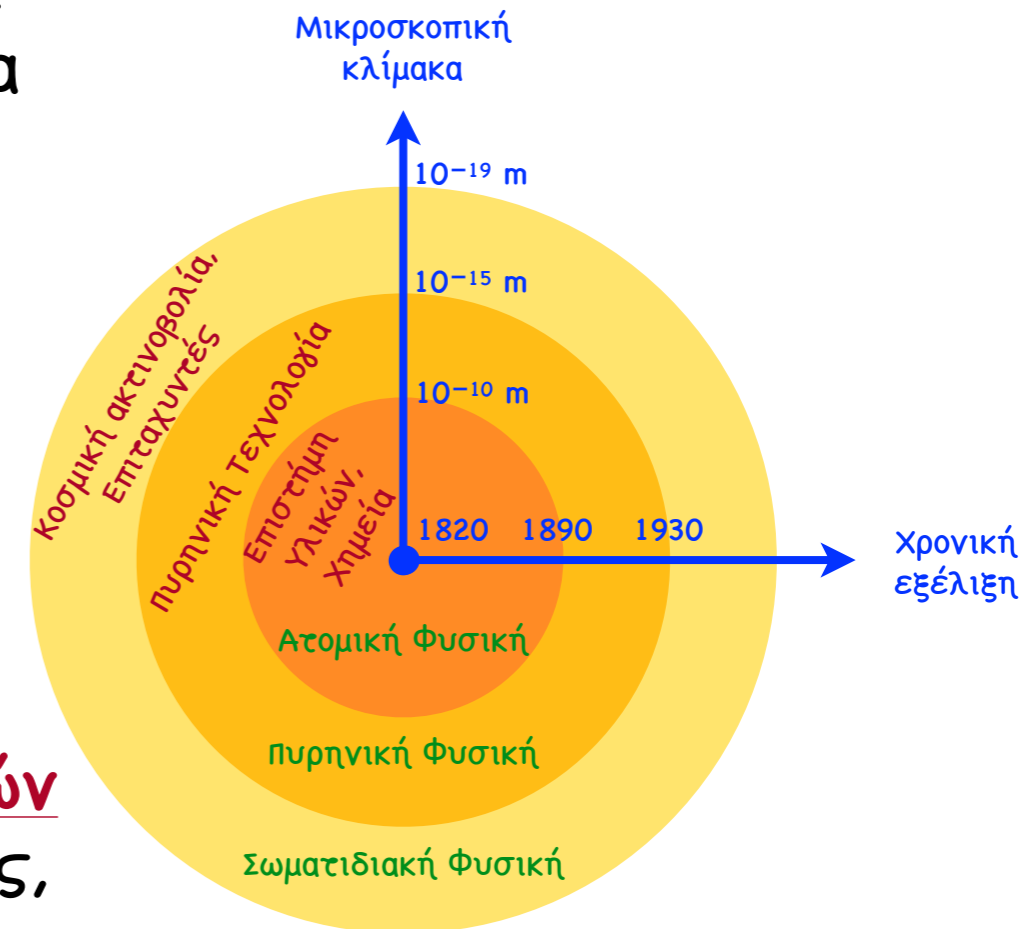
μικρότερη κλίμακα απόστασης  
↕  
μεγαλύτερη κλίμακα ενέργειας

- Η **Πυρηνική Φυσική** περιγράφει τη συγκρότηση και τις ιδιότητες των ατομικών πυρήνων, με πληθώρα εφαρμογών:

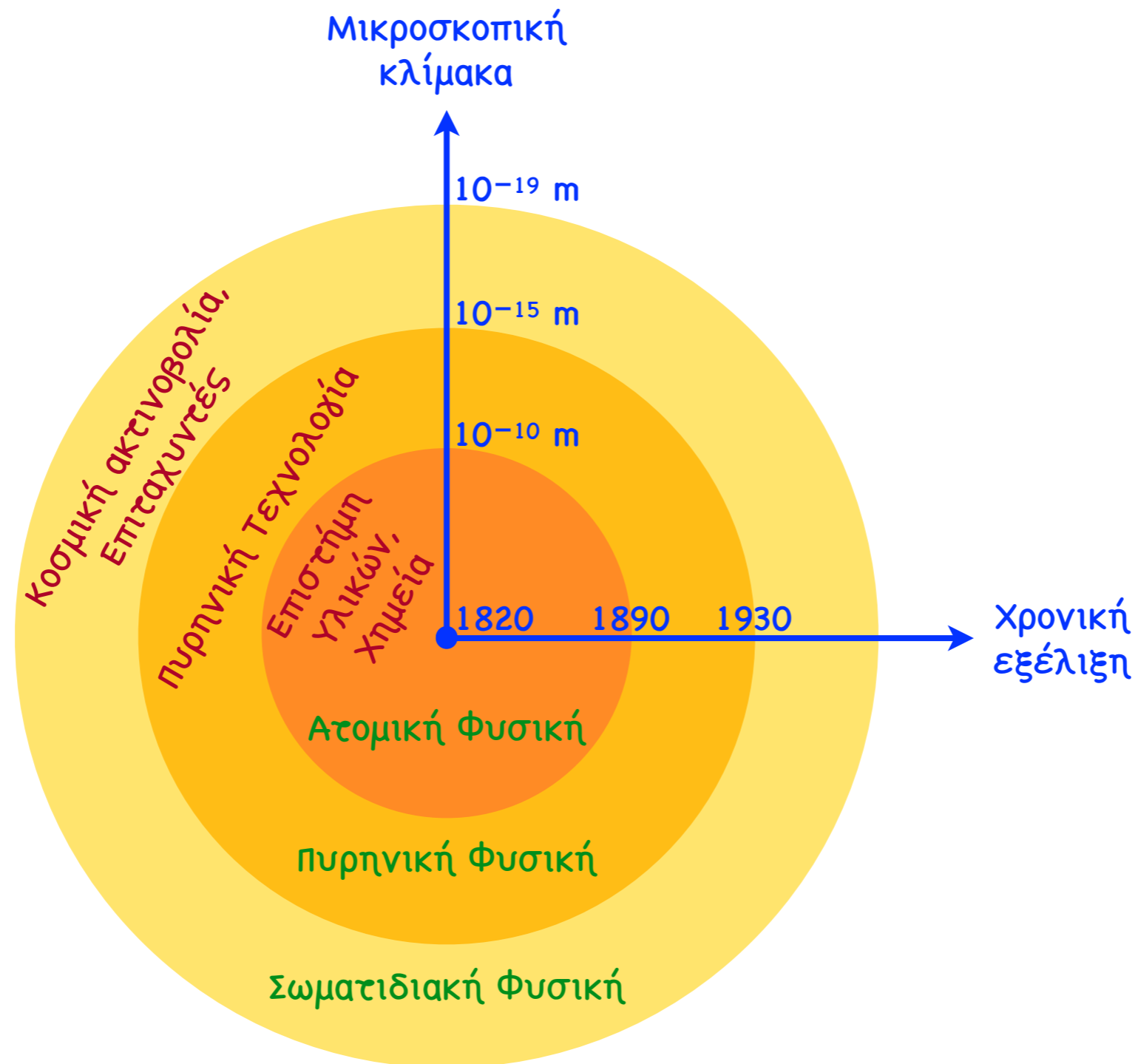
- ▶ Ενέργεια (ελεγχόμενη σχάση, σύντηξη?)
- ▶ Ιατρική (απεικόνιση, ακτινοθεραπεία)
- ▶ Επιστήμη Υλικών
- ▶ Αστροφυσική
- ▶ Περιβάλλον
- ▶ Αρχαιομετρία

- Η **Σωματιδιακή Φυσική** ή **Φυσική Υψηλών Ενερχειών** ερμηνεύει όλα τα φαινόμενα υποατομικής κλίμακας, ανακαλύπτοντας στοιχειώδη σωματίδια και τους νόμους που υπακούουν

- Η πρόοδος στην πυρηνική και τη σωματιδιακή φυσική εμβαθύνει την κατανόηση του φυσικού Κόσμου, συνεπώς και του Ανθρώπου μέσα σε αυτόν, που είναι ο πρωταρχικός σκοπός της Φυσικής Επιστήμης, ενώ παράλληλα προωθεί την τεχνολογία στα όριά της

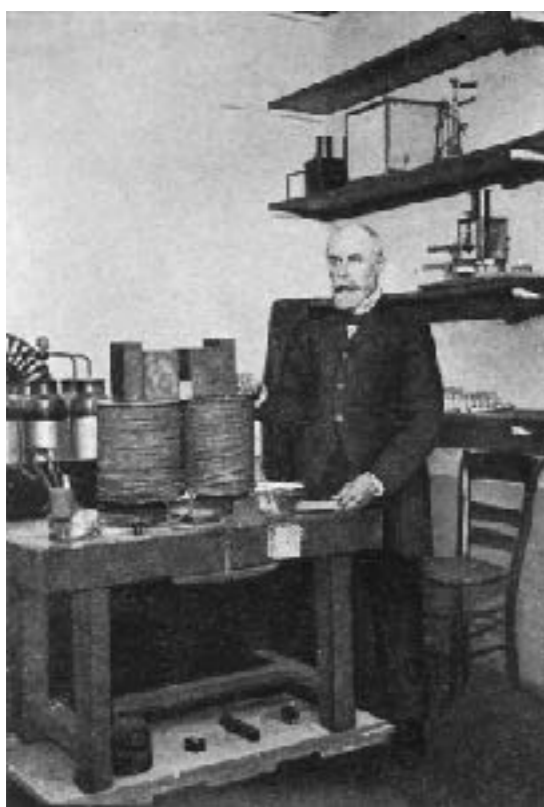


# πυρηνική Φυσική και Σωματιδιακή Φυσική

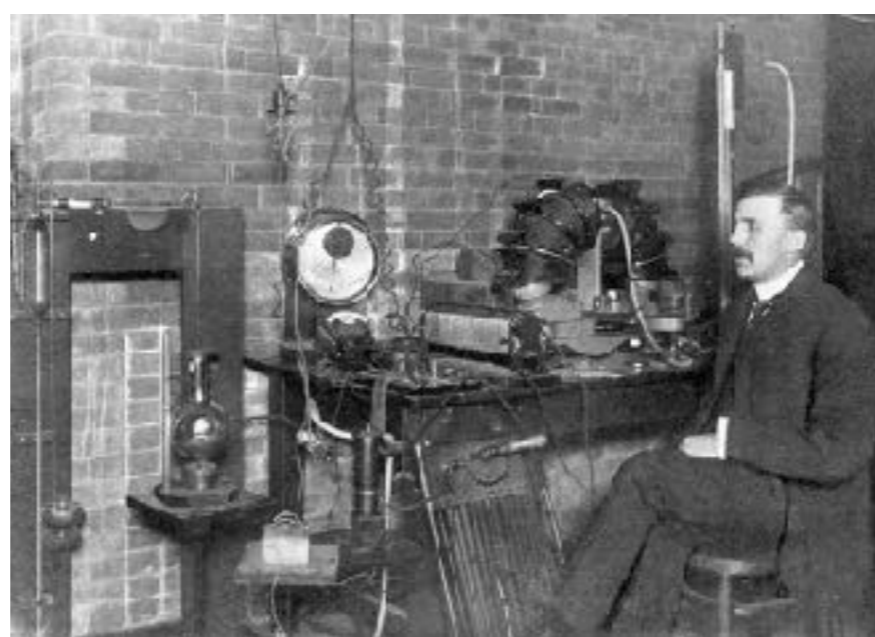


## Πυρηνική Φυσική: τα θεμέλια

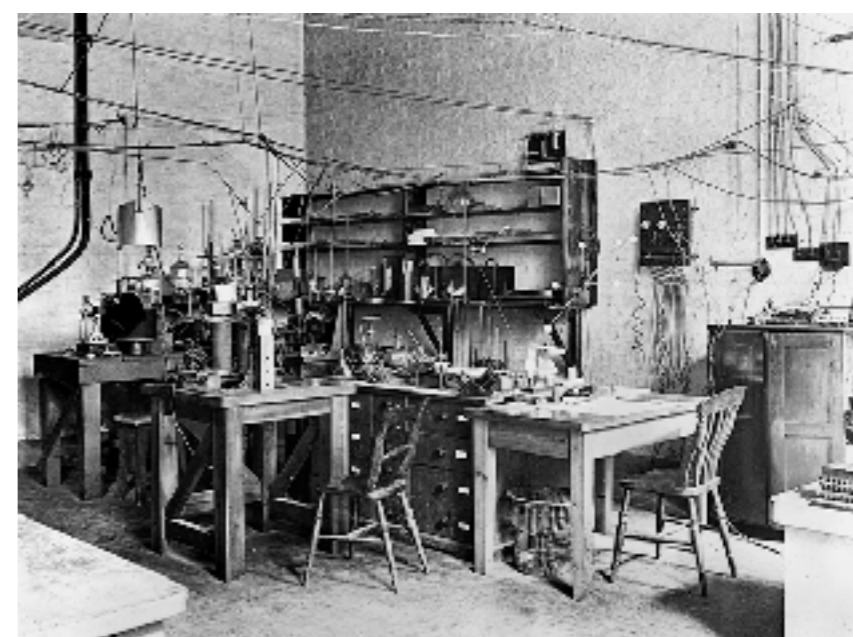
- **1896**: Ανακάλυψη της ραδιενέργειας από άλατα ουρανίου (Henri Becquerel)
- **1897**: Ανακάλυψη του ηλεκτρονίου και της ατομικής δομής (Joseph John Thomson)
- **1911**: Ανακάλυψη του πυρήνα βομβαρδίζοντας φύλλα  $^{197}\text{Au}$  με σωματία α ( $^4\text{He}$ ) (Ernest Rutherford)
- **1920**: Θεωρία της πυρηνικής σύντηξης  $^2\text{H} + ^3\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + n$  ως πηγή ενέργειας των άστρων (Arthur Eddington)
- **1932**: Ανακάλυψη του νετρονίου (James Chadwick)
- **1935**: Θεωρία πυρηνικής αλληλεπίδρασης με ανταλλαγή μεσονίων (Hideki Yukawa)



Ο Becquerel στο εργαστήριό του



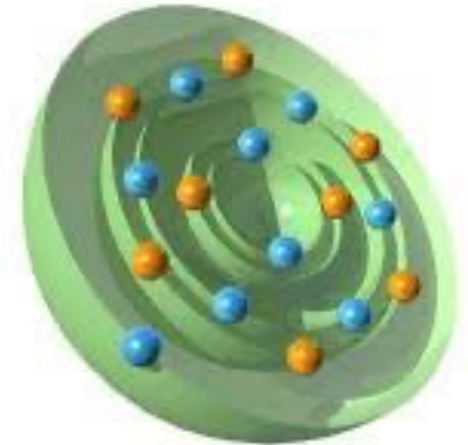
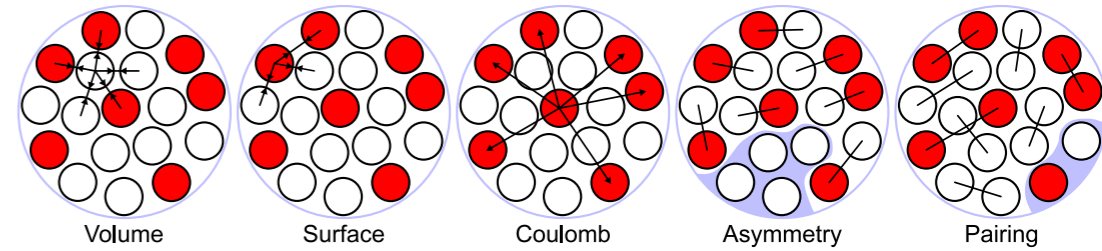
Ο Rutherford στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου McGill στο Montreal



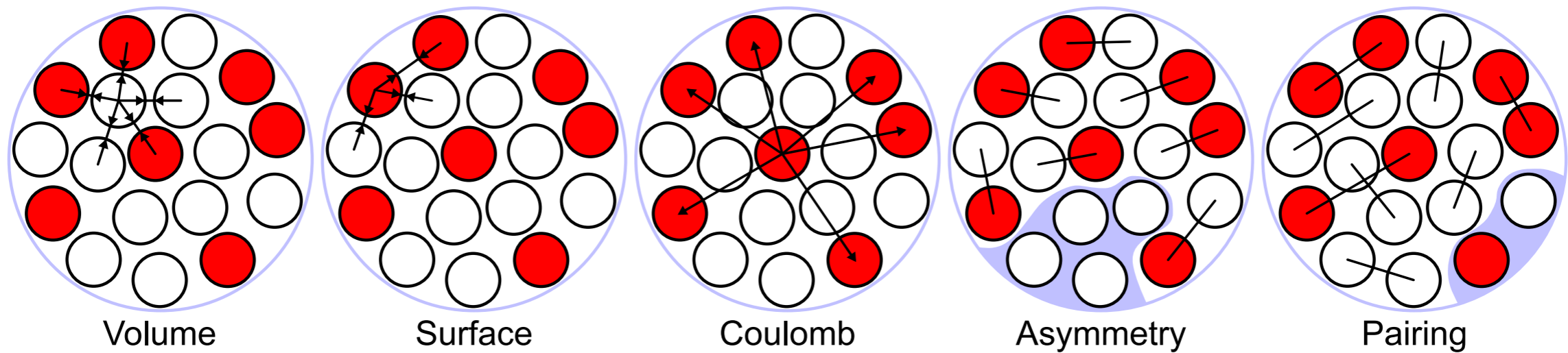
Το εργαστήριο του Rutherford στο Cambridge

# Πυρηνική Φυσική: η σύγχρονη εικόνα

- Ο πυρήνας ως σύστημα μεγάλου αριθμού **νουκλεονίων** είναι σε πρώτη προσέγγιση **κλασικό σύστημα**  $\Rightarrow$  μοντέλο "**υγρής σταχόνας**": προβλέπει μάζα και ευστάθεια πυρήνων
- Επόμενη προσέγγιση η αλληλεπίδραση των νουκλεονίων με ένα **μέσο πεδίο** πεπερασμένης εμβέλειας που προκύπτει από το δυναμικό Yukawa  $\Rightarrow$  **κβαντικό σύστημα**  $\Rightarrow$  "**φλοιώδης πυρηνική δομή**" ανάλογη με την ατομική δομή: προβλέπει σπιν, σχήμα, κατανομές ηλεκτρικού φορτίου και μαγνήτισης
- Τελειοποιήσεις του μοντέλου των φλοιών διορθώνουν την προσέγγιση μέσου πεδίου με "ρεαλιστικά" δυναμικά **αλληλεπίδρασης νουκλεονίου-νουκλεονίου**
- Ακόμη πιο αναβαθμισμένες προσεγγίσεις επιχειρούν να λύσουν πλήρως το **κβαντικό πρόβλημα πολλών σωμάτων** του πυρήνα με "ρεαλιστικά" δυναμικά αλληλεπίδρασης
- Η σύγχρονη πυρηνική Φυσική περιγράφει με μεγάλη ακρίβεια μια πολύ μεγάλη ποικιλία φαινομένων: **πυρηνικές αντιδράσεις** (σκέδαση, σχάση, σύντηξη) και **ακραίες συνθήκες ευστάθειας** (μεγάλο  $A$ , μικρό  $Z/A$ , μεγάλο σπιν, ισχυρή παραμόρφωση, υψηλή "θερμοκρασία") που αναπαράγονται σε πειράματα επιταχυντών με δέσμες ιόντων



# Το μοντέλο της "υγρής σταγόνας"

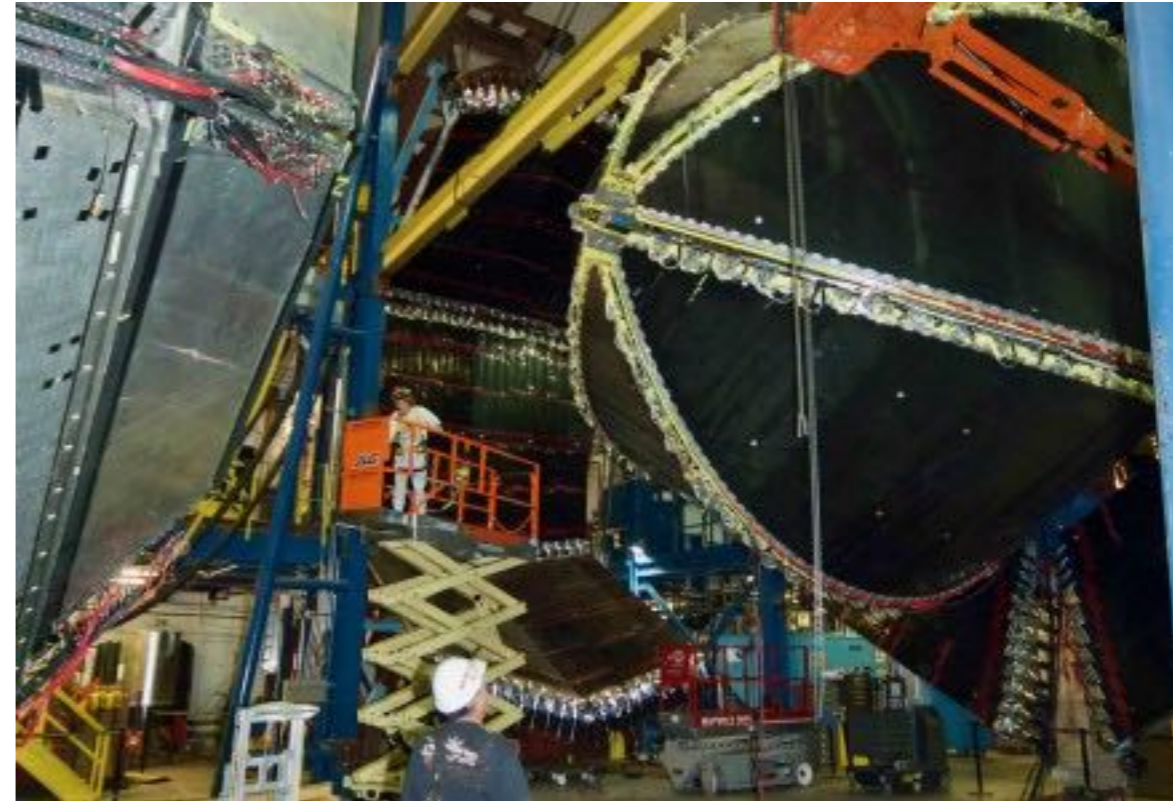


Απεικόνιση όρων που καθορίζουν την ενέργεια σύνδεσης του πυρήνα στο μοντέλο της "υγρής σταγόνας". Πρωτόνια (κόκκινα) και νετρόνια (λευκά), που συλλογικά ονομάζονται νουκλεόνια, συνθέτουν ένα υγρό που συγκρατιέται σε μια σταγόνα από την επιφανειακή τάση του



# Πειράματα σκέδασης ηλεκτρονίων σε πυρηνικούς στόχους

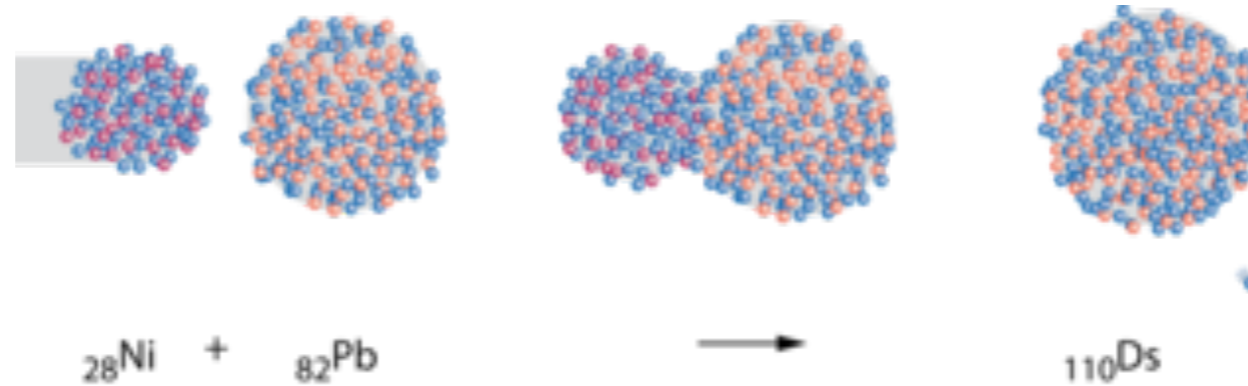
Ο φασματογράφος ορμής **CLAS** στην αίθουσα **B** του **Thomas Jefferson Lab** των ΗΠΑ, με τον οποίο παρατηρείται ότι η ορμή των πρωτονίων μέσα στους πυρήνες αυξάνεται με τον αριθμό των νετρονίων



Η πειραματική διάταξη **Q-weak** στην αίθουσα **C** του **Thomas Jefferson Lab** των ΗΠΑ, με την οποία μετρείται με ακρίβεια το "ασθενές φορτίο" του πρωτονίου (το σθένος της ασθενούς πυρηνικής δύναμης, υπεύθυνης για τις ραδιενεργές διασπάσεις)



# Πειράματα σκέδασης βαρέων ιόντων σε πυρηνικούς στόχους



Στο εργαστήριο **GSI Helmholtz**, στο Darmstadt της Γερμανίας, δέσμες βαρέων ιόντων βομβαρδίζουν πυρηνικούς στόχους παράγοντας νέα στοιχεία πέρα από το  ${}_{92}\text{U}$  (“υπερουράνια” στοιχεία)



Ηλεκτρομαγνητικό “φίλτρο ταχύτητας”, με το οποίο διαχωρίζονται τα προϊόντα της αντίδρασης βαρέων ιόντων στο GSI



Διαχωριστής στοιχείων αερίου, με τον οποίο διαχωρίζονται και ταυτοποιούνται υπερουράνια χημικά στοιχεία στο GSI

# Η ανάπτυξη της Σωματιδιακής Φυσικής από την Πυρηνική Φυσική

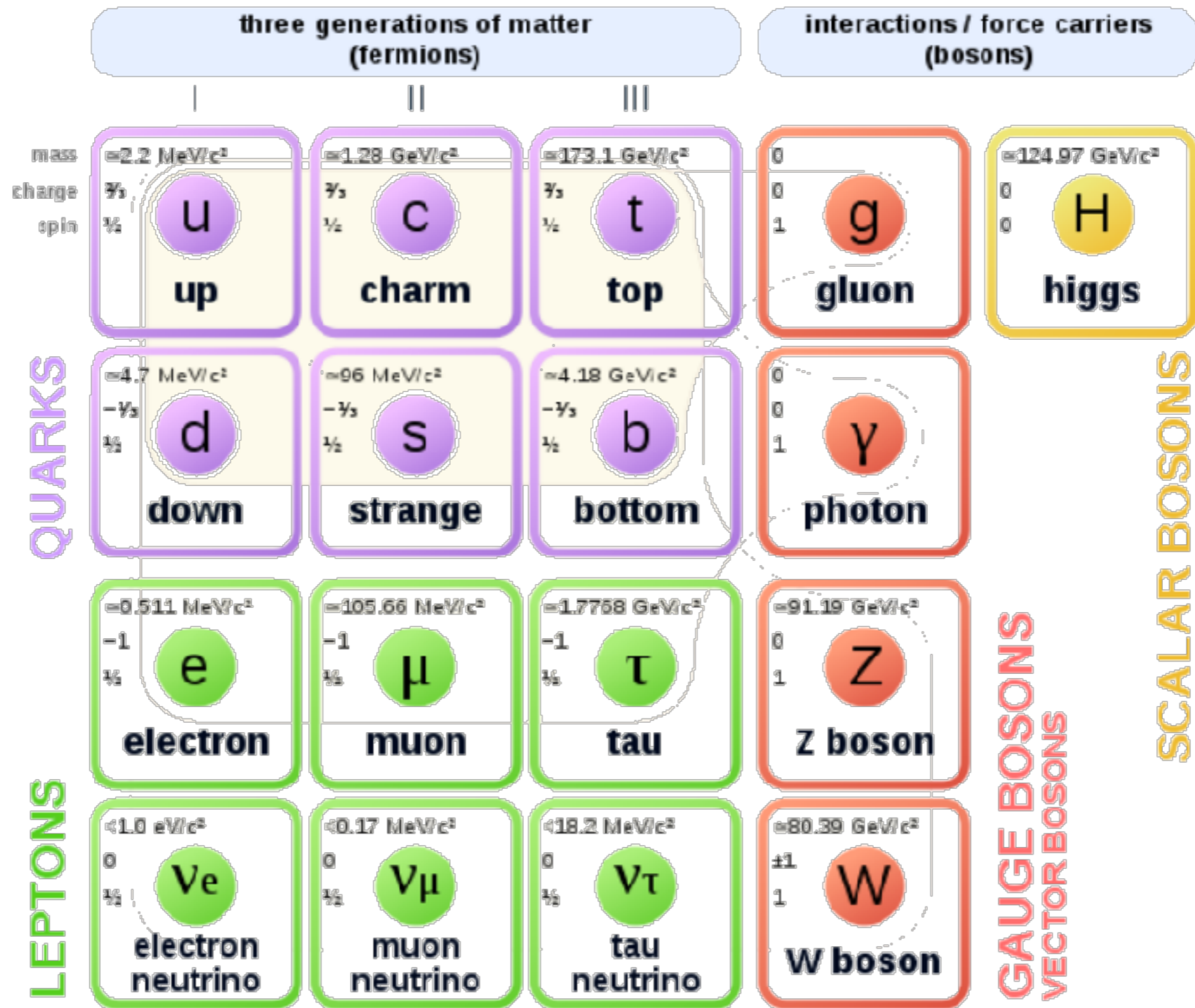
**1932:** Ανακάλυψη του **ποζιτρονίου** στη μελέτη των κοσμικών ακτίνων: πρώτο σωματίο "αντι-ύλης" (Carl Anderson)

**1934:** Ανακάλυψη του **νετρίνου** στη μελέτη της β-διάσπασης: πρώτο σωματίο που "ανακαλύφθηκε" χωρίς να "ανιχνευθεί" (Enrico Fermi)

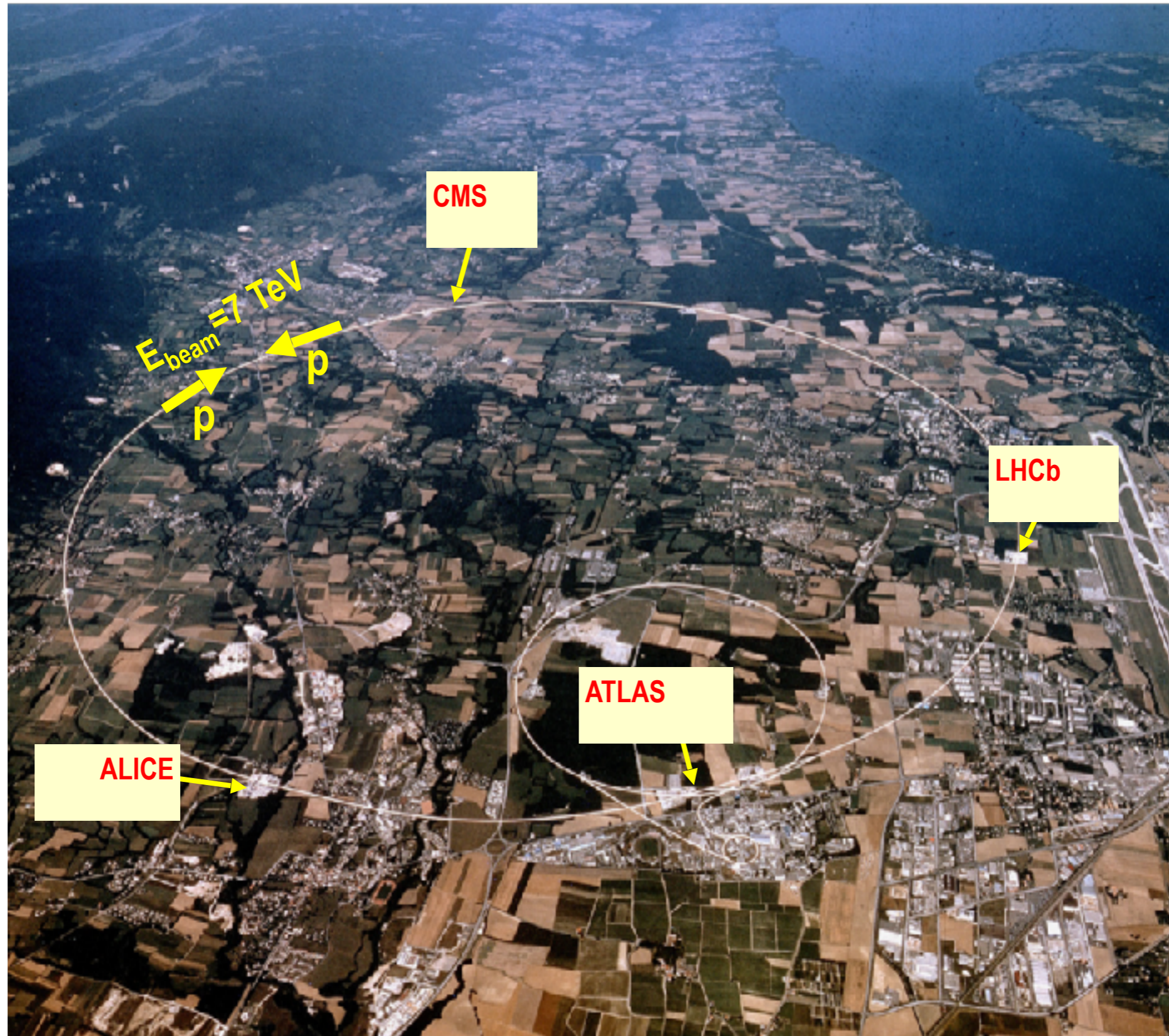
⇒ Εγκαινιάζεται η αναζήτηση νέων σωματίων που δεν συμμετέχουν άμεσα στη συγκρότηση της συνήθους ύλης (πυρήνες, άτομα), αλλά παίζουν θεμελιακό ρόλο στους νόμους που διέπουν τα υποατομικά φαινόμενα

Η σύγχρονη Σωματιδιακή Φυσική έχει καταφέρει να περιγράψει όλα τα φαινόμενα που μπορούμε μέχρι σήμερα **να αναπαράχουμε στο εργαστήριο** με μια εξαιρετικά ακριβή και εντυπωσιακά απλή (για τη δύναμη ερμηνείας των φαινομένων που διαθέτει) θεωρία, το "**Καθιερωμένο Πρότυπο**" των Στοιχειωδών Σωματίων

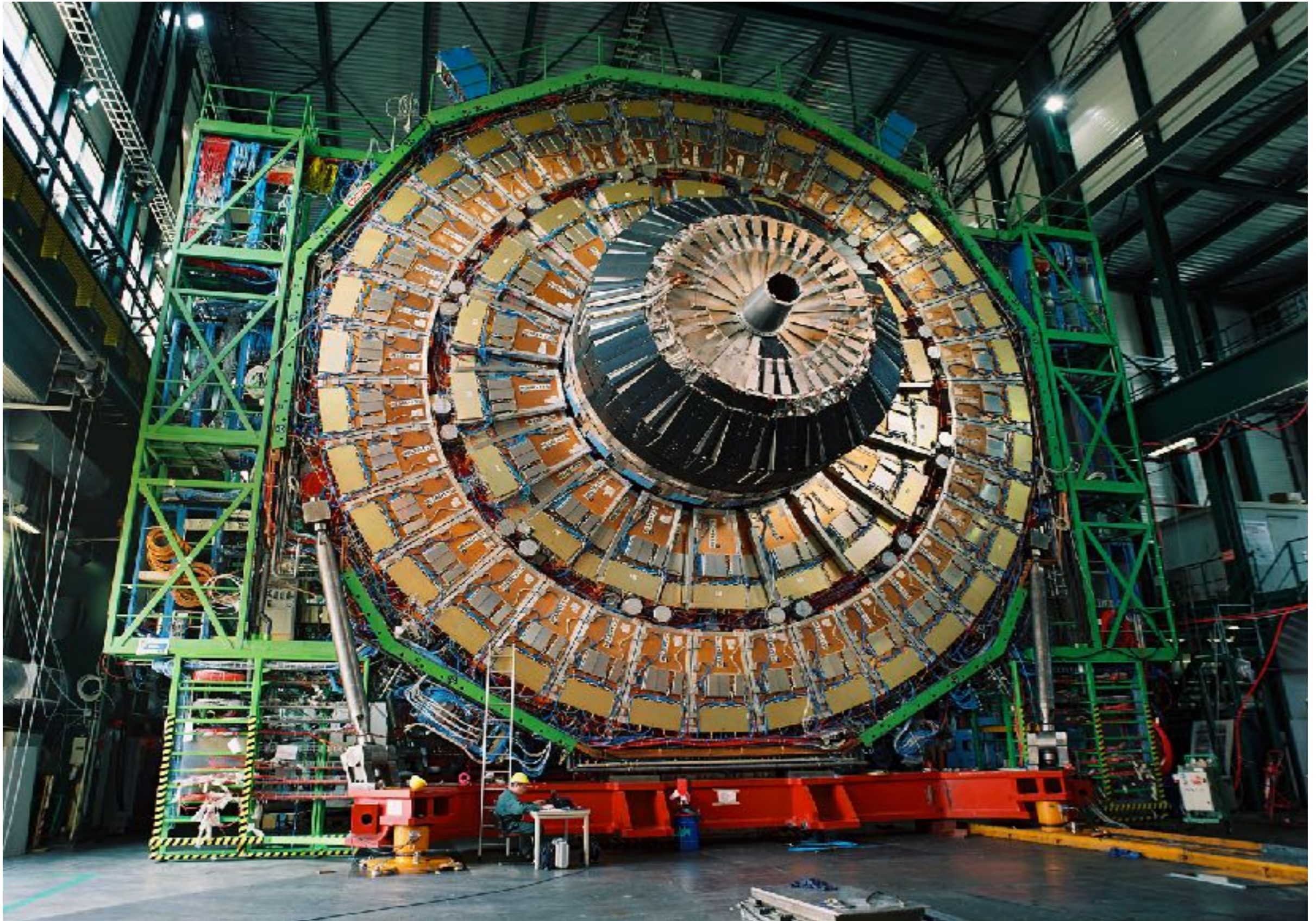
# Το Καθιερωμένο Πρότυπο της Σωματιδιακής Φυσικής



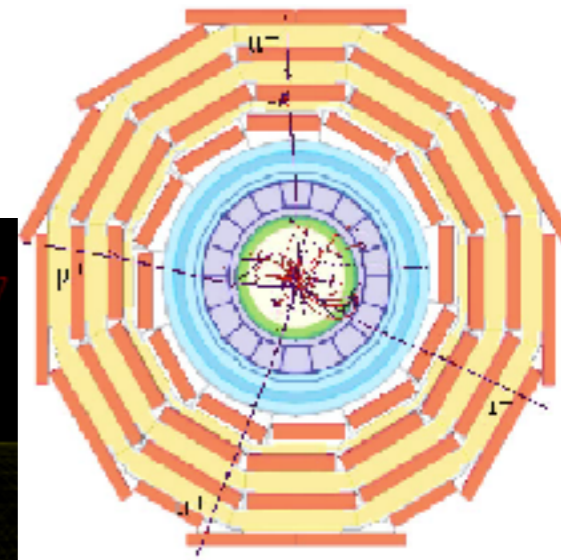
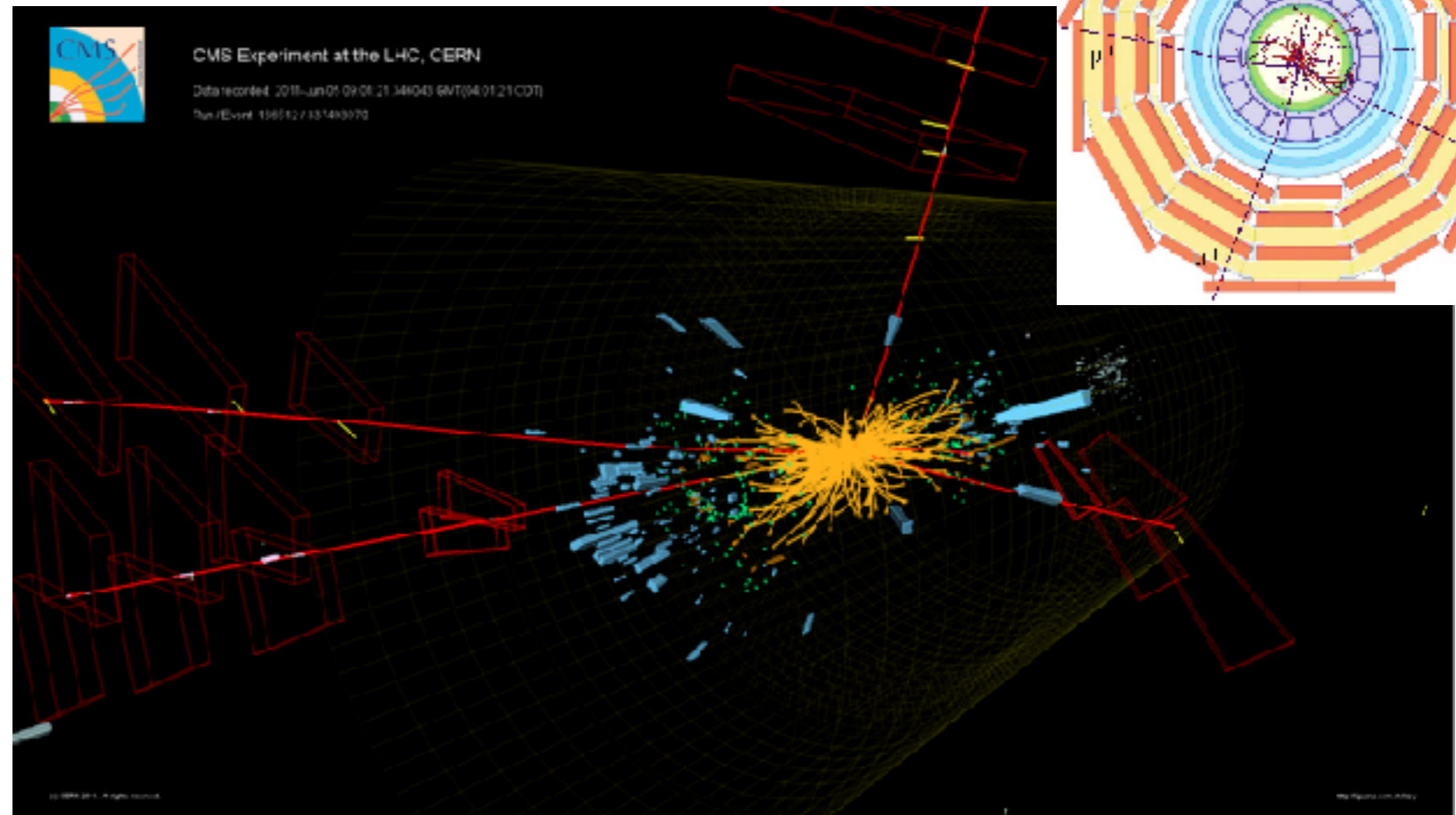
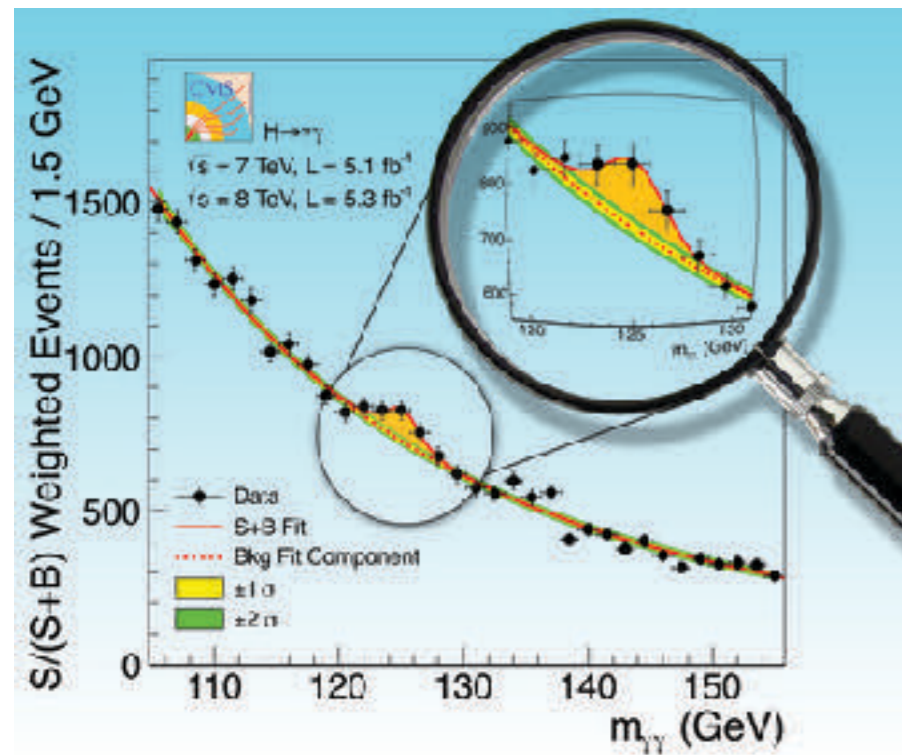
# Ο Μεγάλος Επιταχυντής Αδρονίων (LHC) στο CERN (Γενεύη)



# Ο ανιχνευτής CMS στον LHC



# Η παρατήρηση του σωματίου Higgs

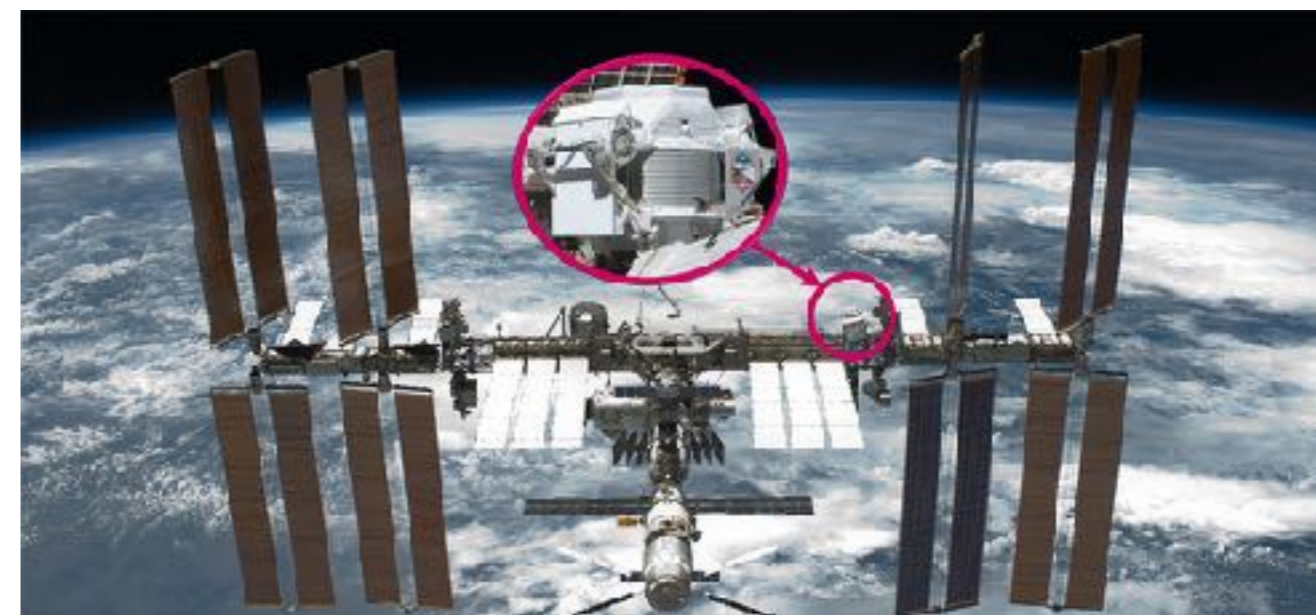
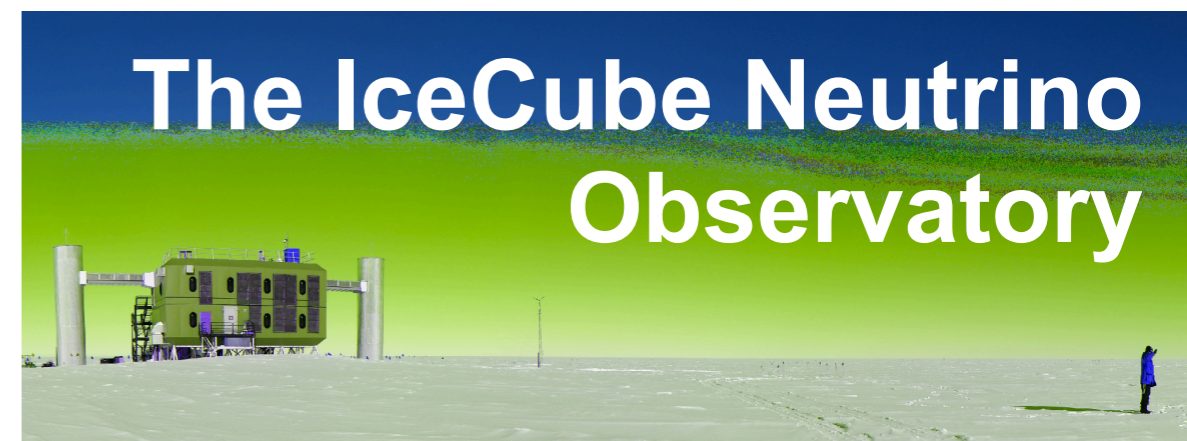
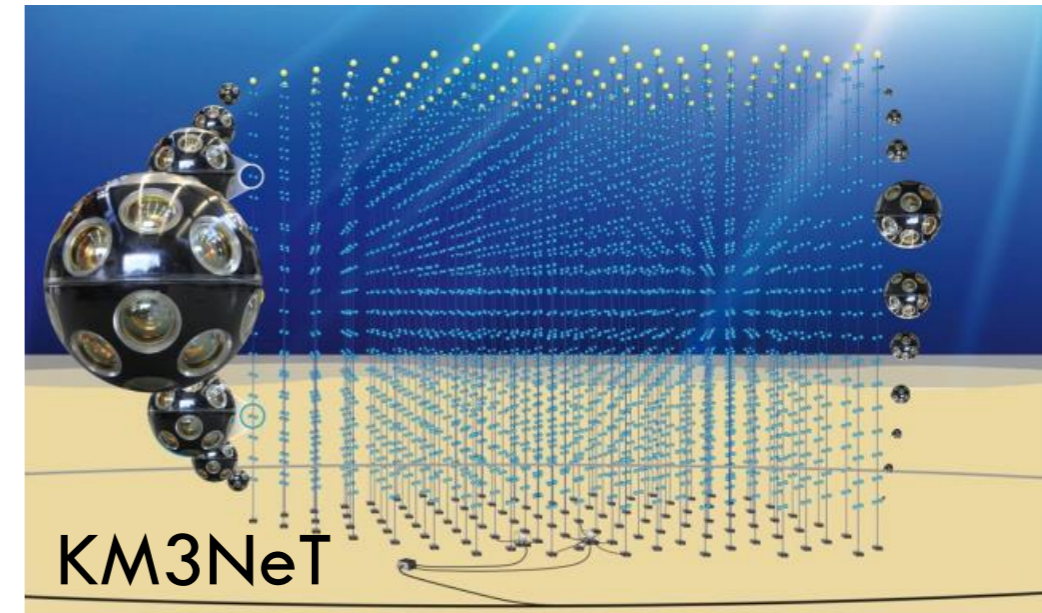


Η παρατήρηση του σωματίου Higgs το 2012 από τα πειράματα **ATLAS** και **CMS**, μετά από σχεδόν 50 χρόνια αναζήτησης, ολοκλήρωσε το καθιερωμένο πρότυπο, εξηγώντας πώς τα στοιχειώδη σωματρία αποκτούν μάζα

# Πολυμέτωπη τεχνολογία αιχμής για πολυδιάστατη έρευνα

Η σύγχρονη Σωματιδιακή Φυσική αξιοποιεί στο έπακρο την υπάρχουσα τεχνολογία και αναπτύσσει νέα για την:

- **Υποθαλάσσια** ανίχνευση κοσμικών νετρίνων με το υπό κατασκευή πείραμα **KM3NeT** (“Κυβικό Χιλιόμετρο”)
- Ανίχνευση κοσμικών νετρίνων πολύ υψηλής ενέργειας **στον αρχαίο πάχο** του Νότιου πόλου της Γης με το πείραμα **IceCube**
- Ανίχνευση αντι-ύλης **στο Διάστημα** με το πείραμα **AMS** στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό **ISS**





# Ανθρώπινο Δυναμικό, Χώροι και Εγκαταστάσεις του Τομέα Β΄

<http://nuclpart.phys.uoa.gr/anthropino-dynamiko.html>

# Ακαδημαϊκό Προσωπικό

## Πειραματικοί Στοιχειωδών Σωματίων:

- Μαρία Βασιλείου (Αν. Καθηγήτρια)
- Κώστας Βελλίδης (Αν. Καθηγητής)
- Κώστας Θεοφιλάτος (Αν. Καθηγητής)
- Αρκάδιος Μανουσάκης-Κατσικάκης (Επ. Καθηγητής)
- Νίκη Σαουλίδου (Αν. Καθηγήτρια)
- Πάρις Σφήκας (Καθηγητής)
- Δημήτρης Φασουλιώτης (Καθηγητής)

## Θεωρητικοί Στοιχειωδών Σωματίων:

- Βασίλης Γεωργαλάς (Αν. Καθηγητής)
  - Φώτης Διάκονος (Αν. Καθηγητής) \*
  - Γιώργος Διαμάντης (Αν. Καθηγητής)
  - Βασίλης Σπανός (Αν. Καθηγητής)
  - Κώστας Σφέτσος (Καθηγητής)
  - Νίκος Τετράδης (Καθηγητής)
- \* Φυσική της Πολυπλοκότητας

## Πειραματικοί Πυρηνικής Φυσικής:

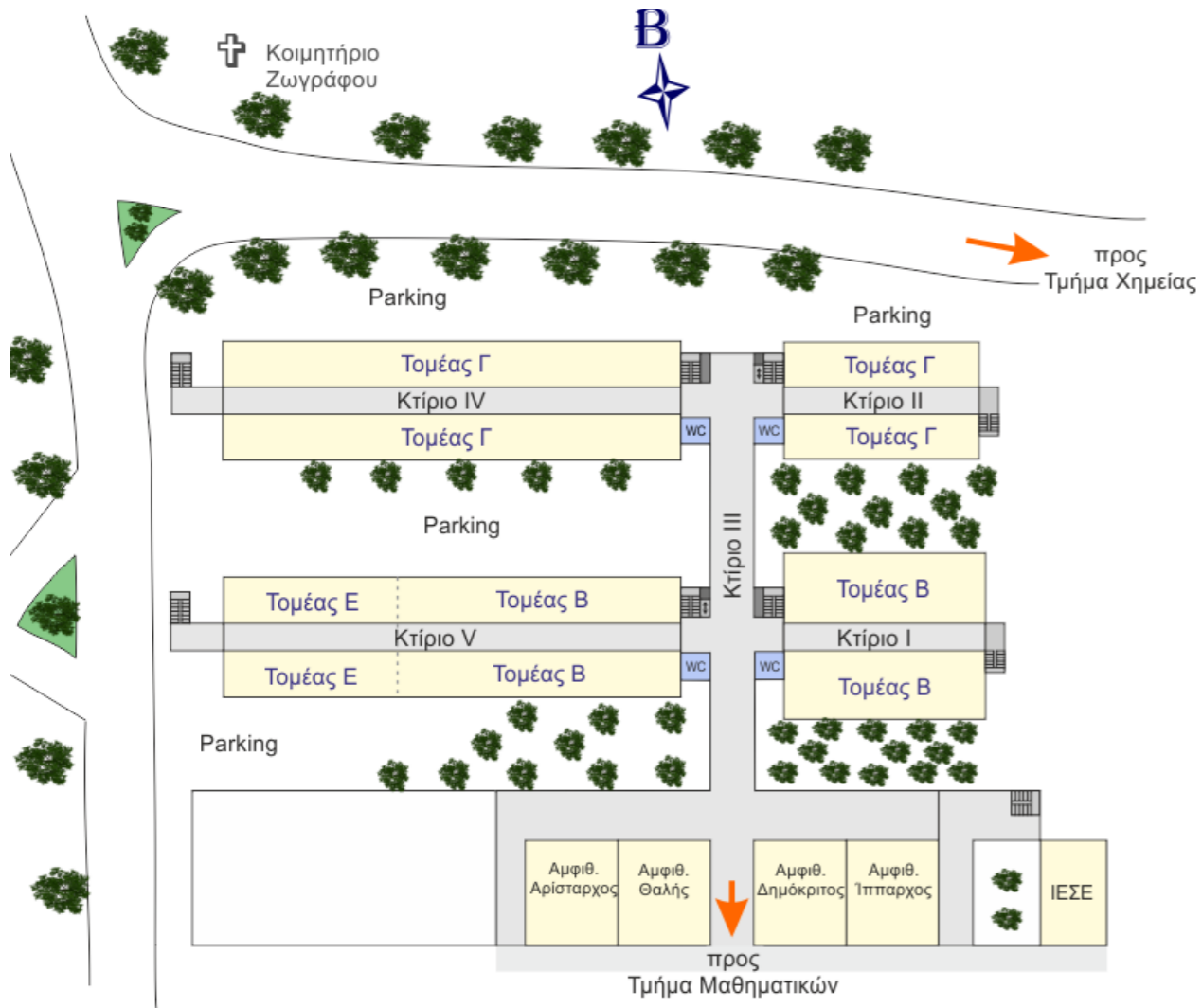
- Θόδωρος Μερτζιμέκης (Αν. Καθηγητής)
- Στάθης Στυλιάρης (Αν. Καθηγητής)

# Ερευνητικό-Διδακτικό, Τεχνικό και Διοικητικό Προσωπικό

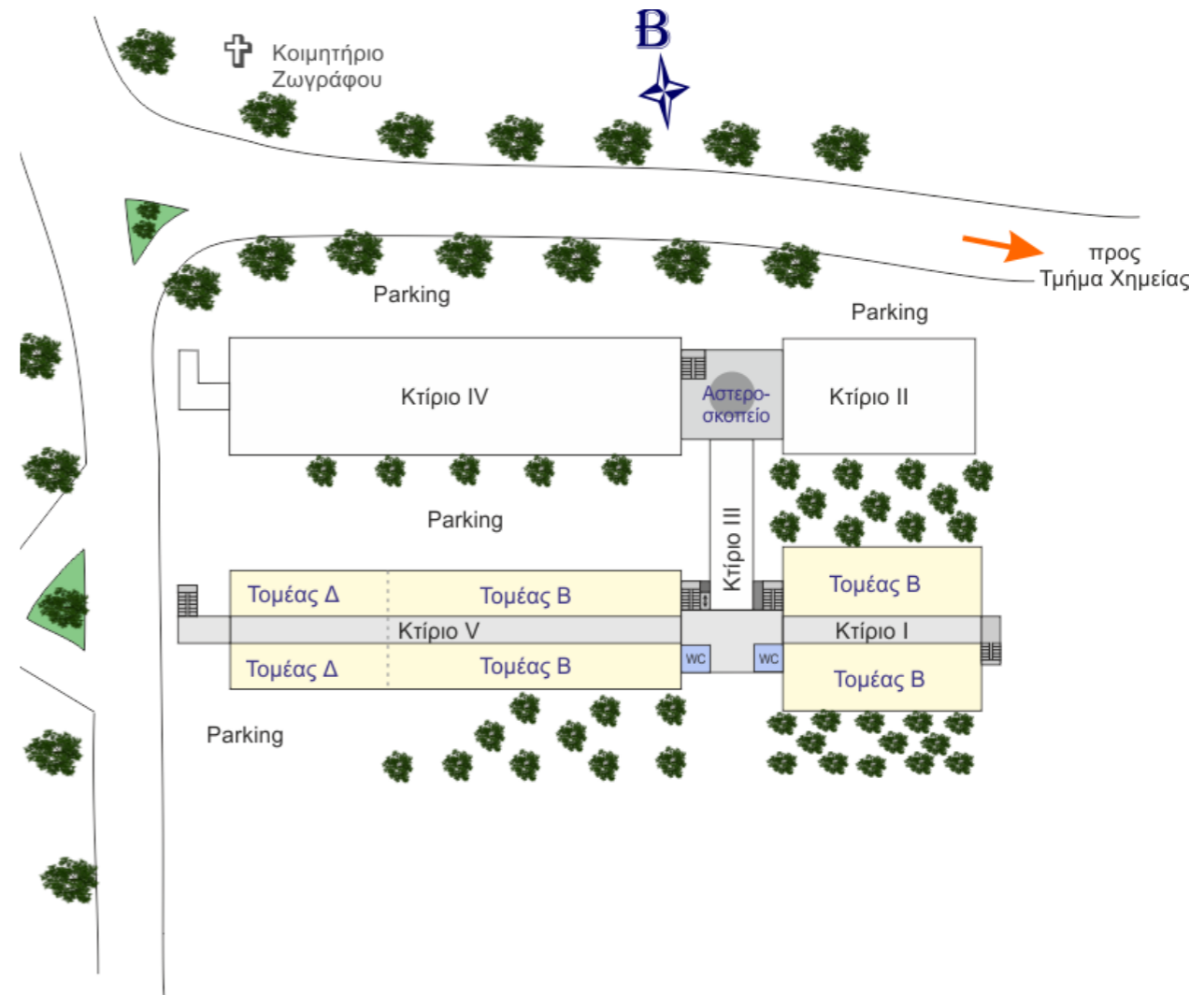
- Παρασκευή Γανωτή (ΕΔΙΠ)
- Μαρία Γεροντίδου (ΕΔΙΠ)
- Θανάσης Καπόγιαννης (ΕΔΙΠ)
- Φανή Μουρούτη (Γραμματέας Τομέα Β')
- Δημήτρης Παππάς (Τεχνικός ΕΠΦ)
- Λουκάς Πετροκόκκινος (ΕΤΕΠ)
- Γιάννης Τσοχαντζής (ΕΔΙΠ)

# Χώροι

## Επίπεδο 0



## Επίπεδο 4



# Εγκαταστάσεις

<http://nuclpart.phys.uoa.gr/egkatastaseis.html>

- Εργαστήριο Πυρηνικής Φυσικής  
(Διευθυντής: Σ. Στυλιάρης)



- Αναγνωστήριο - Βιβλιοθήκη Τομέα Β'  
(Υπεύθυνοι: Θ. Μερτζιμέκης, Γ. Τσοχαντζής)



- Σταθμός Κοσμικής Ακτινοβολίας  
(Διευθύντρια: Ομότιμη Καθ. Ελένη Μαυρομιχαλάκη)



**Μαθήματα Συναφή με την Κατεύθυνση  
Πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματίων**  
<http://www.phys.uoa.gr/propt-spydes/odhgos-proptyxiakon-spydon-2021-22.html>

# Υποχρεωτικά Μαθήματα Κορμού

- **Εισαγωγή: Φυσική I, II, III, IV** (εξάμηνα Α', Β', Γ', Δ')
- Εισαγωγή: Εργαστήρια Φυσικής I, II, III, IV (εξάμηνα Α', Β', Γ', Δ')
- Μαθηματική Παιδεία:
  - **Βασικές Μαθηματικές Μέθοδοι \*** (εξάμηνο Α')
  - **Ανάλυση I και II \*** (εξάμηνα Α' και Β')
  - **Μαθηματικές Μέθοδοι Φυσικής I και II \*** (εξάμηνα Γ' και Δ')
  - Θεωρία Πιθανοτήτων (εξάμηνο Α')
  - Συνήθειες Διαφορικές Εξισώσεις (εξάμηνο Β')
- Υπολογιστές (εξάμηνο Β')
- Υπολογιστική Φυσική (εξάμηνο Γ')
- Βασική Φυσική:
  - Μηχανική I (εξάμηνο Γ')
  - Ηλεκτρομαγνητισμός I (εξάμηνο Ε')
  - Κβαντομηχανική I (εξάμηνο Ε')
  - Στατιστική Φυσική I (εξάμηνο Ε')
  - Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας (εξάμηνο Ε')

\* προαπαιτούμενα για την επιλογή της κατεύθυνσης  
(πρέπει να έχουν περαστεί στο τέλος του 6ου έτους)

# Μαθήματα Επιλογής Κορμού

- Μηχανική ΙΙ (εξάμηνο Δ')
- **Ηλεκτρομαγνητισμός ΙΙ \*** (εξάμηνο ΣΤ')
- **Κβαντομηχανική ΙΙ \*** (εξάμηνο ΣΤ')
- Στατιστική Φυσική ΙΙ (εξάμηνο VI)
- Δυναμική Ρευστών (εξάμηνο Δ')

Τουλάχιστον 3 υποχρεωτικά

\* Προαπαιτούμενα για την Κατεύθυνση

## Μαθήματα & Εργαστήρια Εισαγωγής Κατεύθυνσης

- Εισαγωγή στην Αστροφυσική (εξάμηνο Δ')
  - ⇒ 5 υποχρεωτικά χωρίς πτυχιακή
  - ⇒ 3 υποχρεωτικά + πτυχιακή
- Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική Φυσική (εξάμηνο ΣΤ')
- Εισαγωγή στη Φυσική Ατμόσφαιρας (εξάμηνο Δ')
- **Εισαγωγή στη Πυρηνική Φυσική και τα Στοιχειώδη Σωματίδια \*** (εξάμηνο ΣΤ')
- Εισαγωγή στη Φυσική Στερεάς Κατάστασης (εξάμηνο ΣΤ')



# Υποχρεωτικά Μαθήματα Κατεύθυνσης

- πυρηνική Φυσική (εξάμηνο Z')
- Στοιχειώδη Σωματίια (εξάμηνο Z')
- Εργαστήριο πυρηνικής Φυσικής και Στοιχειωδών Σωματίων (εξάμηνο Z')

## Μαθήματα Επιλογής Κατεύθυνσης

- Αστροσωματιδιακή Φυσική και Κοσμική Ακτινοβολία (εξάμηνο Z')
  - Ιατρική Φυσική (εξάμηνο H')
  - Σύγχρονη Κβαντική Φυσική και Εφαρμοχές (εξάμηνο H')
  - Μαθηματική Φυσική \* (εξάμηνο Z')
  - Στοιχειώδη Σωματίια \* (εξάμηνο H')
  - πυρηνική Φυσική \* (εξάμηνο H')
  - Θεωρία Ομάδων και Εφαρμοχές \* (εξάμηνο H')
- \* προσφέρεται ως ελεύθερη επιλογή

\* Μεταπτυχιακό μάθημα που προσφέρεται και σε προπτυχιακούς φοιτητές

# Μαθήματα ειδικού βάρους για την επιλογή στο πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην ΠΦΣΣ

- Γενική Φυσική: Φυσική I, II, III, IV
- Μαθηματική Παιδεία: Ανάλυση I και II, ΜΜΦ I και II, Θεωρία Πιθανοτήτων, Συνήθειες Διαφορικές Εξισώσεις
- Κβαντομηχανική I και II
- Ηλεκτρομαγνητισμός I και II
- Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας
- Στατιστική Φυσική I
- Εισαγωγή στην πυρηνική Φυσική και τα στοιχειώδη Σωματίδια
- πυρηνική Φυσική
- Στοιχειώδη Σωματίδια

Καλώς ήρθατε στο Φυσικό  
και  
Καλή Ακαδημαϊκή Χρονιά!