# Αστροσωματιδιακή Φυσική στο ΙΠΣΦ

Χρήστος Μάρκου
Κατερίνα Τζαμαριουδάκη
Ευαγγελία Δρακοπούλου

06/06/2024

# Ανίχνευση Νετρίνο

## Η γέννηση ενός νέου και συναρπαστικού πεδίου έρευνας

Στο πρόσφατο παρελθόν:

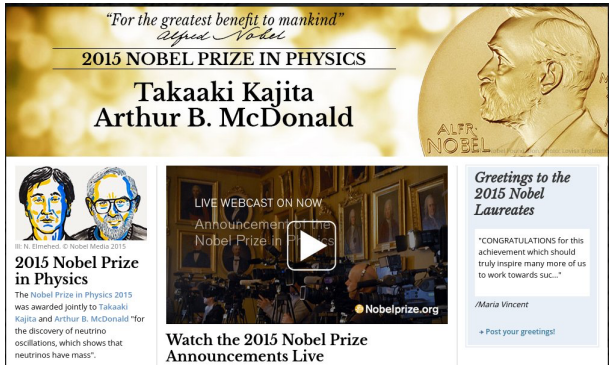
- Ανίχνευση νετρίνο από τον ήλιο
  → αποδεικνύοντας ότι η ενέργεια του Ήλιου παρέχεται από σύντηξη
- Ανίχνευση νετρίνο από supernova (1987)
  → 20 (Kamionade: 12) supernova νετρίνο – επιβεβαίωση της βασικής θεωρητικής εικόνας του θανάτου ενός άστρου

**Nobel Prize 2002**

Αρχικές πειραματικές μετρήσεις: αριθμός των νετρίνο που φτάνουν στη Γη από τον Ήλιο: ~1/3 του αναμενόμενου από τη θεωρία "solar neutrino puzzle"

**Ανιχνευτές Super-Kamiokande & SNO:** τα νετρίνο από τον Ήλιο δε χάνονται καθώς ταξιδεύουν προς τη Γη αλλά αλλάζουν ταυτότητα

**Nobel Prize 2015**




Η αλλαγή της ταυτότητας των νετρίνο μπορεί να γίνει μόνο αν τα νετρίνο έχουν μάζα

Το καθιερωμένο πρότυπο δεν αποτελεί πλήρη θεωρία των θεμελιωδών συστατικών του Σύμπαντος

# Ανίχνευση Νετρίνο

νετρίνο

- δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο
- έχουν αμελητέα μάζα
- πρακτικά δεν απορροφώνται
- προϊόντα πυρηνικών διεργασιών

❖ ανίχνευση νετρίνο: μια πρόκληση

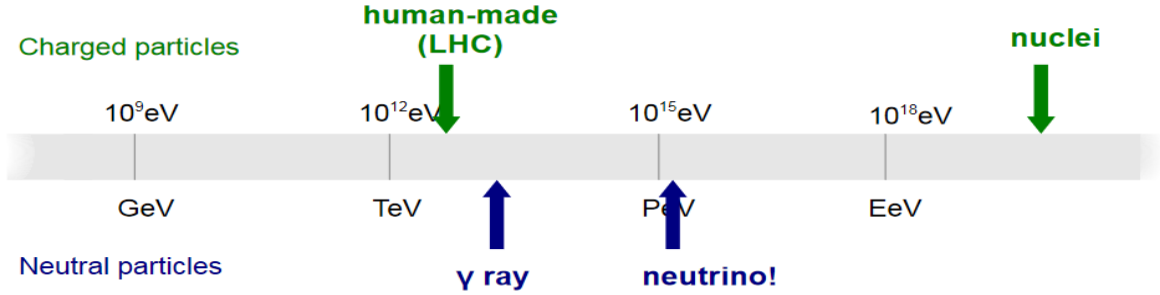
- Ανίχνευση 2000 νετρίνο από τον Ήλιο σε μια περίοδο 30 ετών!
- Ανίχνευση 12 νετρίνο από τα $10^{16}$ νετρίνο που πέρασαν μέσα από τον ανιχνευτή Kamiokande!

❖ Μια σύγχρονη μαζική εκπομπή νετρίνο παρατηρήθηκε 2-3 ώρες πριν την άφιξη του φωτός από το SN 1987A στη Γη.

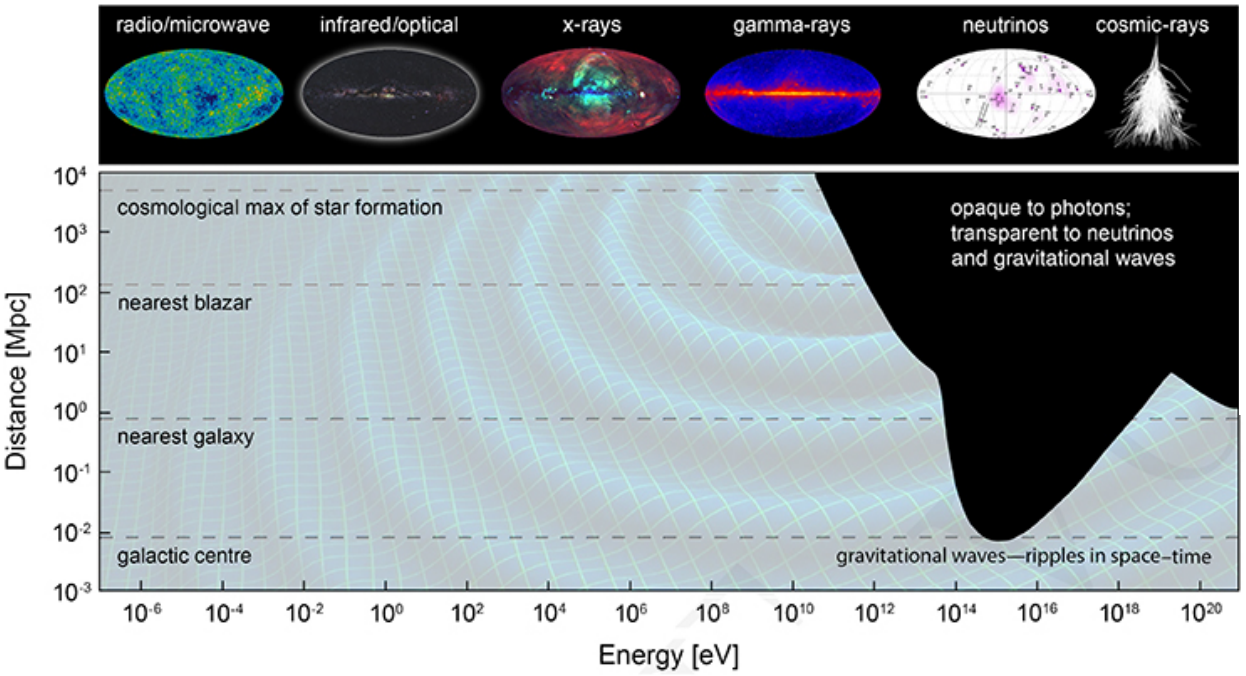
- Ανίχνευση νετρίνο από τον ήλιο ✓
- Ανίχνευση νετρίνο από supernova (1987) ✓
- **Ανίχνευση νετρίνο από γαλαξιακές και εξω-γαλαξιακές πηγές**

➢ νετρίνο ως φορέας πληροφορίας για τα φαινόμενα υψηλής ενέργειας στο Σύμπαν (neutrino: the twitter 𝕏 of the Universe)

➢ νετρίνο – δέσμη σωματιδίων από τον ουρανό για τη διερεύνηση βασικών ερωτημάτων της Σωματιδιακής Φυσικής



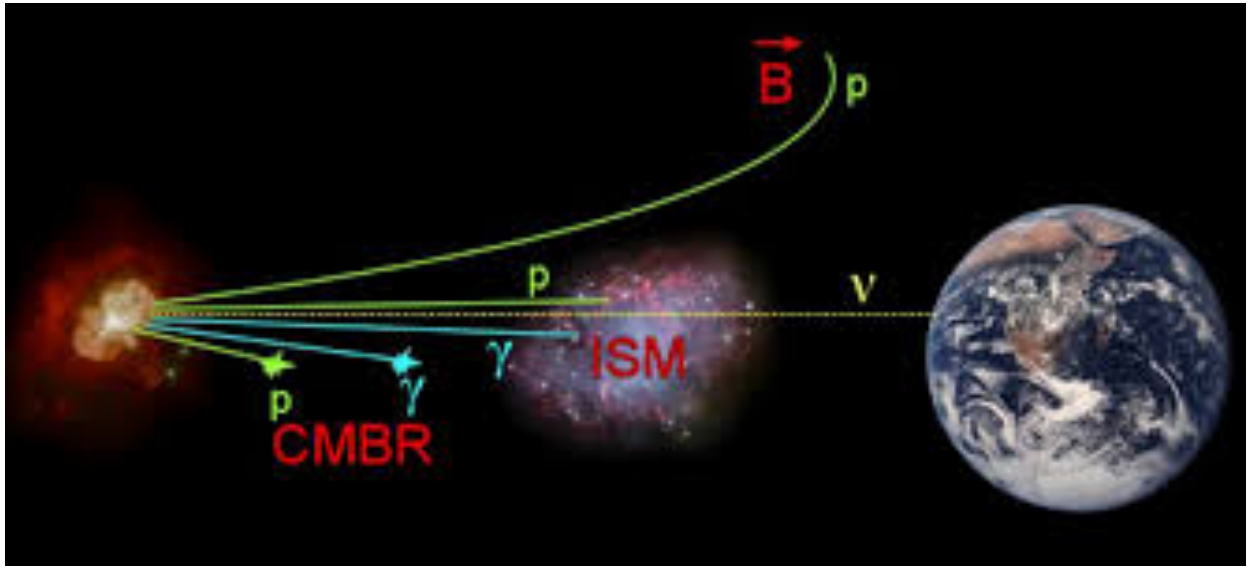
# Φαινόμενα υψηλής ενέργειας στο Σύμπαν: φορείς πληροφορίας




- φωτόνια
- κοσμικές ακτίνες
- νετρίνο
- βαρυτικά κύματα

ν → Αλληλεπιδρούν μέσω της ασθενούς αλληλεπίδρασης

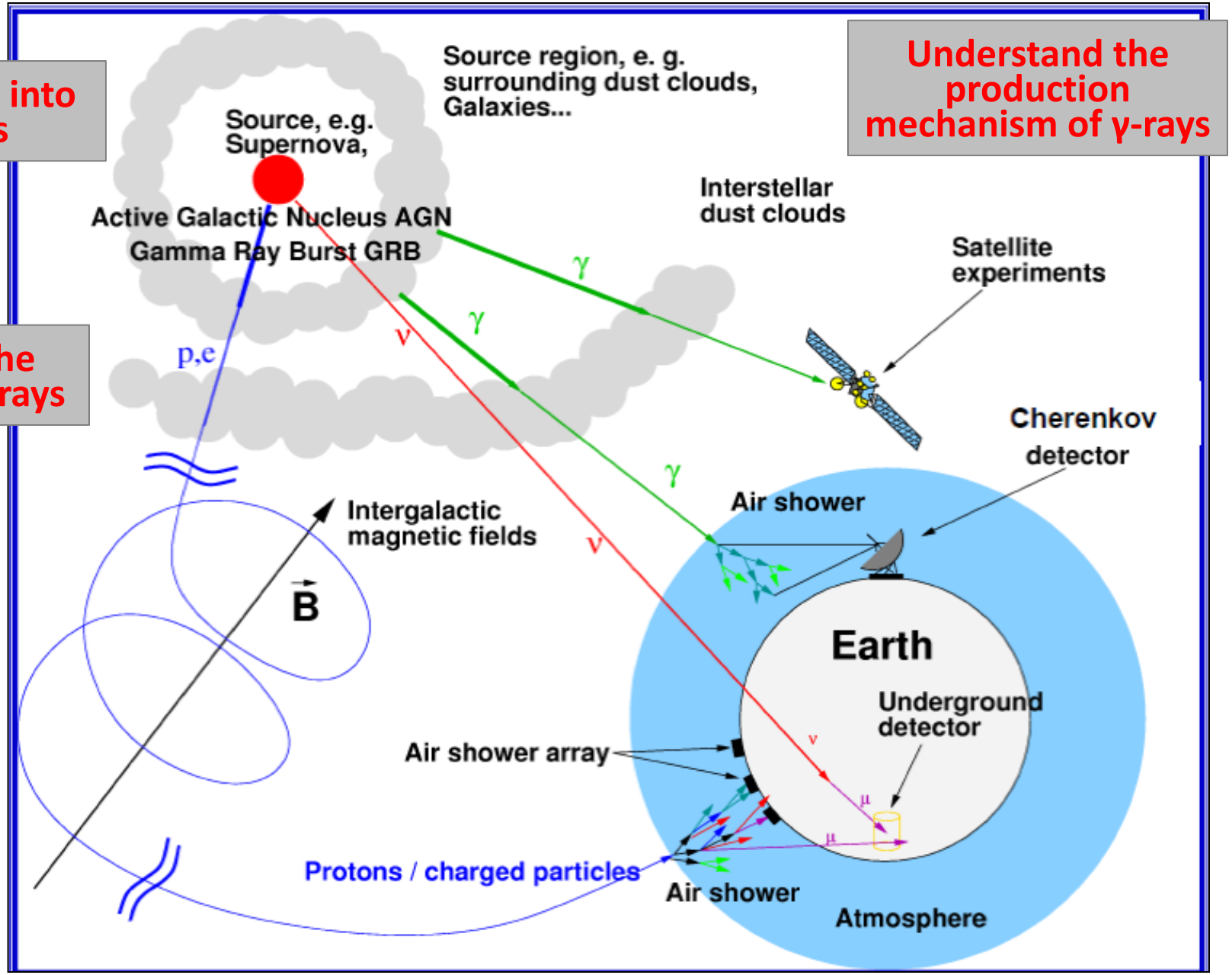
- Ταξιδεύουν σε ευθύγραμμες τροχιές!
- Πρακτικά, δεν απορροφώνται από την μεσοαστρική ύλη!
- Μπορούν να αποκαλύψουν πληροφορίες σχετικά με τις διεργασίες στις αστροφυσικές πηγές που δεν είναι «προσβάσιμες» μέσω φωτονίων ή κοσμικών ακτίνων



# Αστρονομία Νετρίνων: το όνειρο!

see deeper into sources

learn what is the origin of cosmic rays




Understand the production mechanism of γ-rays

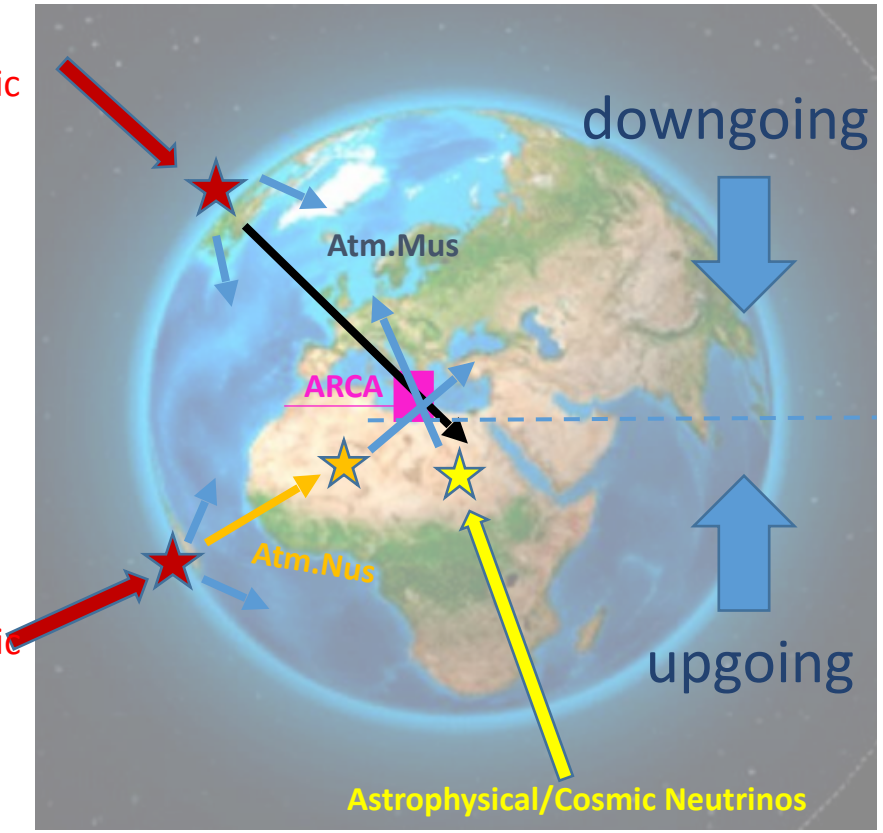
Multi-messenger astronomy

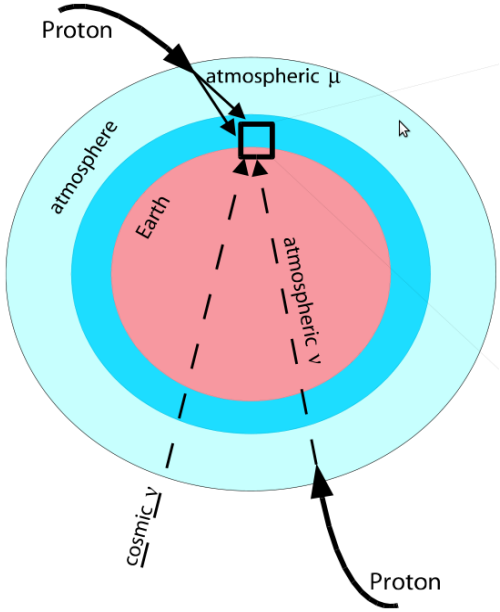
# Αστρονομία Νετρίνων: η πραγματικότητα !

~50.000.000 atm.μ / year

Πρόκληση!

~300.000 atm.ν / year



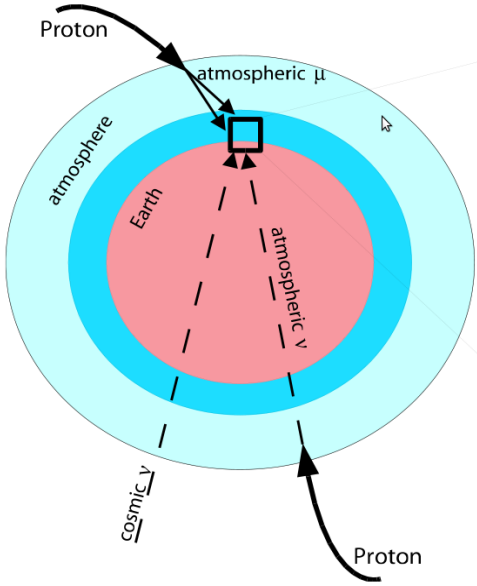

- <u>Σήμα</u>: νετρίνο αστροφυσικής προέλευσης
- <u>Υπόβαθρο</u>: νετρίνο και μιόνια που παράγονται στην ατμόσφαιρα.

- Numbers refer to ARCA with 2 building blocks of 115 DUs each
- Applied astrophysical flux: $1.2 \cdot 10^{-4}\left(\frac{E^{-2}}{GeV}\right)e^{\left(-\frac{E}{3\ PeV}\right)}\ GeV^{-1}m^{-2}s^{-1}sr^{-1}$

~600 ν of astrophysical origin / year

# Αστρονομία Νετρίνων

- Σήμα: νετρίνο αστροφυσικής προέλευσης
- Υπόβαθρο: νετρίνο που παράγονται στην ατμόσφαιρα.
  μιόνια που παράγονται στην ατμόσφαιρα.



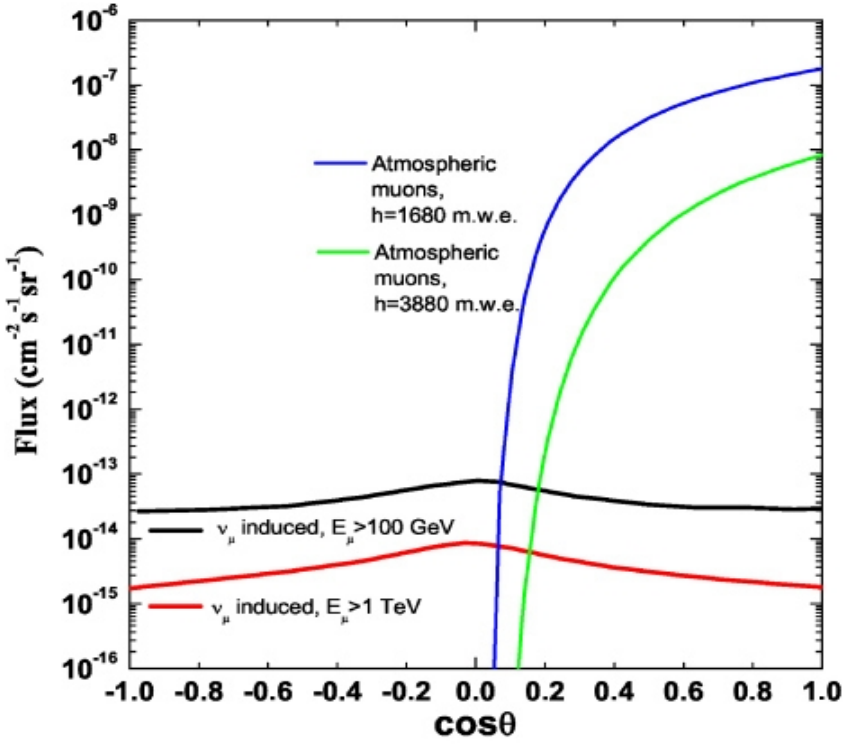
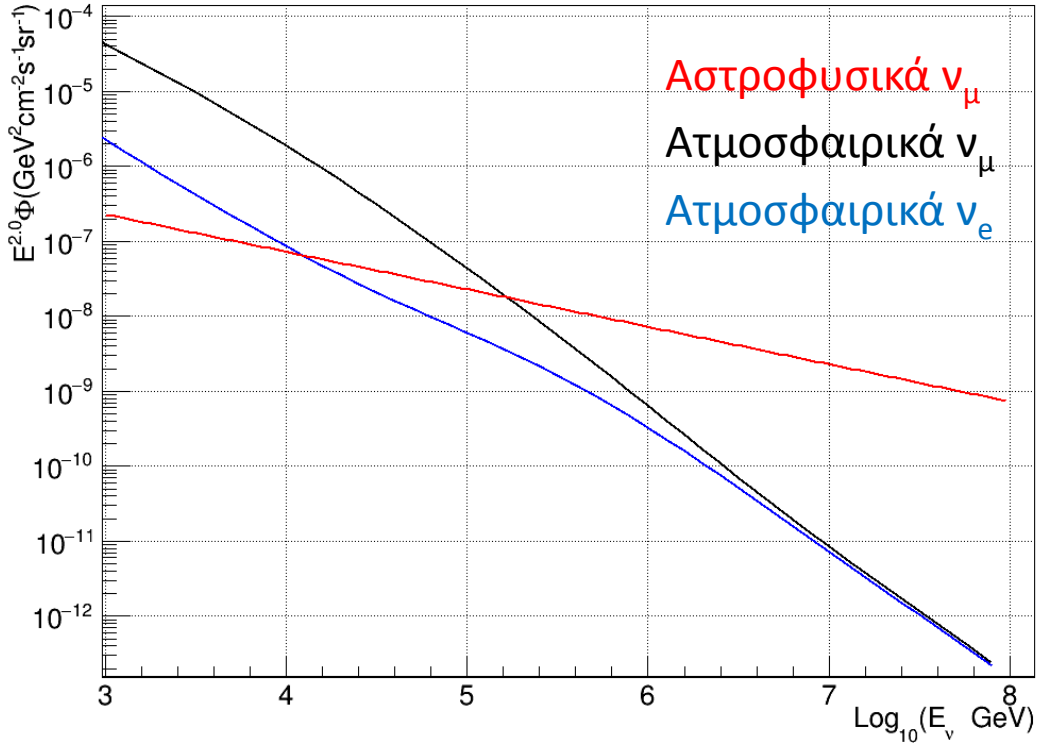
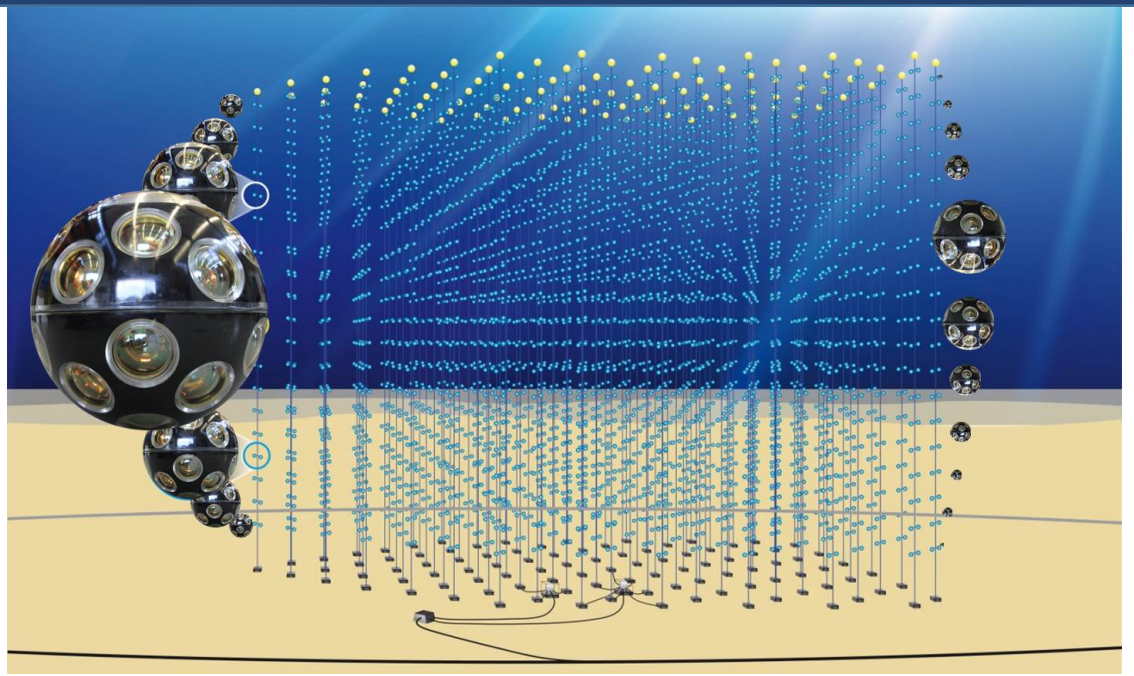
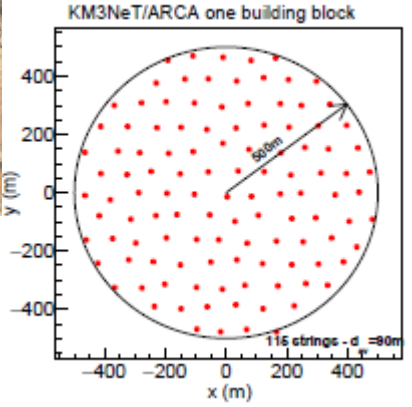




Figure 12 from High-energy neutrino astronomy: detection methods and first achievements B Baret and V Van Elewyck 2011 Rep. Prog. Phys. 74 046902



# KM3NeT: Ανιχνευτές νετρίνο νέας γενιάς στη Μεσόγειο




## ORCA

Ανιχνευτής νετρίνο:

Σωματιδιακή φυσική

Ταλαντώσεις νετρίνο

Ιεραρχία μαζών

18/115 ποντισμένες συστοιχίες

2x

## ARCA

Τηλεσκόπιο νετρίνο:

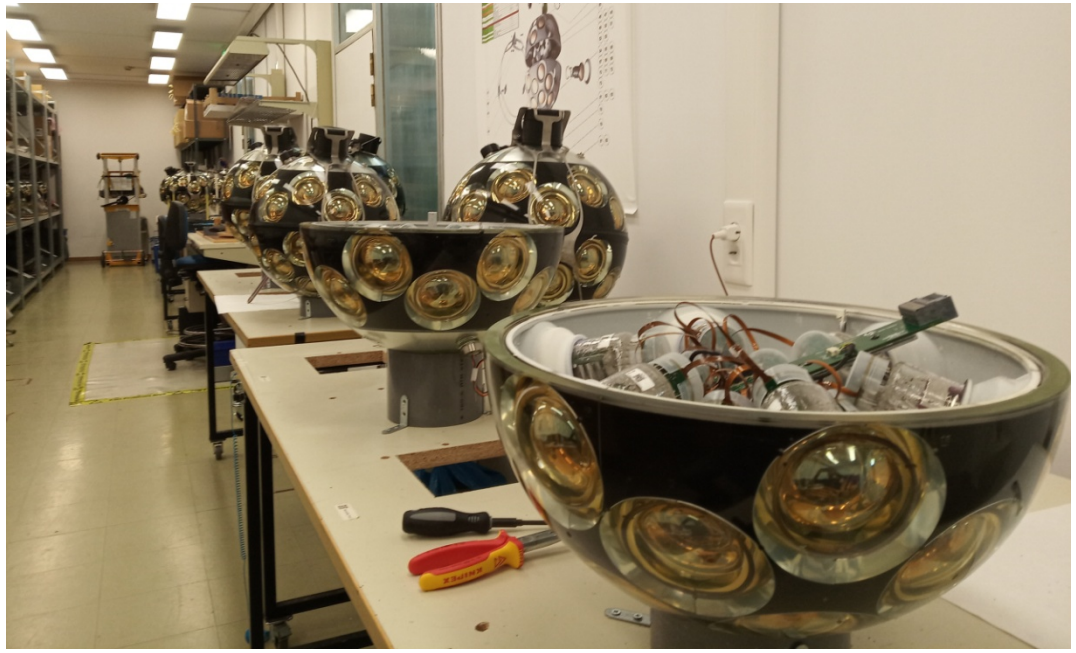
Ανίχνευση νετρίνο αστροφυσικής προέλευσης

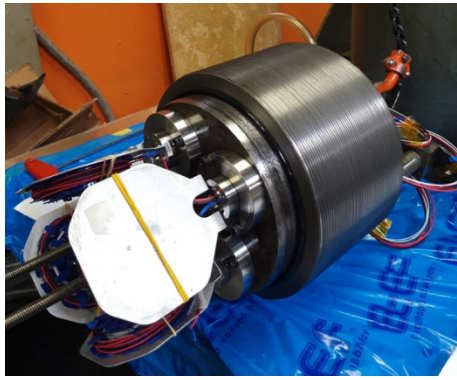
28/115 ποντισμένες συστοιχίες

# APP group: People, Technical Activities, Physics Analyses

**APP group:** 3 ερευνητές, τεχνικό προσωπικό, 1 φυσικός, 1 PostDoc, 2 Ph.D. Students, 2 MSc students

Undergraduate students - interns





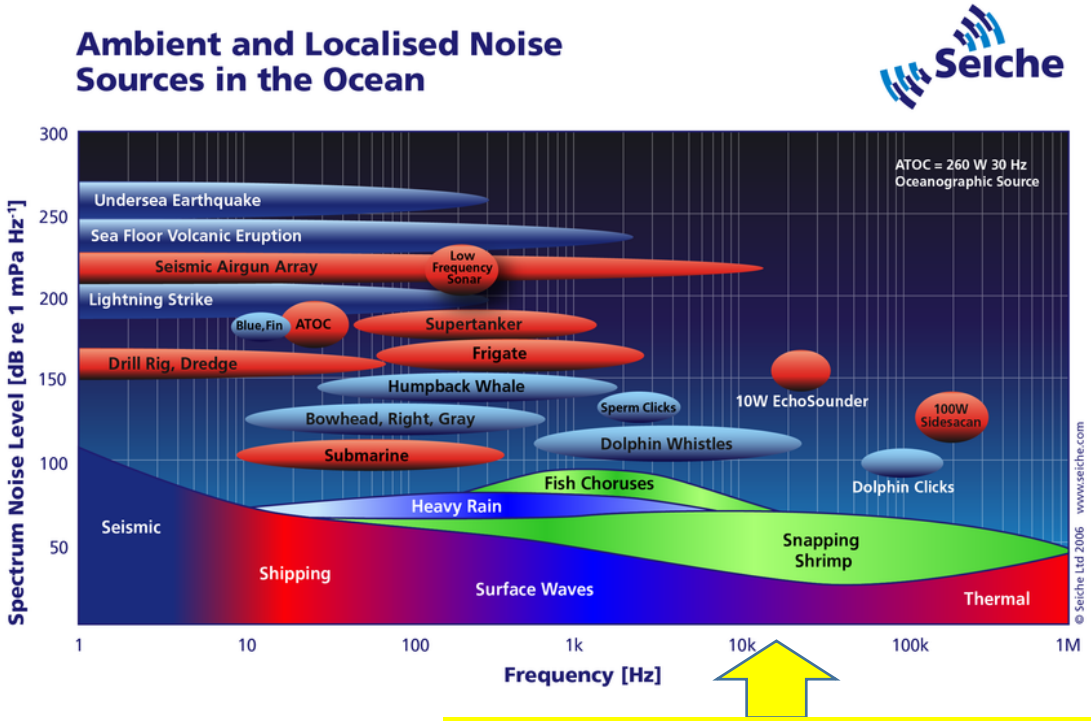
- Κατασκευή και έλεγχος οπτικών στοιχείων του πειράματος KM3NeT
- Συμμετοχή στη βαθμονόμηση και τον έλεγχο συνιστωσών των DOMs
- Έλεγχος της αντοχής των συνιστωσών των DOMs στην πίεση της βαθιάς θάλασσας

Hardware Opportunities

# Ακουστική Ανίχνευση Νετρίνων

# Ακουστική ανίχνευση νετρίνο

➢ Ίσως ο πλέον υποσχόμενος τρόπος ανίχνευσης νετρίνο εξαιρετικά υψηλών ενεργειών (UHE) : κόστος – δυνατότητες



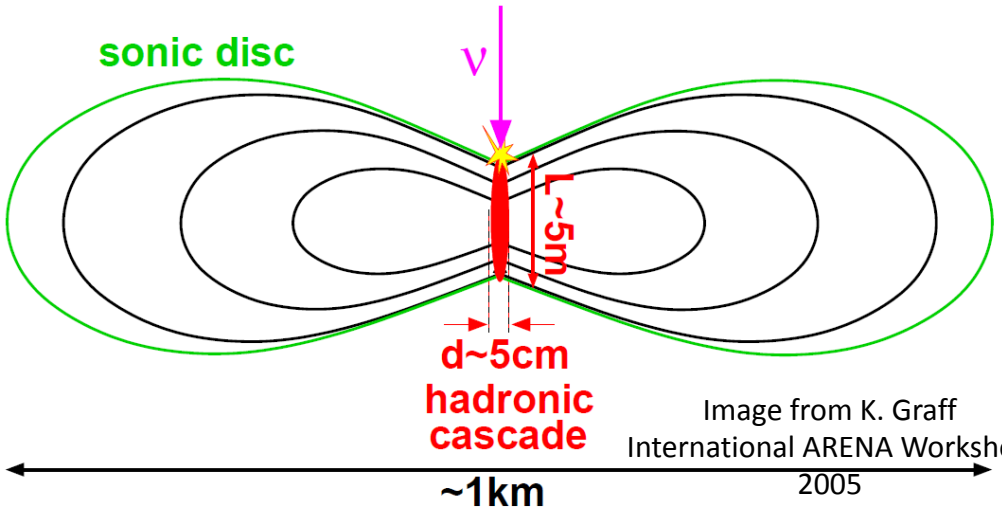
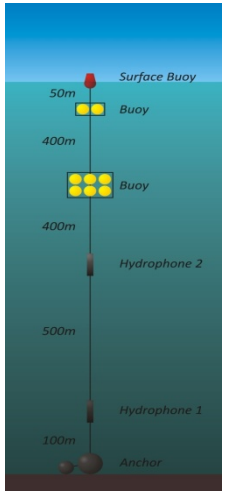
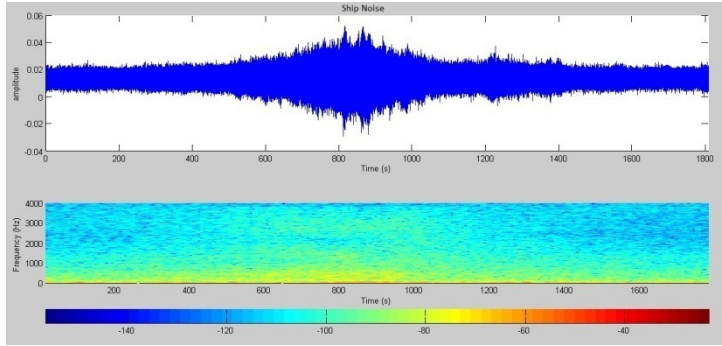




Image from K. Graff
International ARENA Workshop
2005

αναμενόμενο σήμα από αλληλεπιδράσεις νετρίνο



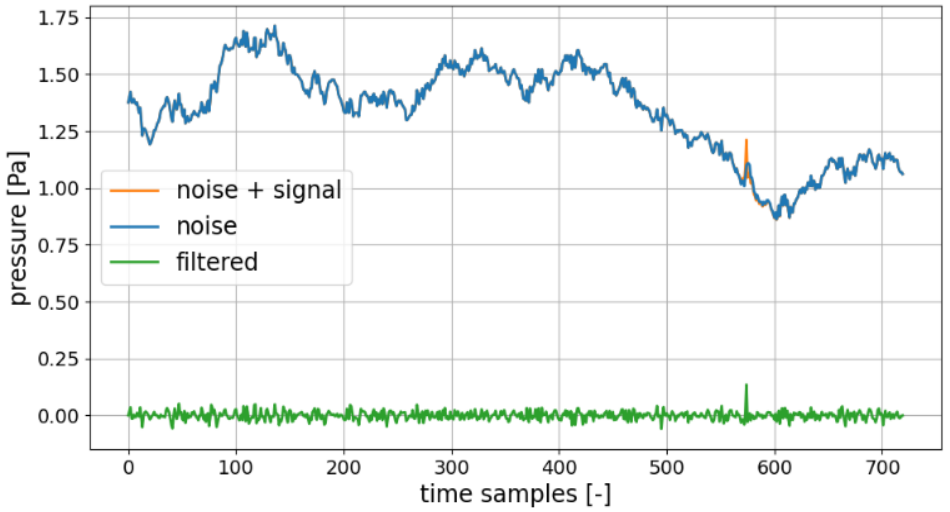

## Ανάλυση ακουστικού σήματος και κατηγοριοποίηση:

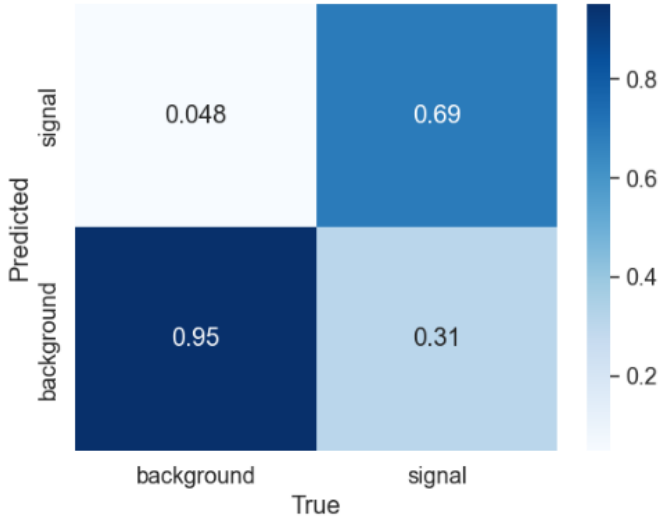
- Αναμενόμενο σήμα από αλληλεπίδραση νετρίνο
- Δεδομένα από την καταγραφή των υδροφώνων (Καλαμάτα 2018) και των ακουστικών αισθητήρων του KM3NeT για την προσομοίωση του υποβάθρου.

# Ακουστική Ανίχνευση παλμών νετρίνων

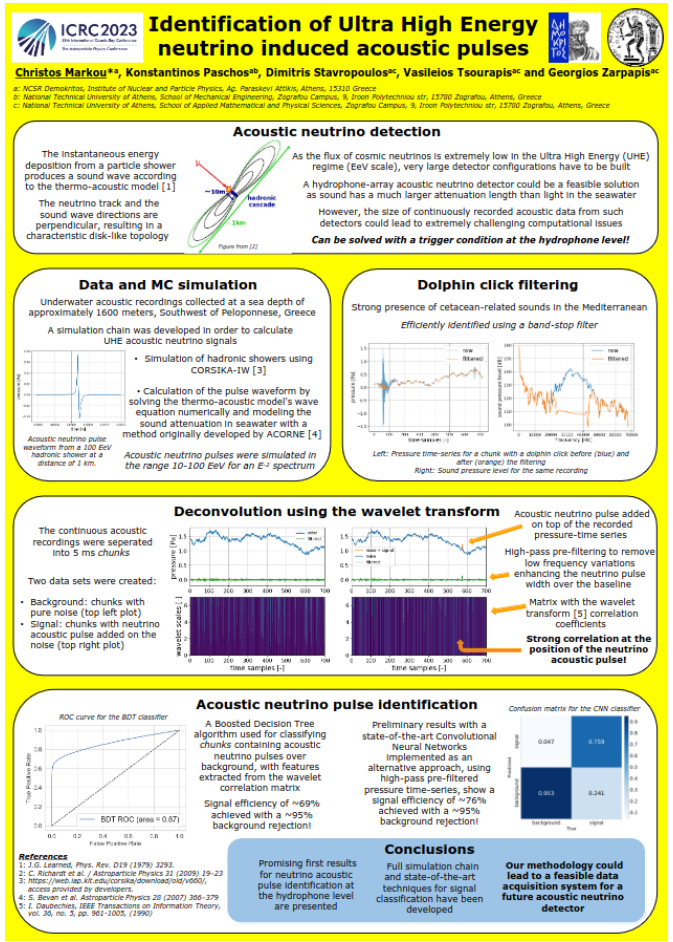
**Motivation**: *Διερεύνηση της ικανότητας αναγνώρισης ακουστικών παλμών νετρίνων UHE υποθαλάσσια.*

*Results on the employment of a hydrophone-level trigger were presented at the **38th International Cosmic Ray Conference (ICRC2023)***



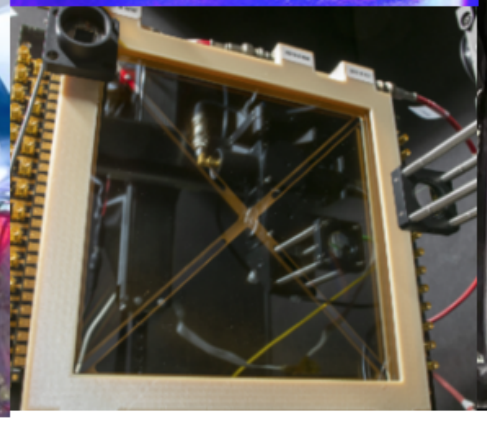



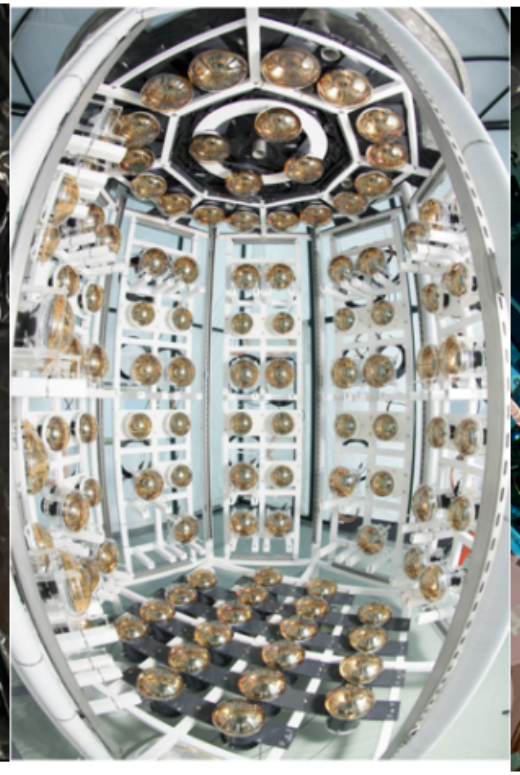

- *Προσομοίωση ακουστικών παλμών από UHE νετρίνο*
- *Προσθήκη παλμών στα πραγματικά δεδομένα θορύβου*
- *Εύρεση σήματος χρησιμοποιώντας ανάλυση συχνοτήτων και τεχνικές Μηχανικής και Βαθιάς Μάθησης*



# ANNIE

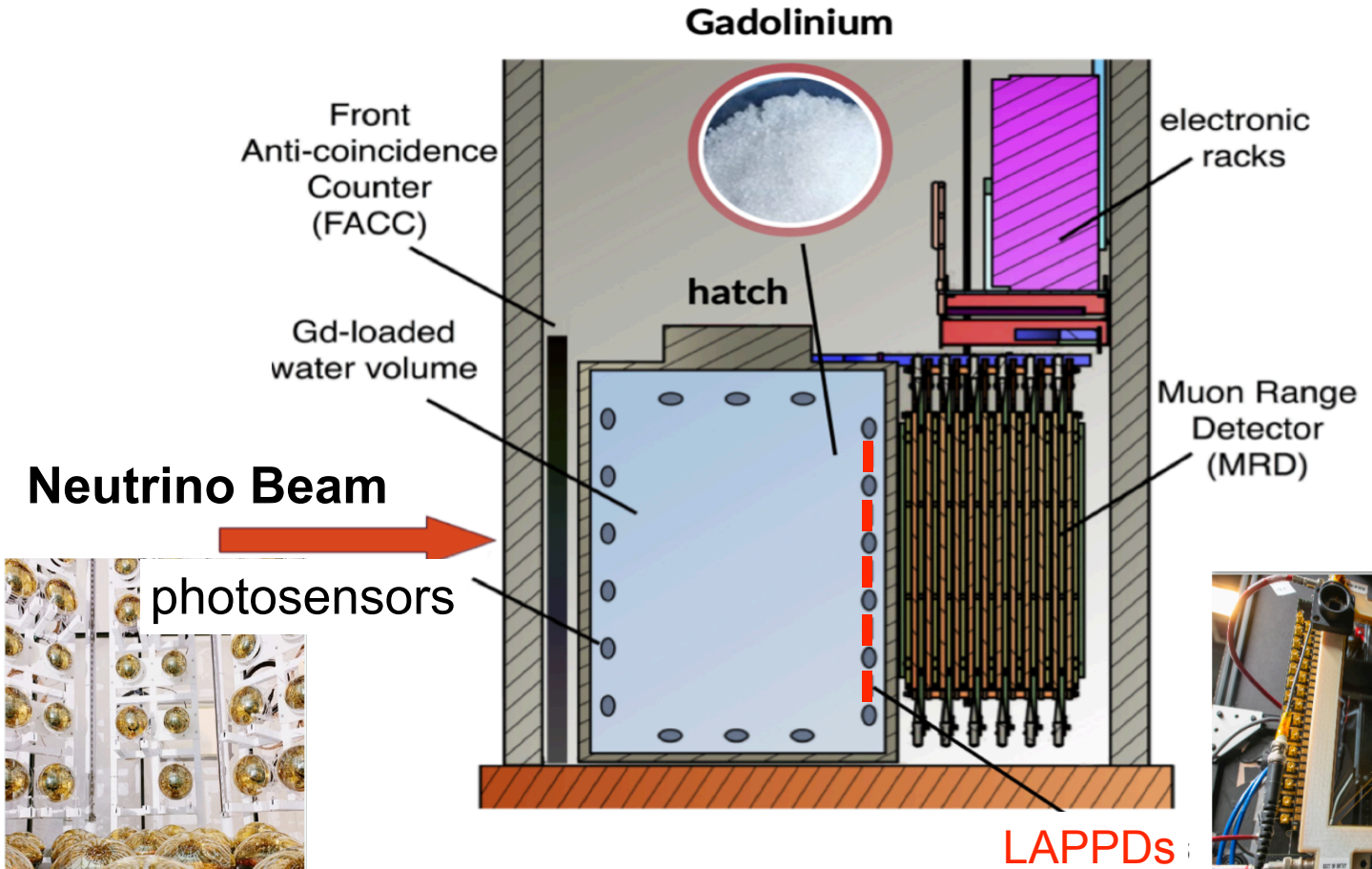


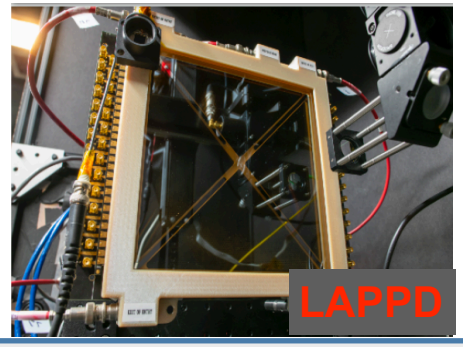



# Το πείραμα ANNIE

- **A**ccelerator **N**eutrino **N**eutron **I**nteraction **E**xperiment (**ANNIE**): ένας Gd-doped water Cherenkov ανιχνευτής 26 τόνων στη δέσμη νετρίνων του Fermilab (E~600 MeV).
- Συμμετέχουμε στο ANNIE από το 2021.



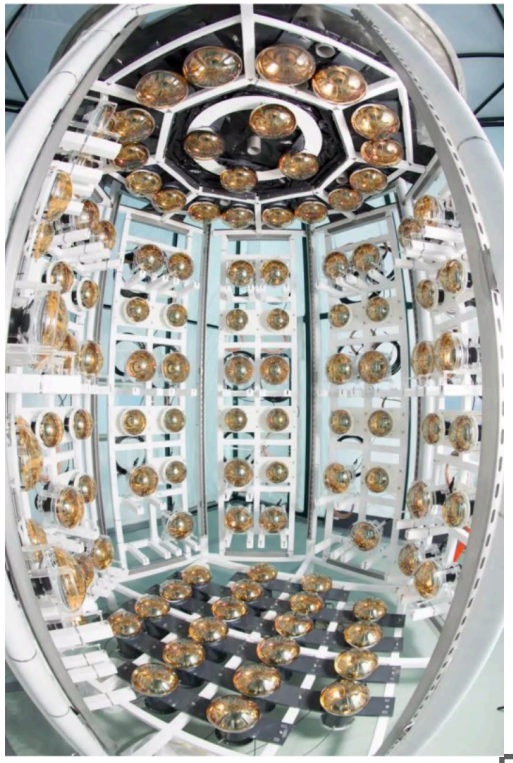




**<u>Ανιχνευτικό Μέσο</u>: Τώρα**: Gadolinium-loaded water,**2022**: Water-based Liquid Scintillator.

- Το ANNIE είναι το πρώτο πείραμα που χρησιμοποιεί φωτοανιχνευτές ταχείας απόκρισης (~60 psec time resolution) **Large Area Picosecond PhotoDetectors** (**LAPPDs**) για ανακατασκευή γεγονότων νετρίνων.

Το ANNIE βλέπει τα πρώτα νετρίνο με τους καινοτόμους ανιχνευτές φωτός LAPPDs.

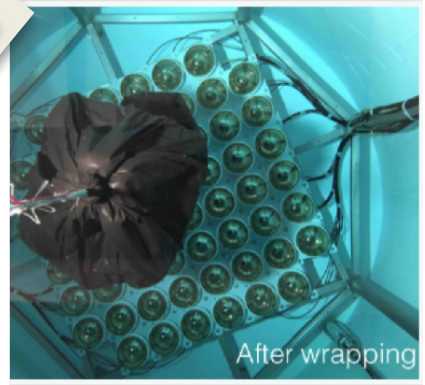
# ANNIE taking data & testing new technologies!



2016 — 2018 — 2024

**Past:**
**ANNIE – Phase I**

Completed



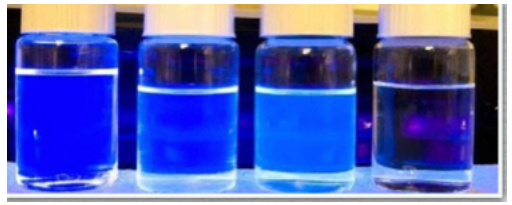

- Μέτρηση του υποβάθρου του ανιχνευτή
- Επιτυχής λειτουργία του ανιχνευτή

**Present:**
**ANNIE – Phase II**

NOW

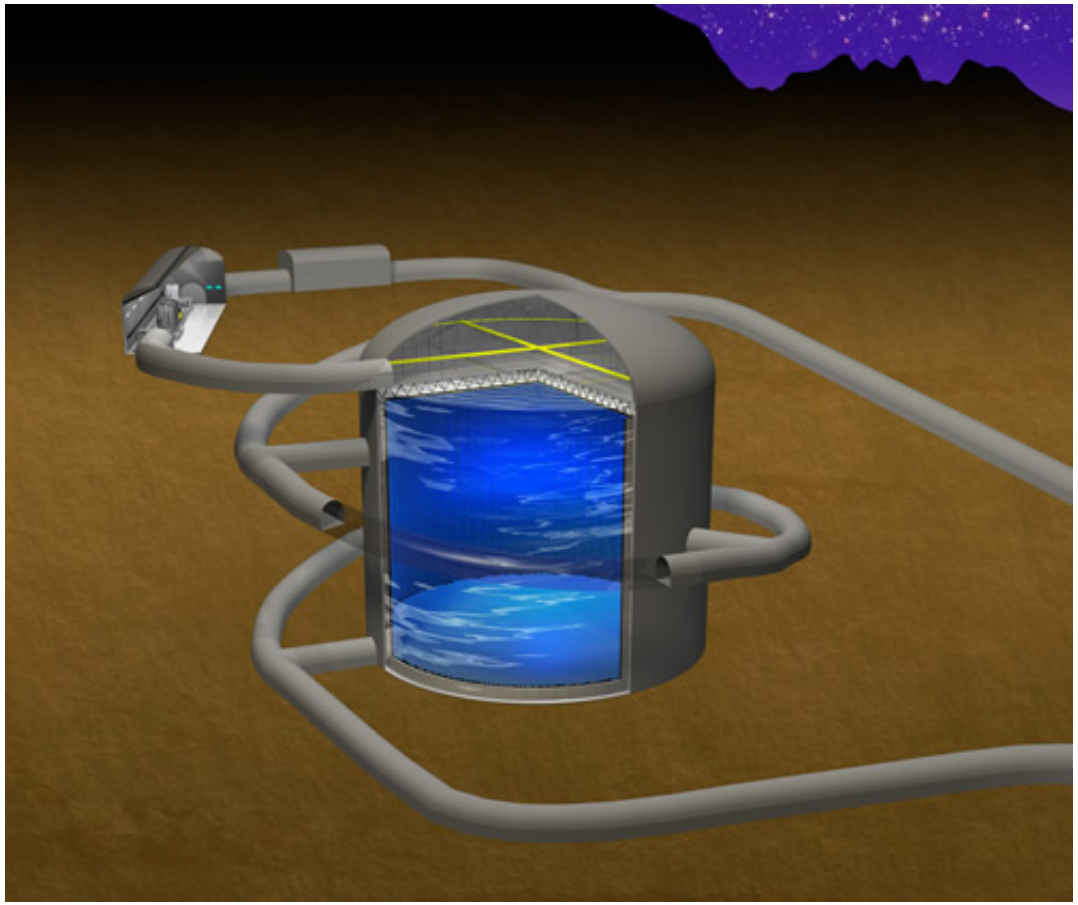
- Μέτρηση της πολλαπλότητας νετρονίων από CCQE γεγονότα
- Πρώτη πόντιση και λειτουργία των LAPPDs

**Future:**
**ANNIE – Phase III**



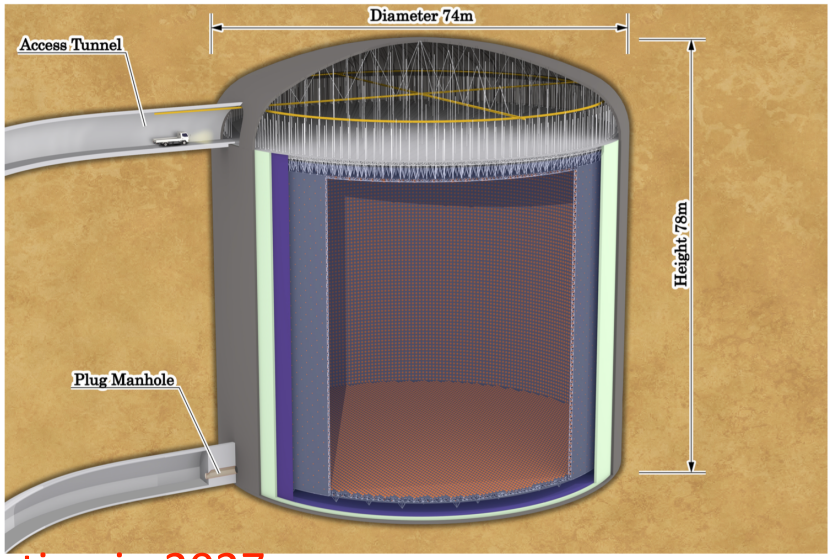
- Περισσότερα LAPPDs: βελτιωμένη ανακατασκευή
- Water-based Liquid Scintillator (WbLS)

# Hyper-Kamiokande (Hyper-K)



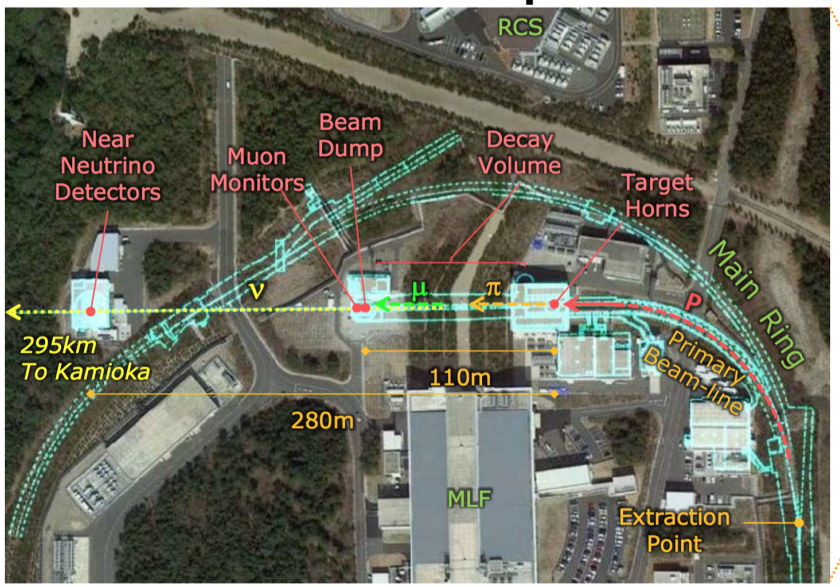
# Hyper-Kamiokande (Hyper-K)


**Hyper Kamiokande (Hyper-K) detector**




start operation in 2027

**Upgrade of J-PARC neutrino beam to 1.3 MW beam power**





J-PARC, Tokai

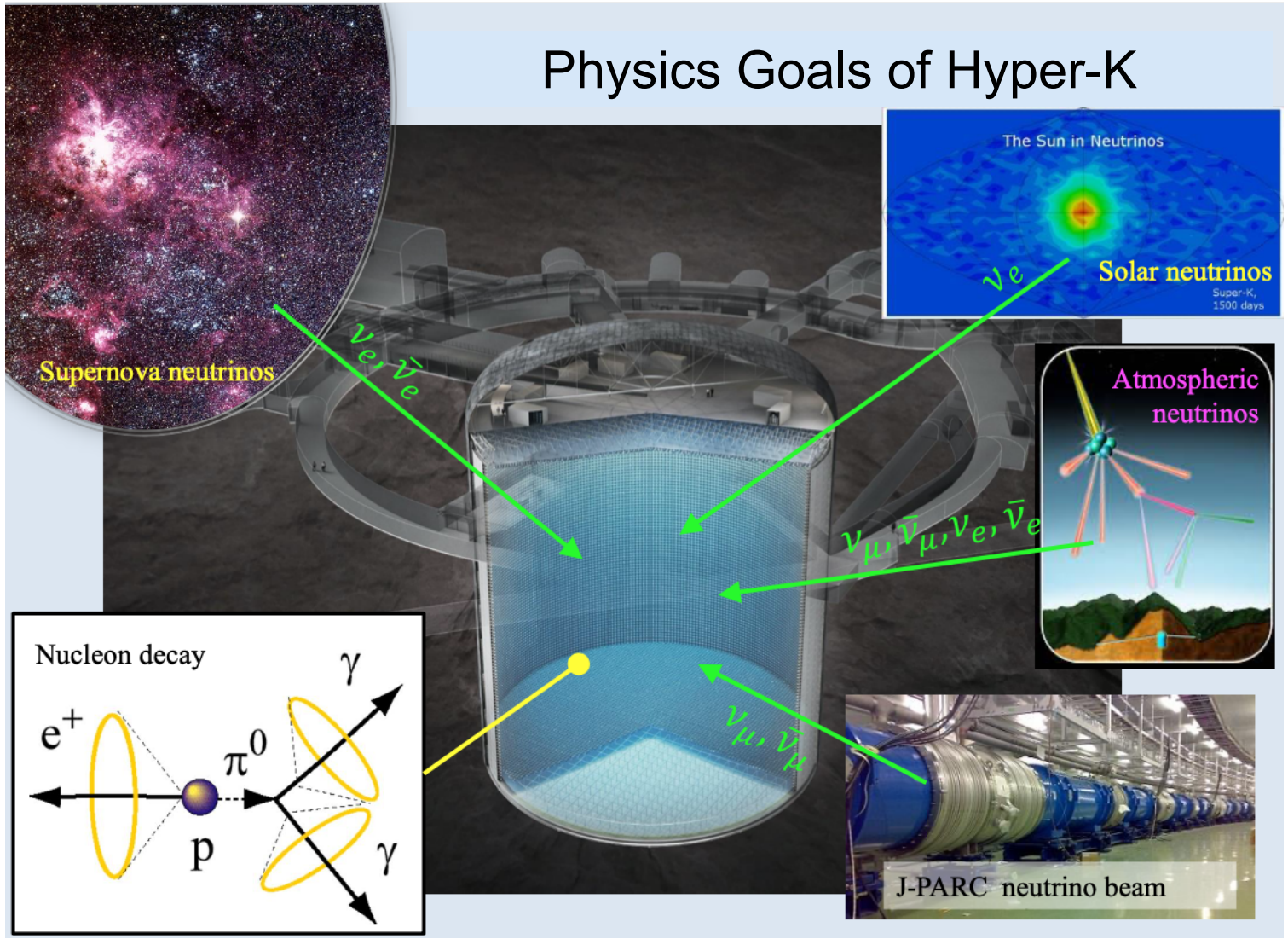
# Physics goals for Hyper-K

## Physics beyond the SM:

- Search for CP violation in the lepton sector
- Determination of neutrino mass hierarchy with beam and atmospheric ν
- $\theta_{23}$ octant determination
- Search for nucleon decay

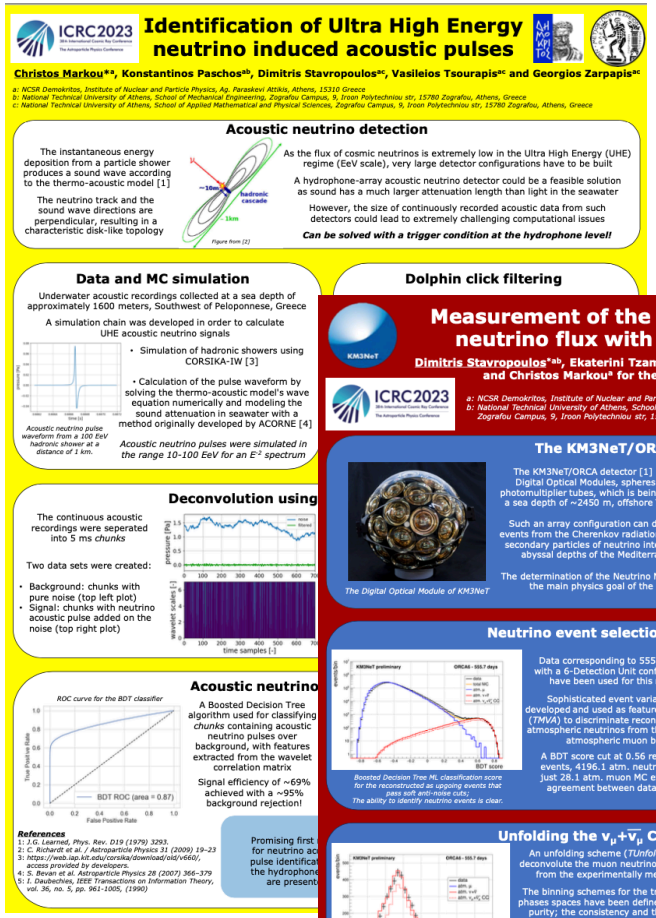
## Neutrino astrophysics:

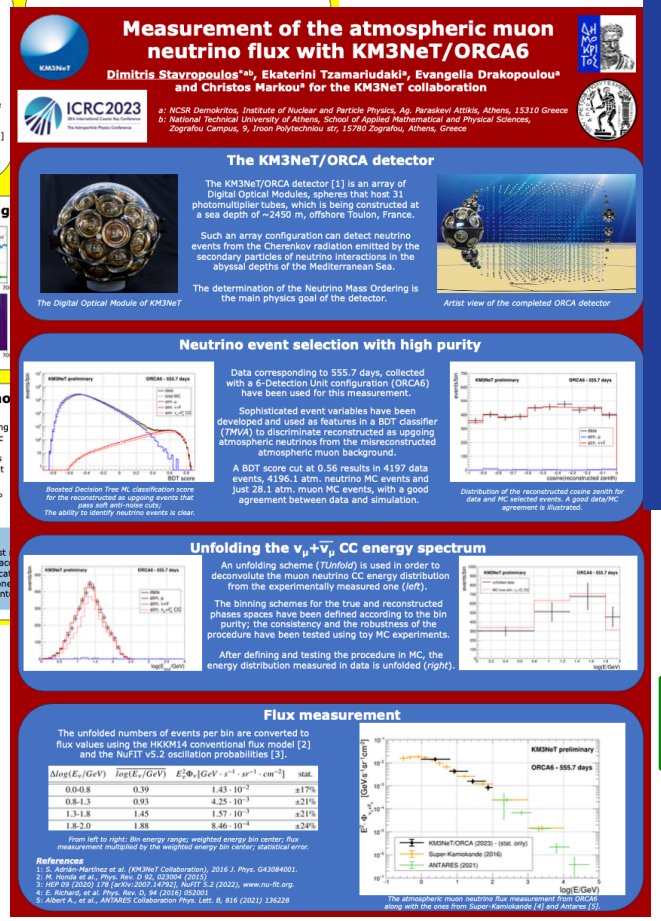
- Precision measurements with solar ν
- High statistics measurements with ν from supernova bursts
- Supernova relic ν detection

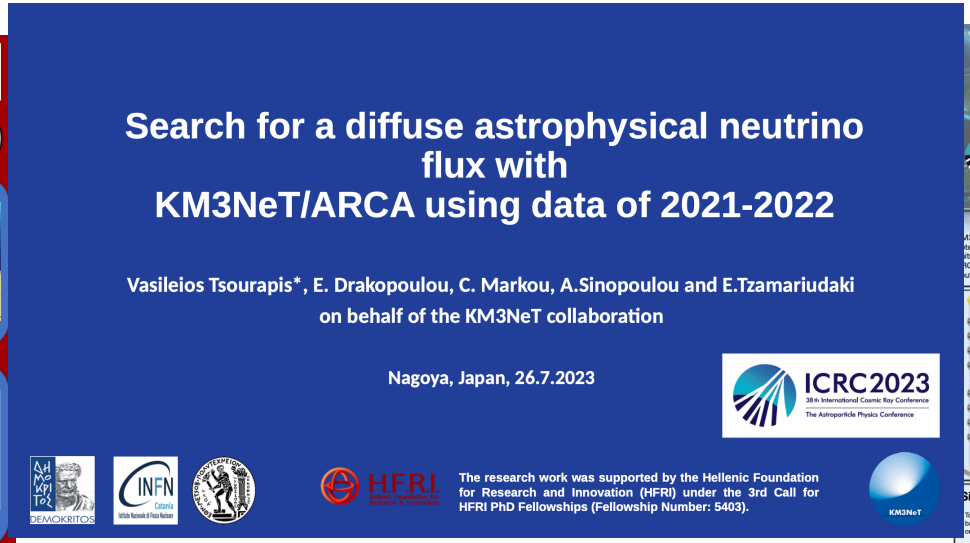


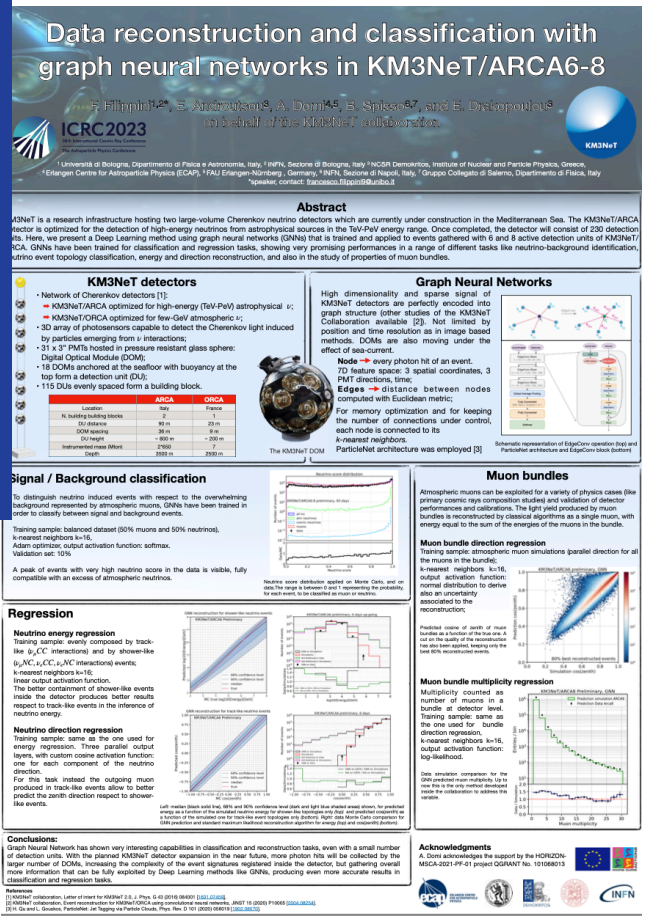
# APP group: Recent Contributions to Conferences

*1 talk and 3 posters at ICRC2023!*
*3 contributions accepted for NEUTRINO2024!*
*& talks and posters in other conferences.*




*2 scientific papers under preparation!!*

# APP group: Topics of interest

**Neutrino experiments are expecting lots of new data!!**

- **ARCA & ORCA data**: atmospheric neutrino candidates (atmospheric muon background suppression)
  - ARCA: Ανίχνευση νετρίνων αστροφυσικής προέλευσης με τον ανιχνευτή ARCA28
  - ARCA & ORCA: Μέτρηση της ροής ατμοσφαιρικών νετρίνων και σύγκριση με τα υπάρχοντα μοντέλα
  - Ανάπτυξη μοντέλων βαθιάς μάθησης για την ανακατασκευή γεγονότων και τον διαχωρισμό σήματος υποβάθρου
- **Simulation studies**: Μελέτες ατμοσφαιρικών μιονίων και σύγκριση MC προσομοιώσεων με data
- **Acoustic Neutrino Detection:** Ανάπτυξη μεθόδων για την αναγνώριση, το χαρακτηρισμό και την κατηγοριοποίηση ηχητικών σημάτων χρησιμοποιώντας τεχνικές μηχανικής μάθησης
- **ANNIE:** Ανάπτυξη μεθόδων βαθιάς μάθησης για την ανακατασκευή γεγονότων και ανάλυση data
- **Hyper-K:** πιθανά θέματα υπό συζήτηση

Πληροφορίες στο: http://www.inp.demokritos.gr/education/

# The APP Group


- Χρήστος Μάρκου (cmarkou@inp.demokritos.gr)
- Αικατερίνη Τζαμαριουδάκη (katerina@inp.demokritos.gr)
- Ευαγγελία Δρακοπούλου (drakopoulou@inp.demokritos.gr)




**AstroParticle Physics Group at INPP**
**National Centre for Scientific Research "Demokritos"**

| | |
|---|---|
| Appinpp | https://www.facebook.com/appINPP/ |
| AppInpp | AstroParticle Physics Group at INPP |
| appinpp.group@gmail.com | |