Αστροσωματιδιακή Φυσική στο ΙΠΣΦ

Χρήστος Μάρκου
Κατερίνα Τζαμαριουδάκη
Ευαγγελία Δρακοπούλου

05/05/2023

Ανίχνευση Νετρίνο

Η γέννηση ενός νέου και συναρπαστικού πεδίου έρευνας

Στο πρόσφατο παρελθόν:

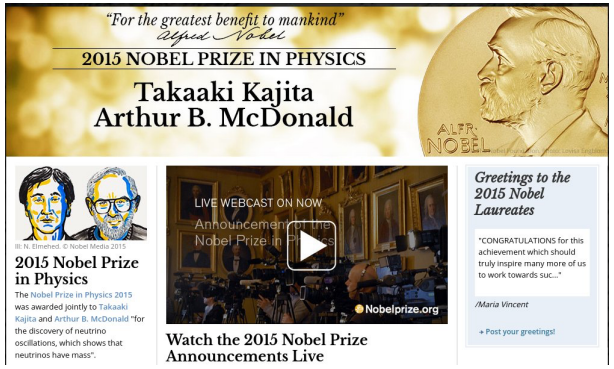
- Ανίχνευση νετρίνο από τον ήλιο
  → αποδεικνύοντας ότι η ενέργεια του Ήλιου παρέχεται από σύντηξη
- Ανίχνευση νετρίνο από supernova (1987)
  → 20 (Kamionade: 12) supernova νετρίνο – επιβεβαίωση της βασικής θεωρητικής εικόνας του θανάτου ενός άστρου

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

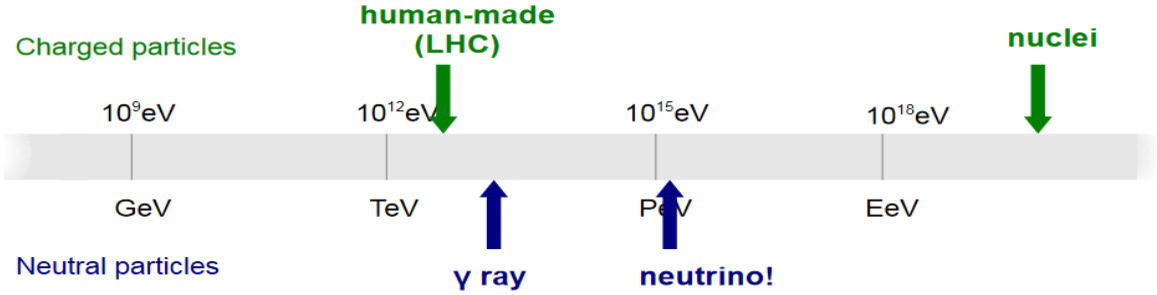
- Ανίχνευση 2000 νετρίνο από τον Ήλιο σε μια περίοδο 30 ετών!
- Ανίχνευση 12 νετρίνο από τα 10^{16} νετρίνο που πέρασαν μέσα από τον ανιχνευτή Kamiokande!

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

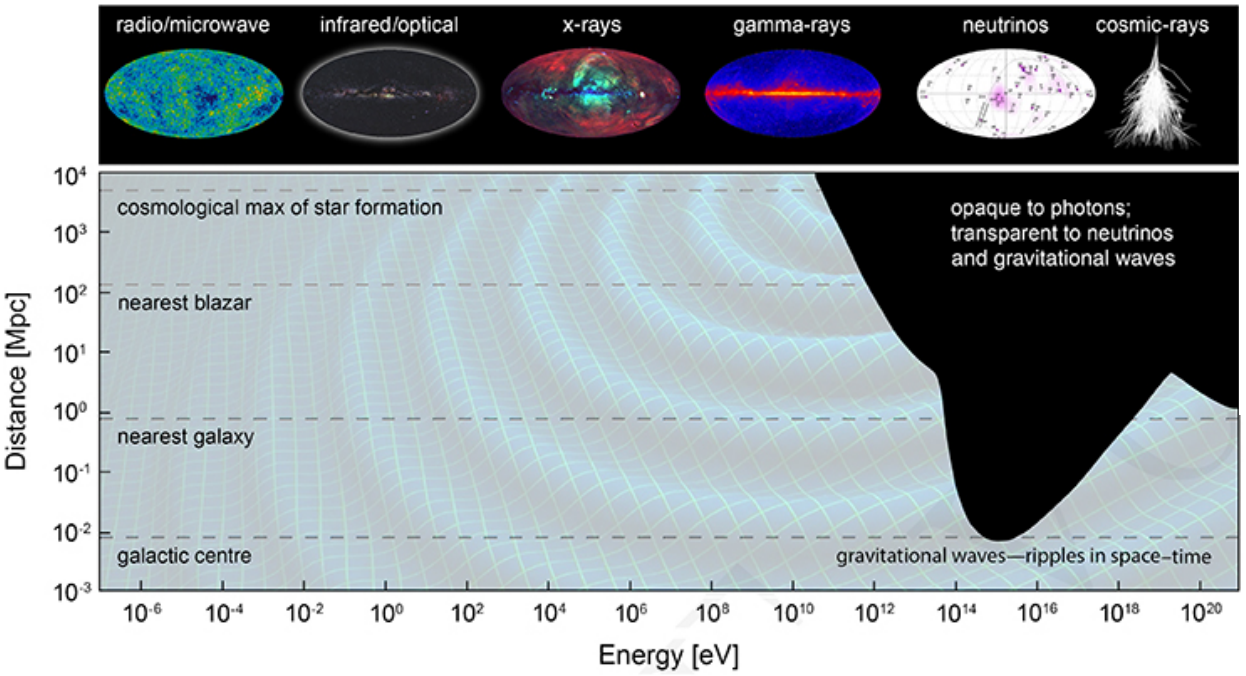
- Ανίχνευση νετρίνο από τον ήλιο ✓
- Ανίχνευση νετρίνο από supernova (1987) ✓
- **Ανίχνευση νετρίνο από γαλαξιακές και εξω-γαλαξιακές πηγές**

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

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



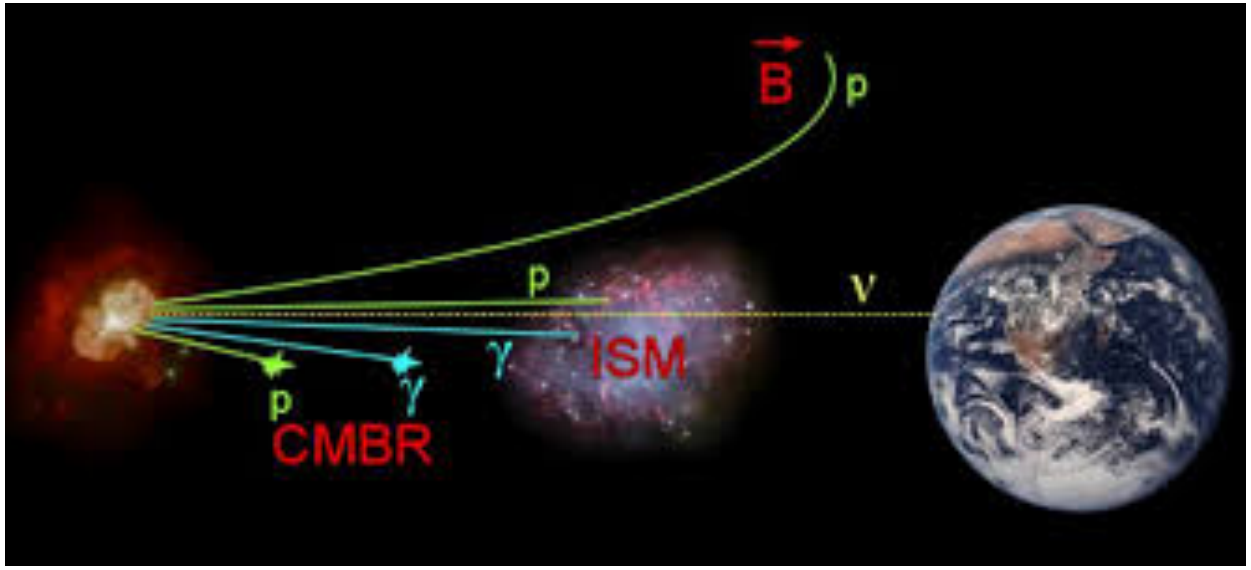
Φαινόμενα υψηλής ενέργειας στο Σύμπαν: φορείς πληροφορίας



- φωτόνια
- κοσμικές ακτίνες
- νετρίνο
- βαρυτικά κύματα

ν → Αλληλεπιδρούν μέσω της ασθενούς αλληλεπίδρασης

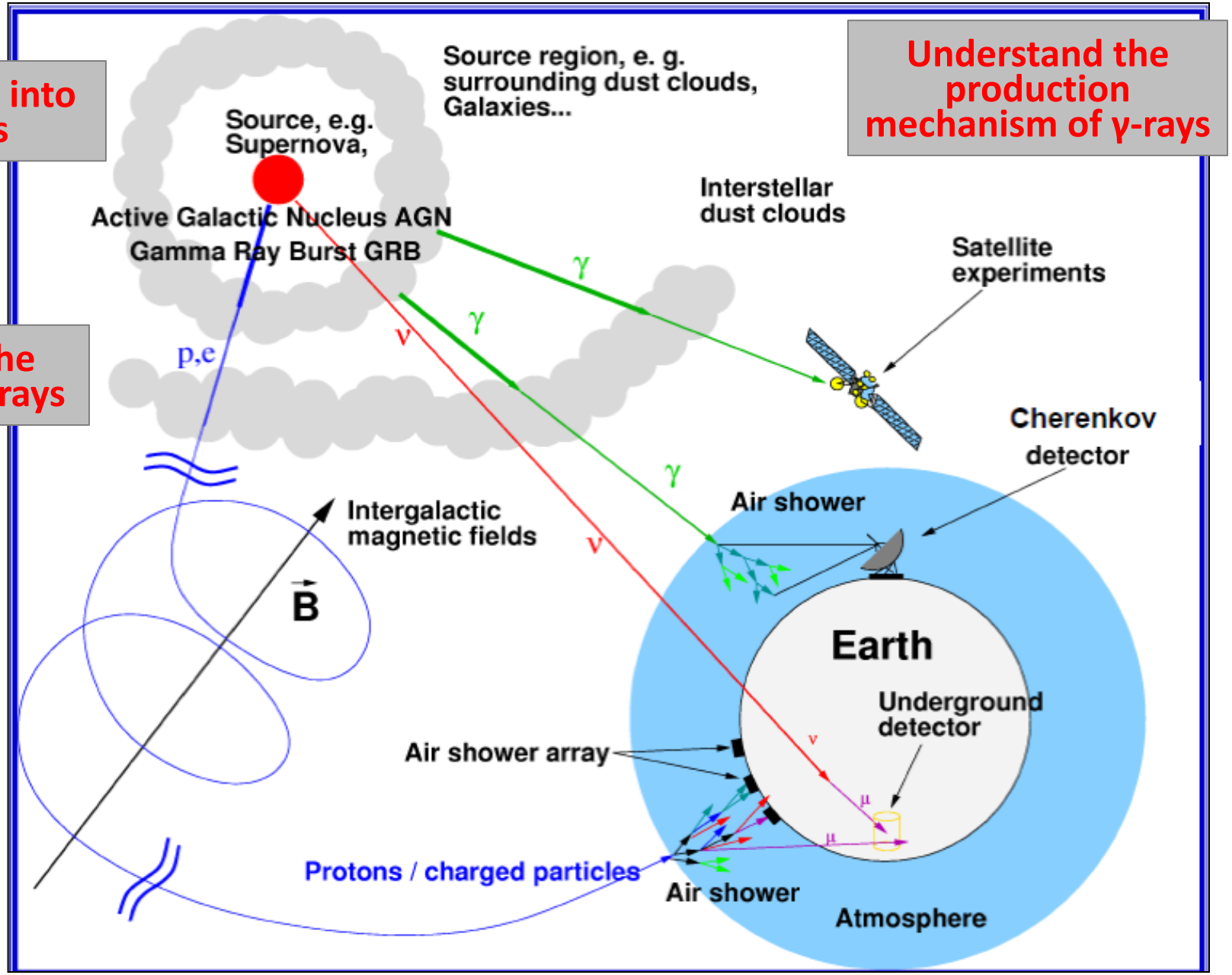
- Ταξιδεύουν σε ευθύγραμμες τροχιές!
- Πρακτικά, δεν απορροφώνται από την μεσοαστρική ύλη!
- Μπορούν να αποκαλύψουν πληροφορίες σχετικά με τις διεργασίες στις αστροφυσικές πηγές που δεν είναι «προσβάσιμες» μέσω φωτονίων ή κοσμικών ακτίνων



Αστρονομία Νετρίνων: το όνειρο!

see deeper into sources

learn what is the origin of cosmic rays



Understand the production mechanism of γ-rays

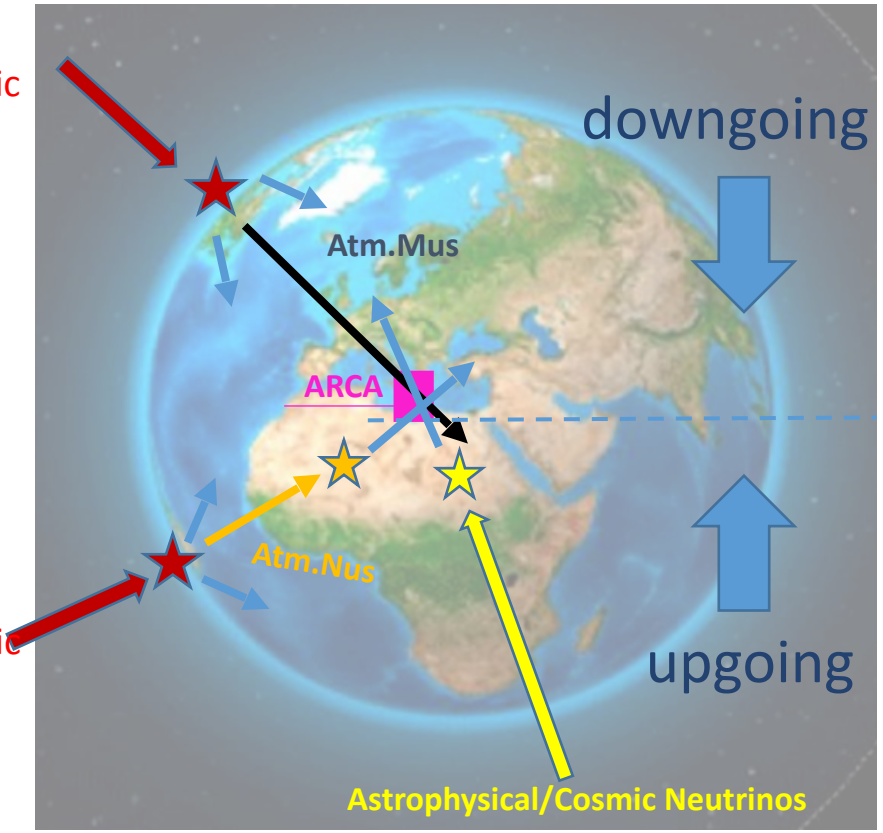
Multi-messenger astronomy

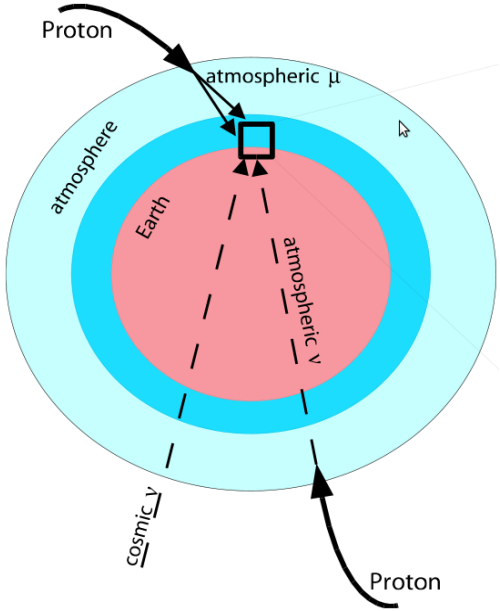
Αστρονομία Νετρίνων: η πραγματικότητα !

~50.000.000 atm.μ / year

Πρόκληση!

~300.000 atm.ν / year





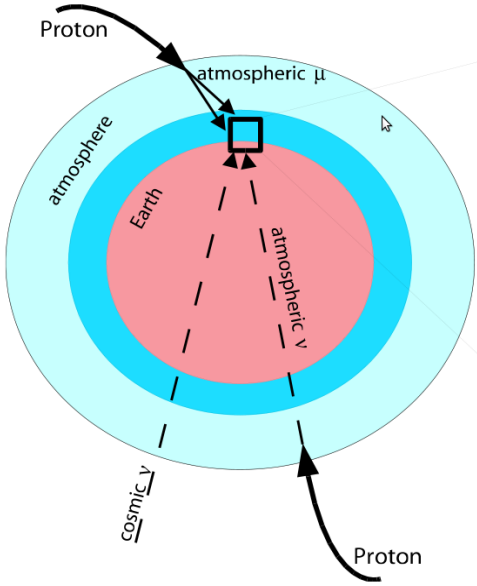
- <u>Σήμα</u>: νετρίνο αστροφυσικής προέλευσης
- <u>Υπόβαθρο</u>: νετρίνο και μιόνια που παράγονται στην ατμόσφαιρα.

- 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.



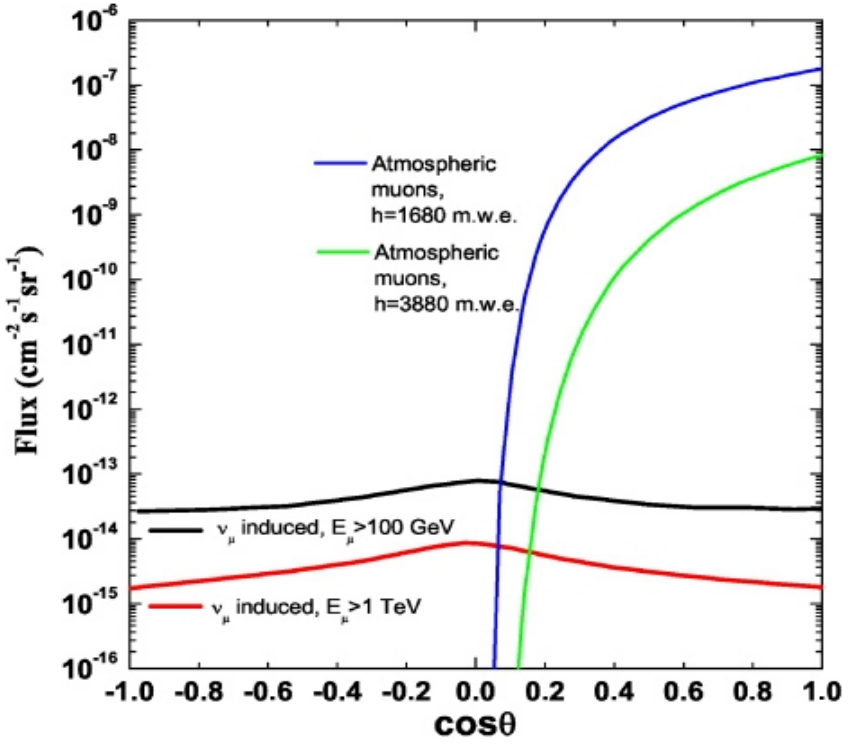
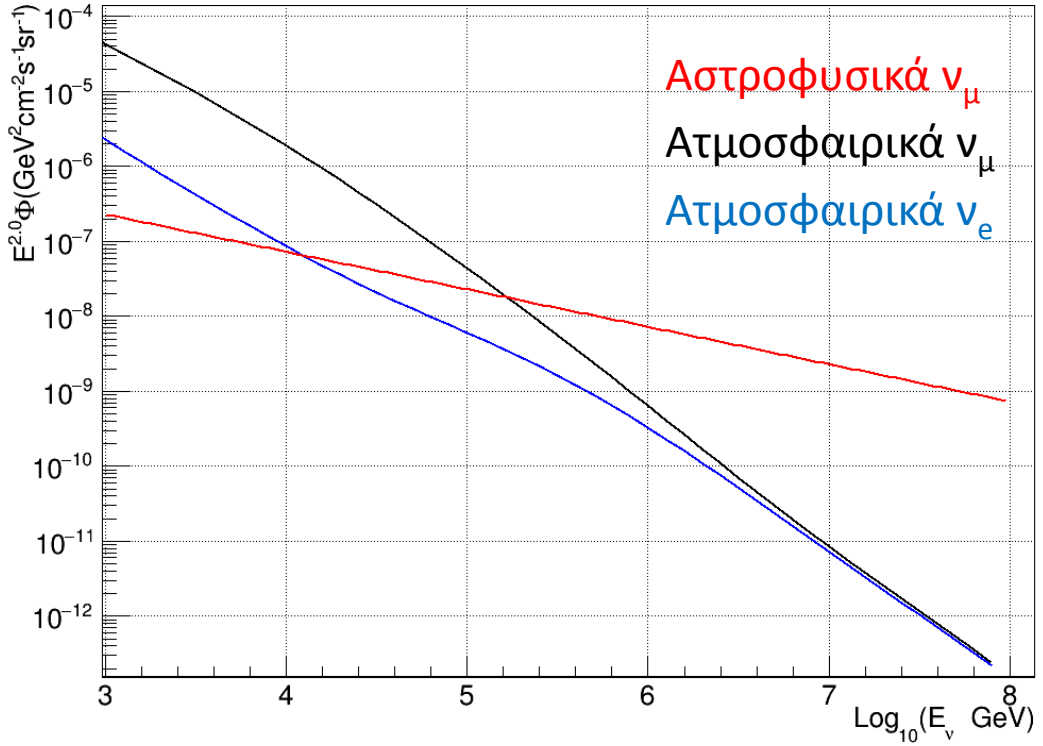
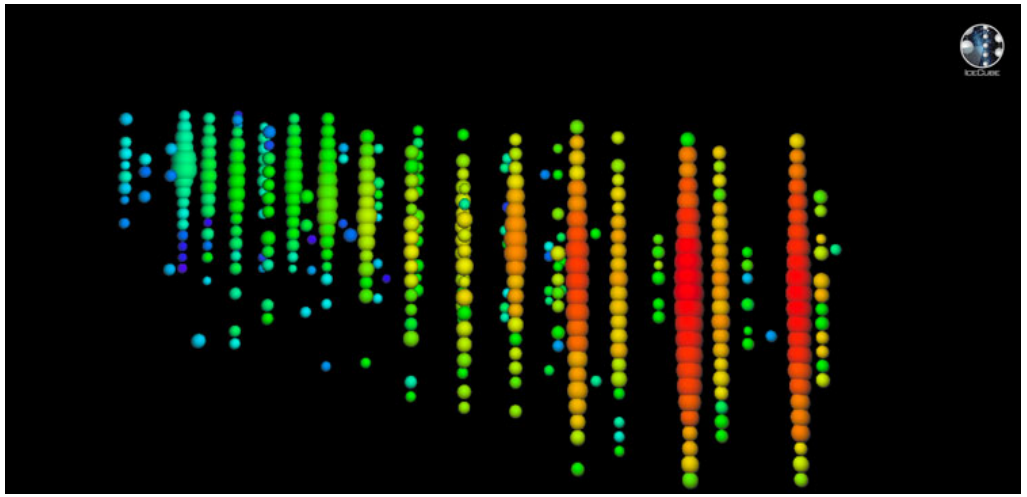


Figure 12 from High-energy neutrino astronomy: detection methods and first achievements B Baret and V Van Elewyck 2011 Rep. Prog. Phys. 74 046902



Multi Messenger Αστρονομία & Νετρίνο

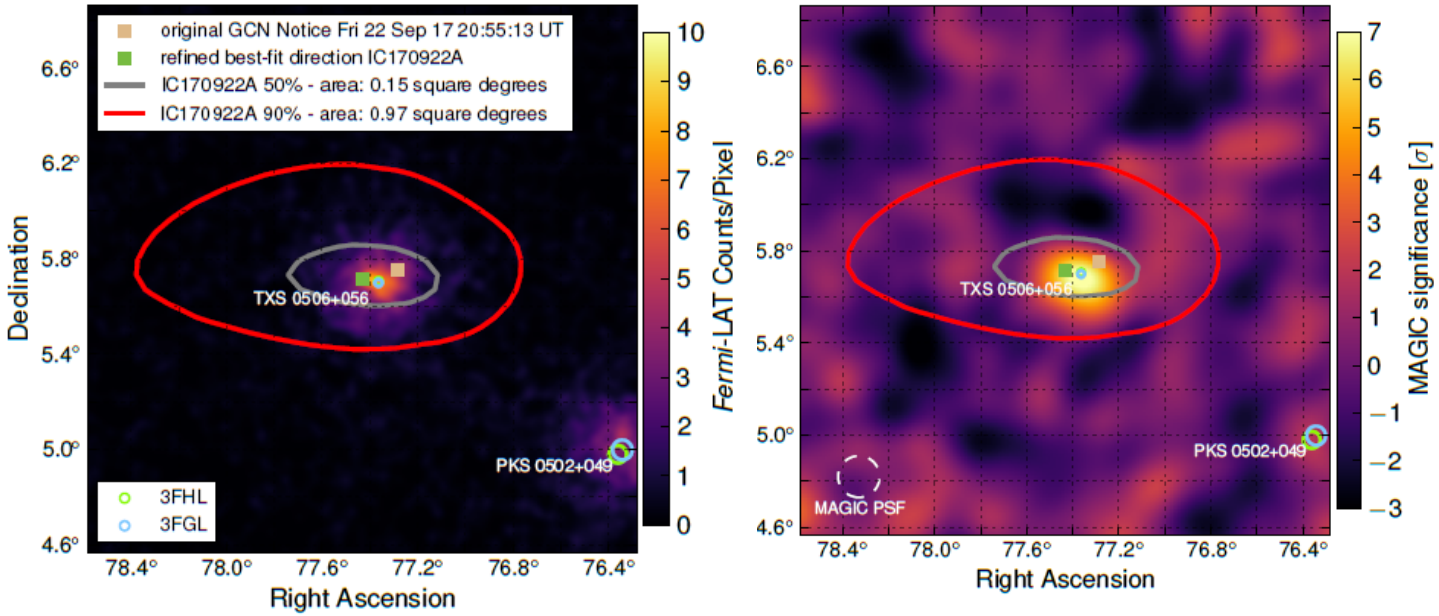
IceCube-170922A



→ IceCube Alert

Για την εξερεύνηση των φαινομένων υψηλής ενέργειας στο σύμπαν: συνδυασμός πληροφορίας

- **φωτόνια**
- **νετρίνο**
- βαρυτικά κύματα
- κοσμικές ακτίνες



22/09/2017: νετρίνο ενέργειας ~300 TeV ανιχνεύθηκε από το τηλεσκόπιο νετρίνο IceCube.

Σύμπτωση 3σ με τις παρατηρήσεις του Flaring Blazar TXS 0506+056 από τα Fermi-LAT και MAGIC

KM3NeT: Ανιχνευτές νετρίνο νέας γενιάς στη Μεσόγειο

ORCA

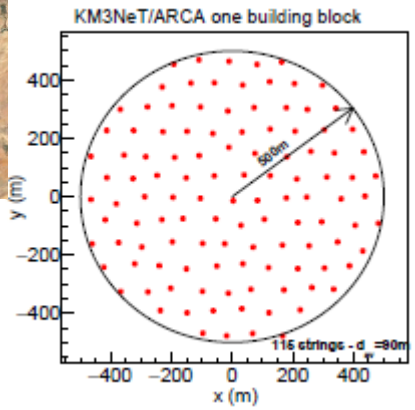
2x

Ανιχνευτής νετρίνο:

Σωματιδιακή φυσική

Ταλαντώσεις νετρίνο

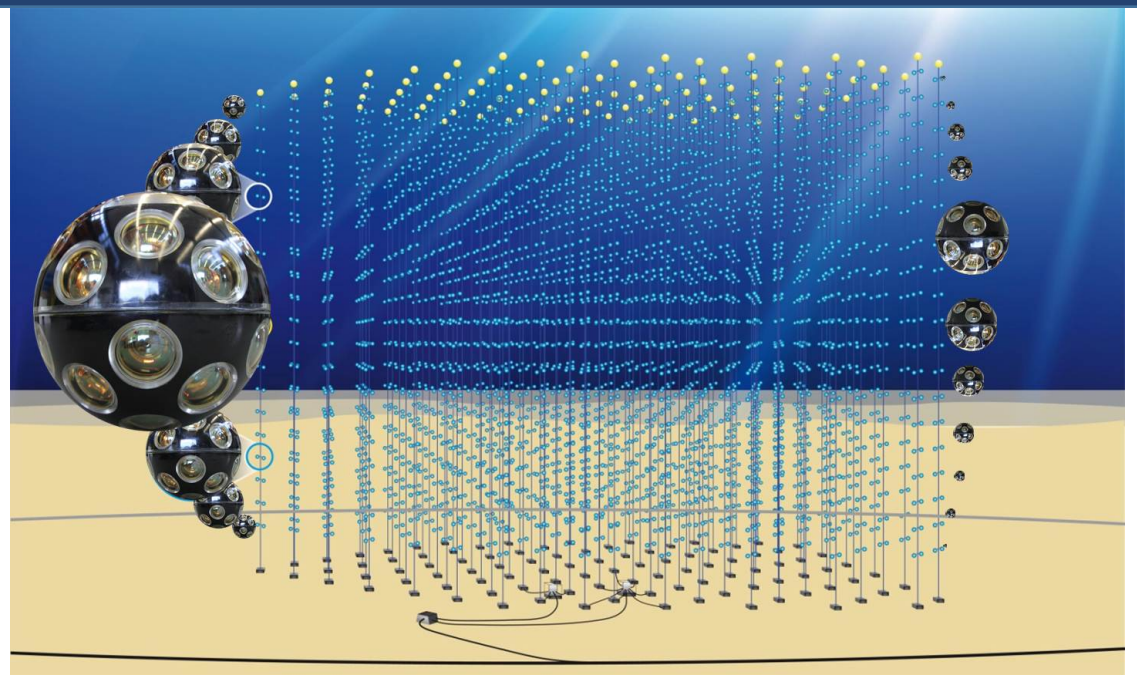
Ιεραρχία μαζών



ARCA

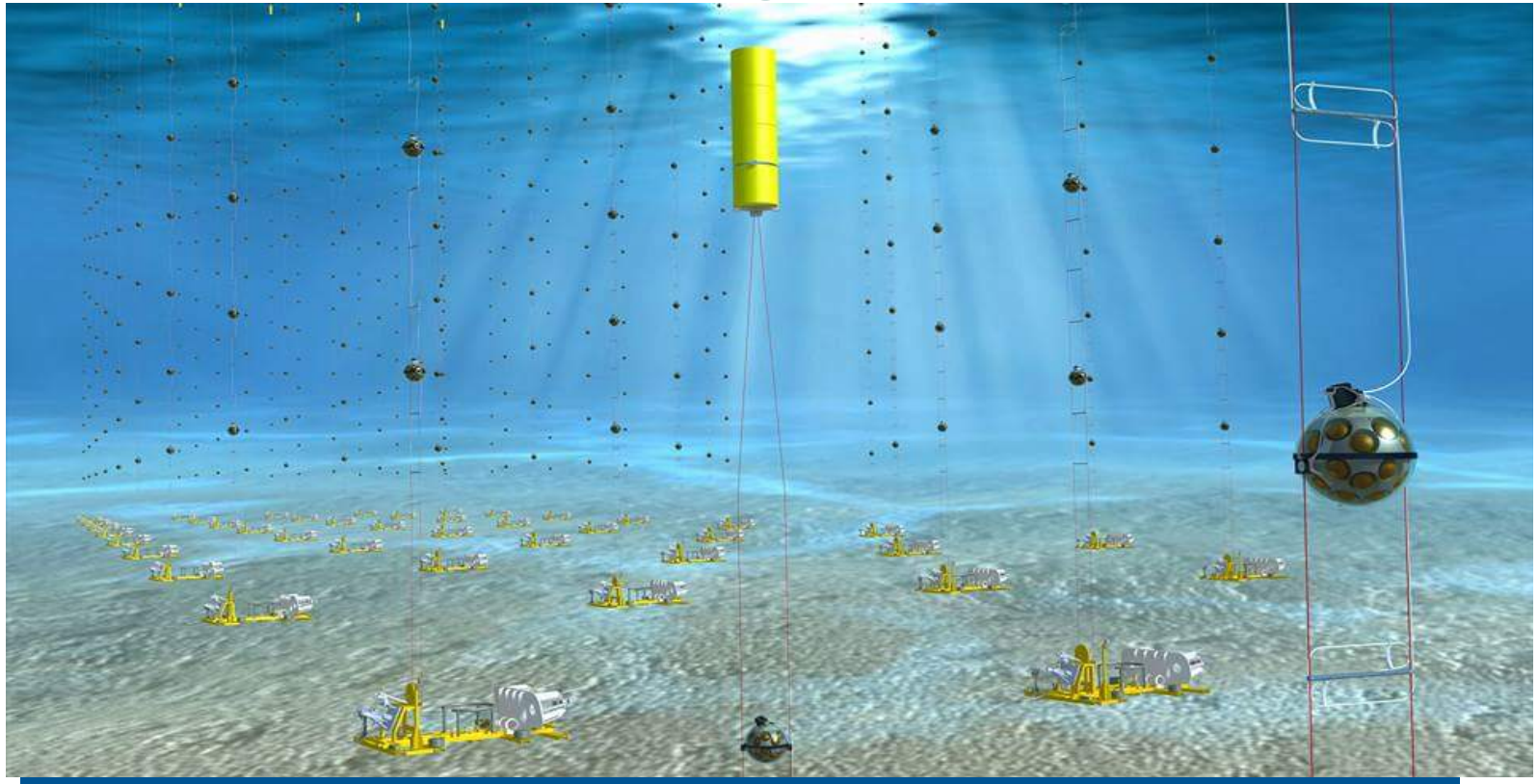
Τηλεσκόπιο νετρίνο:

Ανίχνευση νετρίνο αστροφυσικής προέλευσης



The KM3NeT detectors

KM3NeT in the Mediterranean (km3net)



ORCA: Oscillation **R**esearch with **C**osmics In the **A**byss
Μελέτη χαμηλής ενέργειας ατμοσφαιρικών νετρίνο

ARCA: Astroparticle **R**esearch with **C**osmics In the **A**byss
Ανίχνευση νετρίνο αστροφυσικής προέλευσης

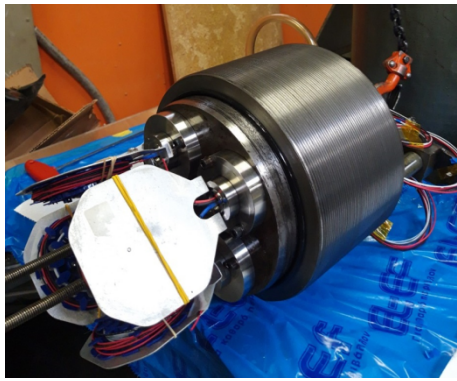
Expecting lots of new data!!

April 2021	Spring 2022	Summer 2022	Fall 2022	NOW
6 ARCA	7 ARCA	+12 ARCA	+4 ARCA	ARCA21
6 ORCA		+4 ORCA	+4 ORCA	ORCA18

APP group: People, Technical Activities, Physics Analyses

APP group: 3 ερευνητές, τεχνικό προσωπικό, 1 φυσικός, 3 Ph.D. Students, 1 MSc student

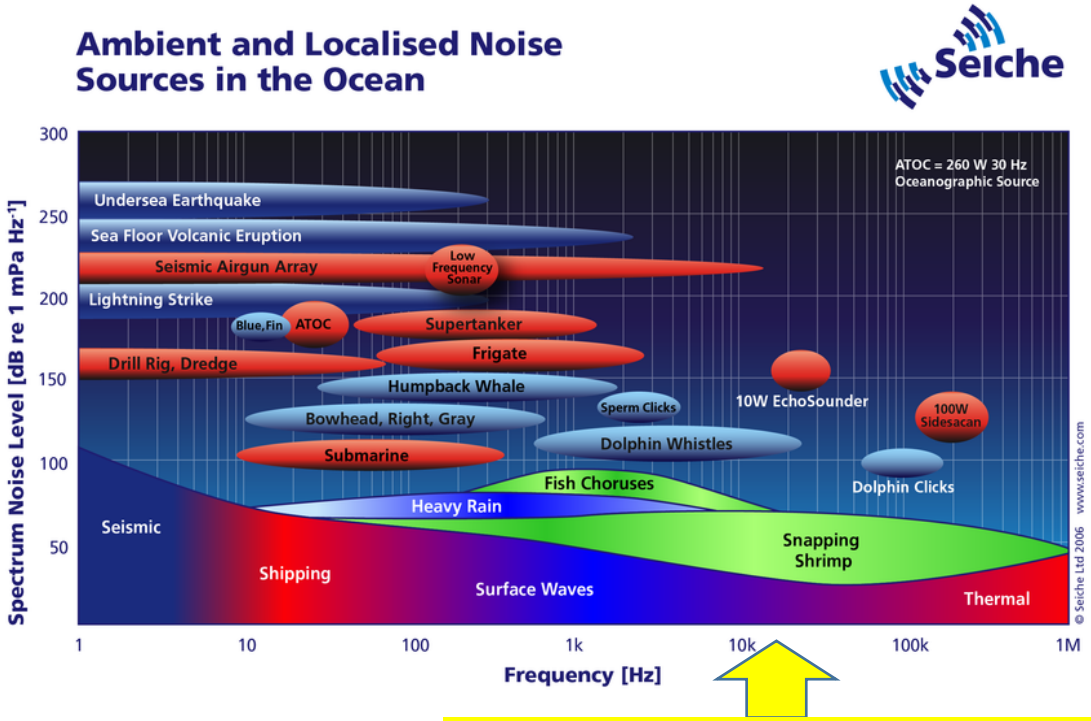
Undergraduate students - interns



- 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

Ακουστική ανίχνευση νετρίνο

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



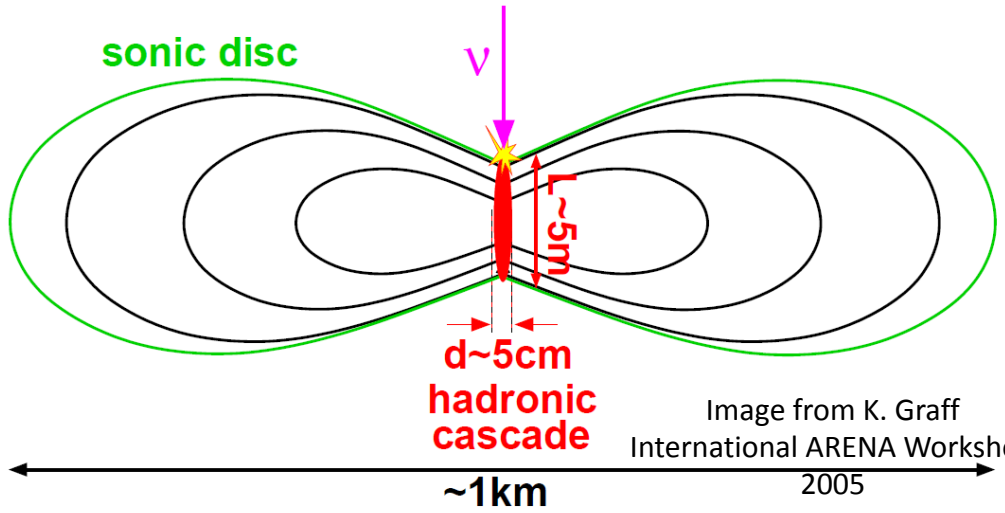
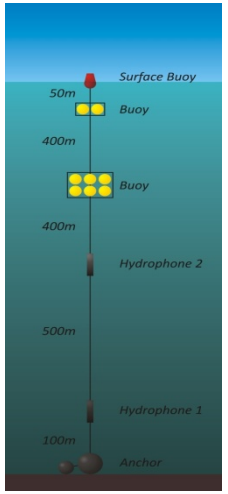
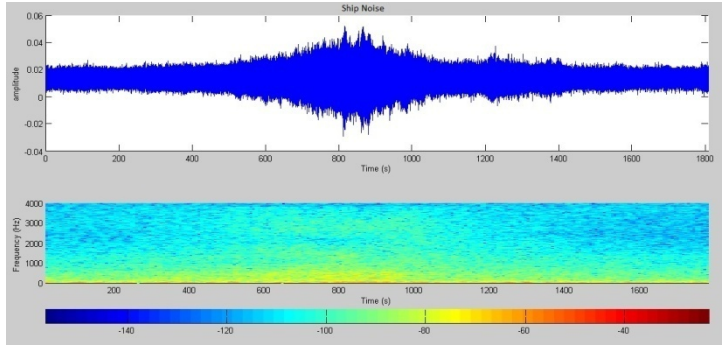


Image from K. Graff International ARENA Workshop 2005

αναμενόμενο σήμα από αλληλεπιδράσεις νετρίνο



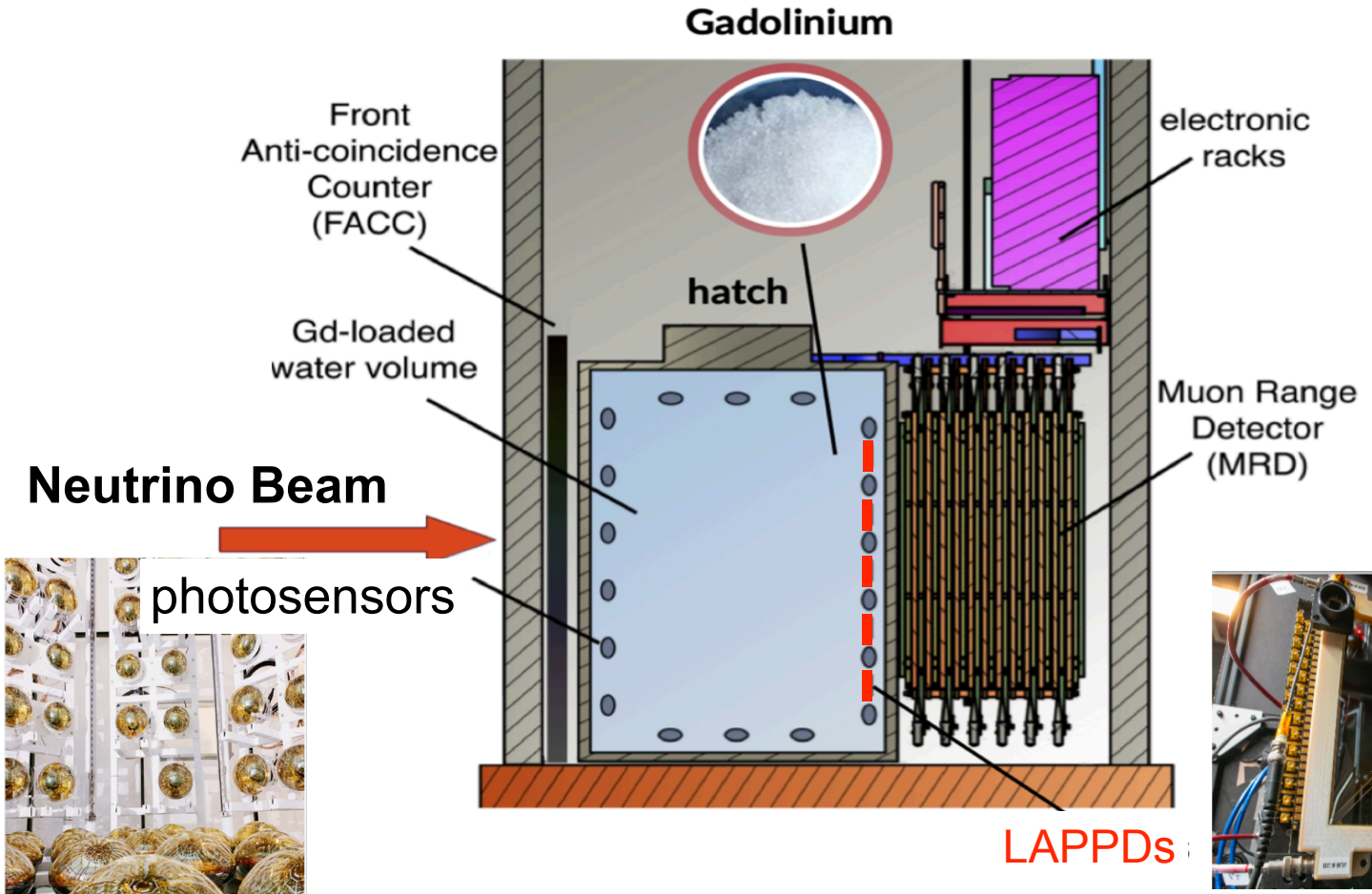


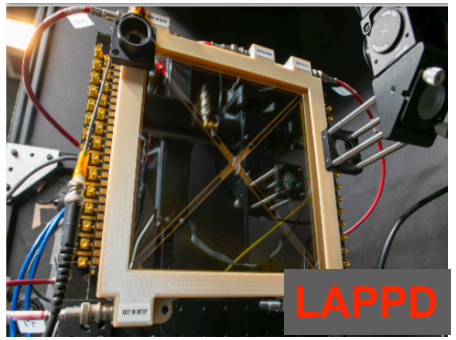
Ανάλυση ακουστικού σήματος και κατηγοριοποίηση:

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

The ANNIE experiment

- **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).
- We joined ANNIE in September 2021.



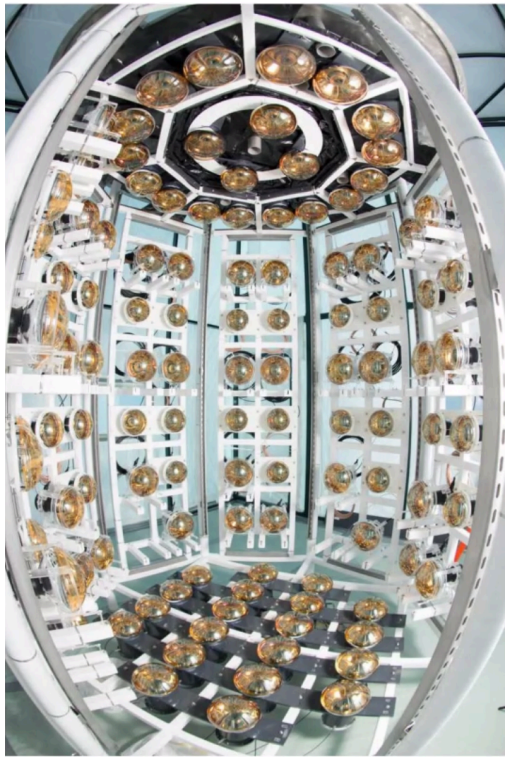


<u>Detection Medium</u>: Now: Gadolinium-loaded water, **mid 2022**: Water-based Liquid Scintillator.

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

ANNIE is seeing neutrinos with the first LAPPD deployed in the water tank.

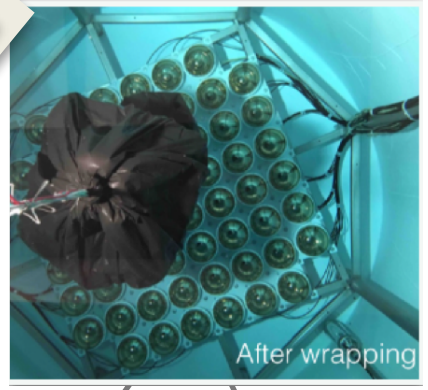
ANNIE taking data & testing new technologies!



2016 — 2018 — 2023

Past:
ANNIE – Phase I

Completed



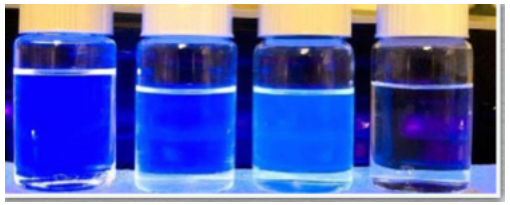
- Μέτρηση του υποβάθρου του ανιχνευτή
- Επιτυχής λειτουργία του ανιχνευτή

Present:
ANNIE – Phase II

NOW

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

Future:
ANNIE – Phase III



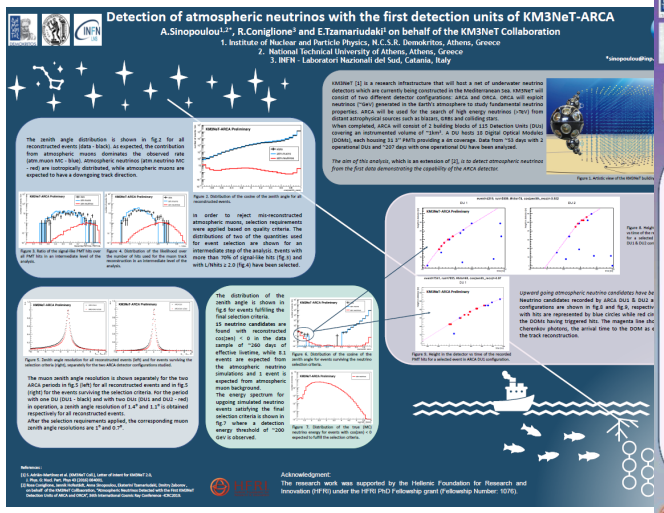
- Περισσότερα LAPPDs: βελτιωμένη ανακατασκευή
- Water-based Liquid Scintillator (WbLS)

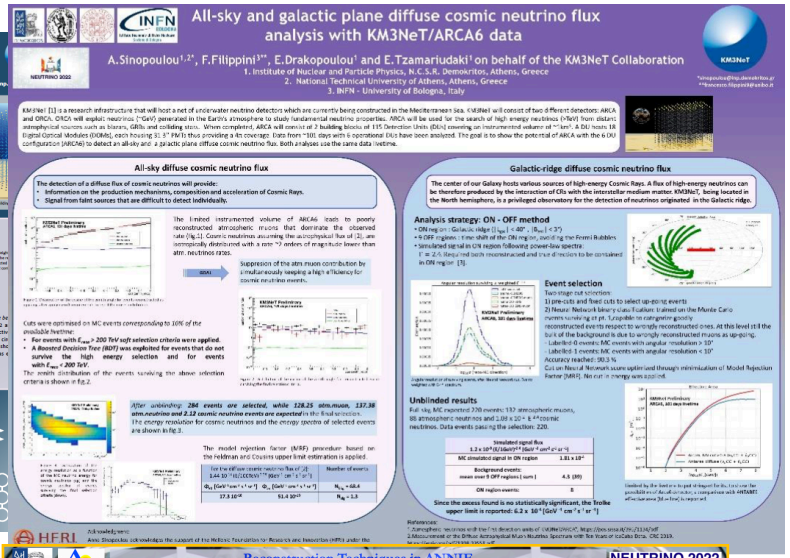
APP group: Physics Analyses and Studies

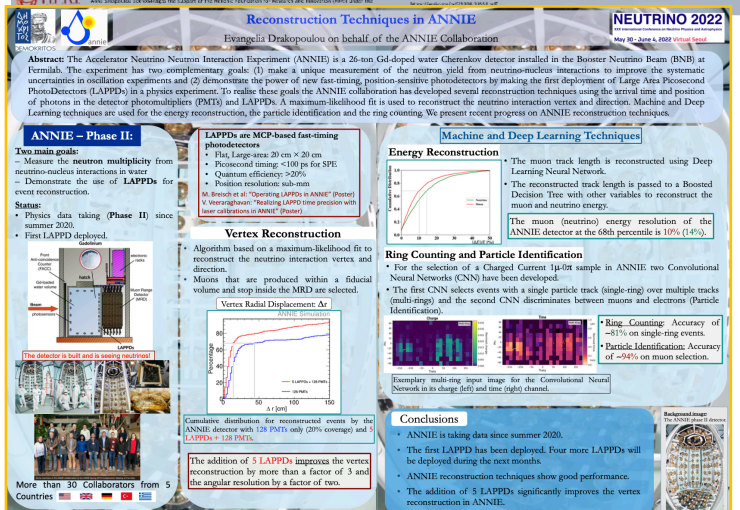
2020-2022

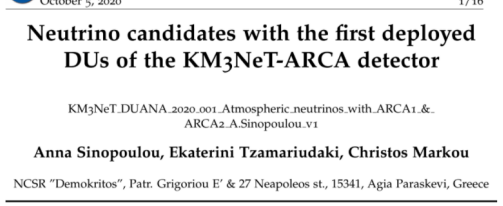
Neutrinos from ARCA, ORCA and ANNIE

A. Sinopoulou PhD student

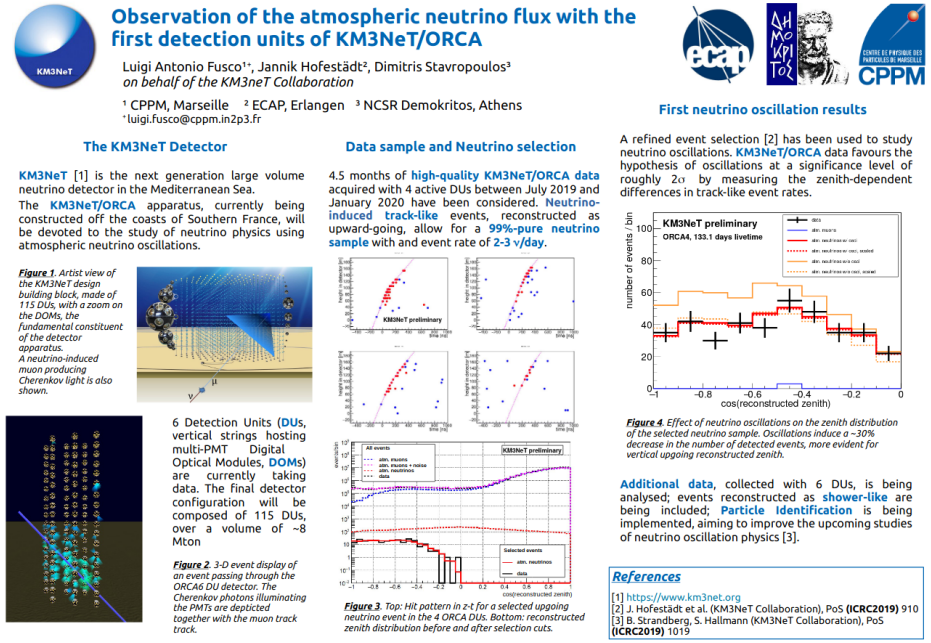








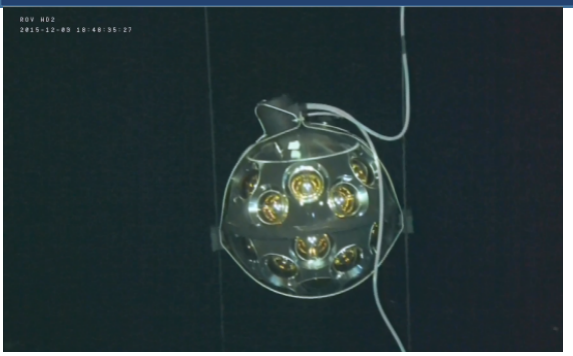
D. Stavropoulos PhD student



presented in the XXIX International Conference on Neutrino Physics and Astrophysics 2020, NEUTRINO 2022

3 contributions accepted for ICRC2023!

APP group: Topics of interest



Expecting lots of new data!!

@ the APP group: a phased construction of the KM3NeT detectors

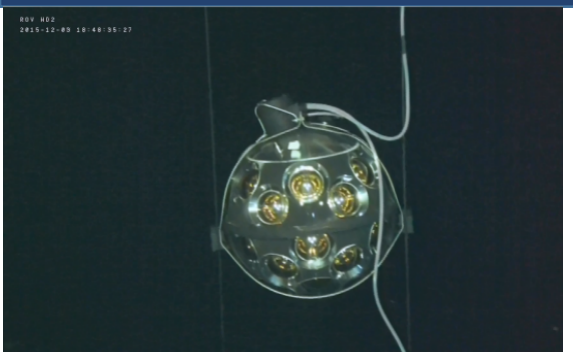
- Συμμετοχή σε ένα πείραμα κατά τη διάρκεια της κατασκευής του
- Συλλογή και ανάλυση δεδομένων (τεχνικές Machine Learning) από τους ανιχνευτές ARCA & ORCA

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

Astroparticle Physics

- *"Measurement of the atmospheric muon flux for the current KM3NeT ARCA & ORCA configurations",* (M.Sc. Thesis, Dr. E. Tzamariudaki)
- *"Comparison of machine learning-based track reconstruction with standard reconstruction algorithms",* (MSc thesis, Dr. E. Drakopoulou)
- *"Studies of atmospheric muon simulations"* (M.Sc. Thesis, Diploma Thesis, Dr. E. Tzamariudaki)
- *"Development of framework and machine learning applications on GPUs"* (M.Sc. thesis, Diploma Thesis, Internship, Dr. C. Markou)
- *"Development of tools to assess the performance of machine learning algorithms used in neutrino experiments"*(M.Sc. thesis, Diploma thesis, Dr. E. Drakopoulou)
- *"Reconstruction studies for acoustic neutrino detection"* (MSc thesis, Dr. C. Markou)
- *"Development of machine learning algorithms for the ANNIE experiment"* (M.Sc. thesis, Diploma thesis, Dr. E. Drakopoulou)

APP group: Topics of interest

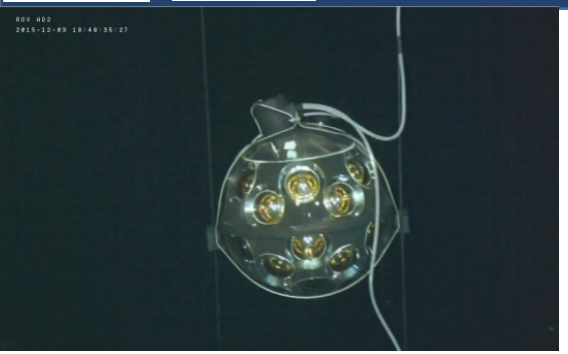


Expecting lots of new data!!

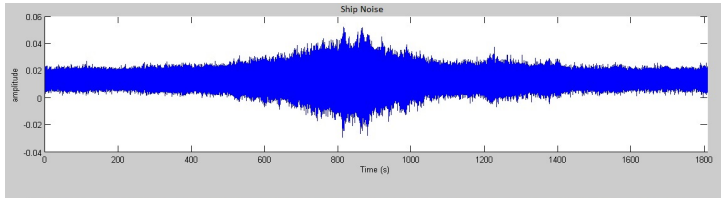
@ the APP group: a phased construction of the KM3NeT detectors

- **ARCA & ORCA data**: atmospheric neutrino candidates (atmospheric muon background suppression)
  - ARCA: βελτιστοποίηση των αλγορίθμων για την επιλογή καλά ανακατασκευασμένων γεγονότων
  - ORCA: βελτιστοποίηση των αλγορίθμων για την επιλογή: γεγονότων που αλληλεπιδρούν μέσα στον ανιχνευτή, μιονίων που προέρχονται από νετρίνα που έρχονται διαμέσου της Γης
  - σύγκριση της ροής με τη ροή που αναμένεται από τα διαφορετικά μοντέλα που περιγράφουν τους κοσμικούς καταιονισμούς
- **Simulation studies**: αναγνώριση της τοπολογίας των γεγονότων (track – shower differentiation) χρησιμοποιώντας μεθόδους μηχανικής μάθησης στοχεύοντας στη βελτιστοποίηση της ικανότητας ανακάλυψης διάχυτης ροής νετρίνο αστροφυσικής προέλευσης
- **Multi-messenger astronomy:** Για την εξερεύνηση των φαινομένων υψηλής ενέργειας στο σύμπαν απαιτείται συνδυασμός της πληροφορίας από φωτόνια, κοσμικές ακτίνες, βαρυτικά κύματα και νετρίνο.

APP group: Physics Analyses and Studies



&&



Acoustic neutrino detection: expecting new activities!!!

- Ανάπτυξη μεθόδων για την αναγνώριση, το χαρακτηρισμό και την κατηγοριοποίηση ηχητικών σημάτων χρησιμοποιώντας τεχνικές μηχανικής μάθησης
- Ανάλυση των γεγονότων που καταγράφονται από τους ακουστικούς αισθητήρες του KM3NeT με στόχο τη δημιουργία ενός trigger ειδικά για acoustic neutrino detection
- Ανάπτυξη πρότυπων ανιχνευτικών διατάξεων ακουστικής ανίχνευσης σε συνεργασία με NL, DE, IT, FR.

The APP Group

Η ανίχνευση νετρίνο υψηλής ενέργειας σε σύμπτωση με τις παρατηρήσεις του Flaring Blazar TXS 0506+056 από τα Fermi-LAT και MAGIC σηματοδοτεί την έναρξη της εποχής της κατανόησης του Σύμπαντος χρησιμοποιώντας πολλαπλούς φορείς πληροφορίας από τις αστροφυσικές πηγές

Μπορείτε να συμμετέχετε σε αυτή τη συναρπαστική εποχή!!

Γνωρίστε το APP group:

- Συμμετοχή σε ένα πείραμα κατά τη διάρκεια της κατασκευής του
- Ανάλυση δεδομένων από τους ανιχνευτές ARCA, ORCA & ANNIE
- Μελέτη της ροής νετρίνο χρησιμοποιώντας εξελιγμένα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων
- Εκτεταμένη χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης (Machine Learning)
- Ανίχνευση νετρίνο από αστροφυσικές πηγές!
- **Lots of fun!!**

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