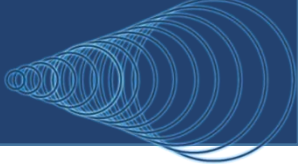


Αστροσωματιδιακή Φυσική στο ΙΠΣΦ

Χρήστος Μάρκου
Κατερίνα Τζαμαριουδάκη
Ευαγγελία Δρακοπούλου

14/06/2021



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

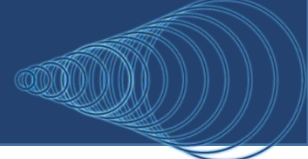
Nobel Prize 2002



Αρχικές πειραματικές μετρήσεις: αριθμός των νετρίνο που φτάνουν στη Γη από τον Ήλιο: $\sim 1/3$ του αναμενόμενου από τη θεωρία “**solar neutrino puzzle**”
 Ανιχνευτές Super-Kamiookande & SNO: τα νετρίνο από τον Ήλιο δε χάνονται καθώς ταξιδεύουν προς τη Γη αλλά αλλάζουν ταυτότητα

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



νετρίνο


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

❖ ανίχνευση νετρίνο: μια πρόκληση

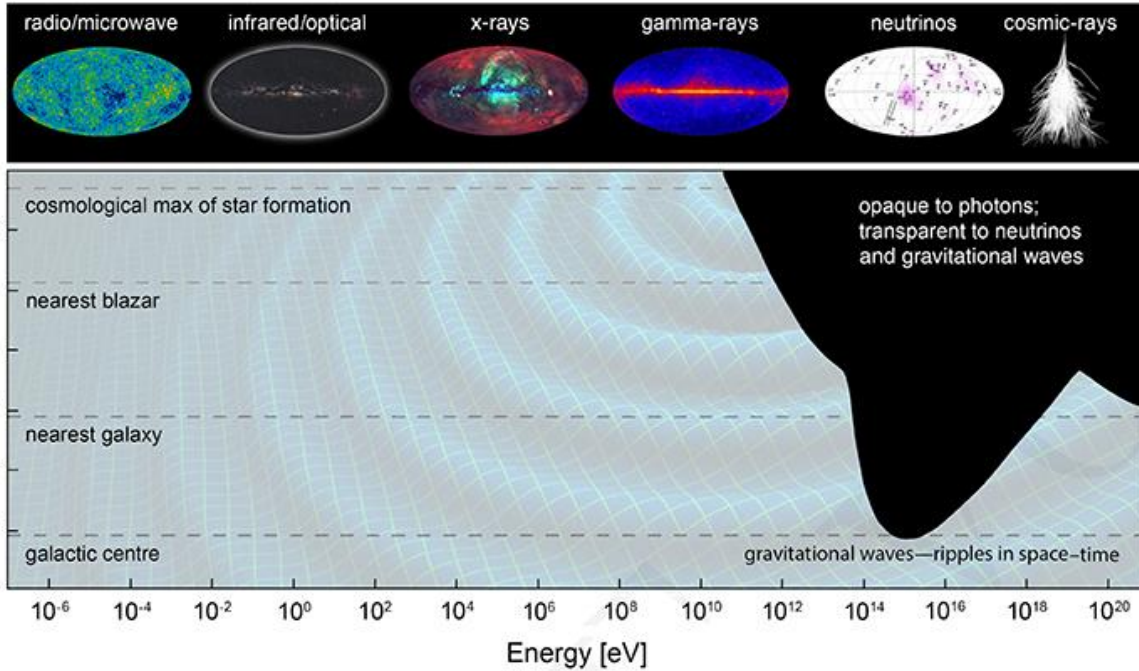
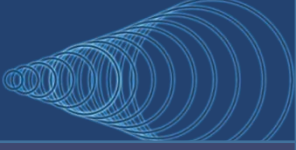
- Ανίχνευση 2000 νετρίνο από τον Ήλιο σε μια περίοδο 30 ετών!
- Ανίχνευση 12 νετρίνο από τα 10^{16} νετρίνο που πέρασαν μέσα από τον ανιχνευτή Kamiokande!

❖ 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

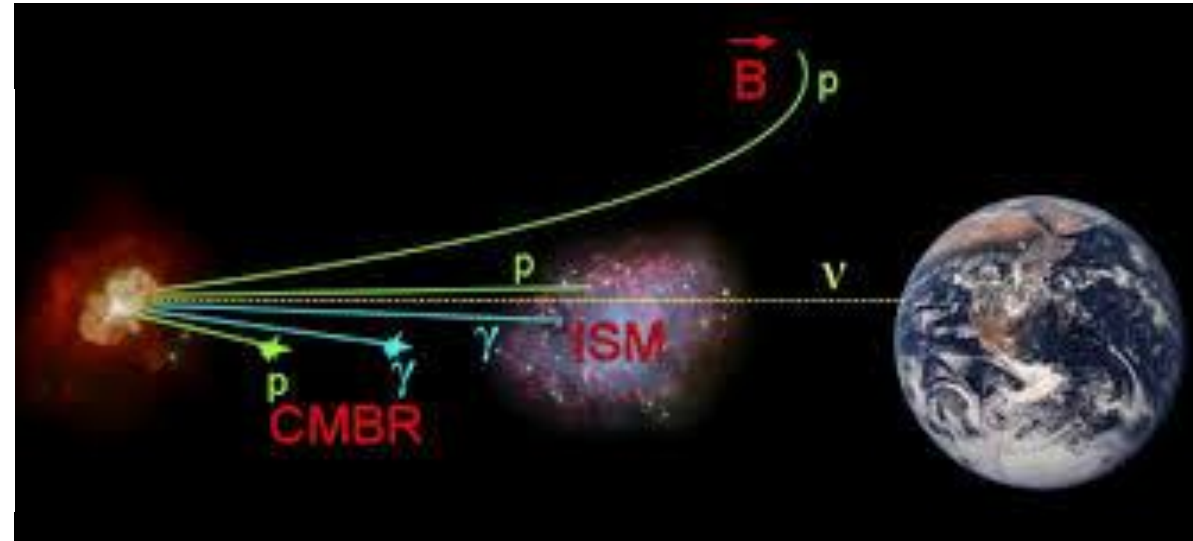
Φαινόμενα υψηλής ενέργειας στο Σύμπαν: φορείς πληροφορίας



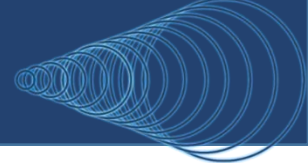
- φωτόνια
- κοσμικές ακτίνες
- νετρίνο
- βαρυτικά κύματα

$\nu \rightarrow$ 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

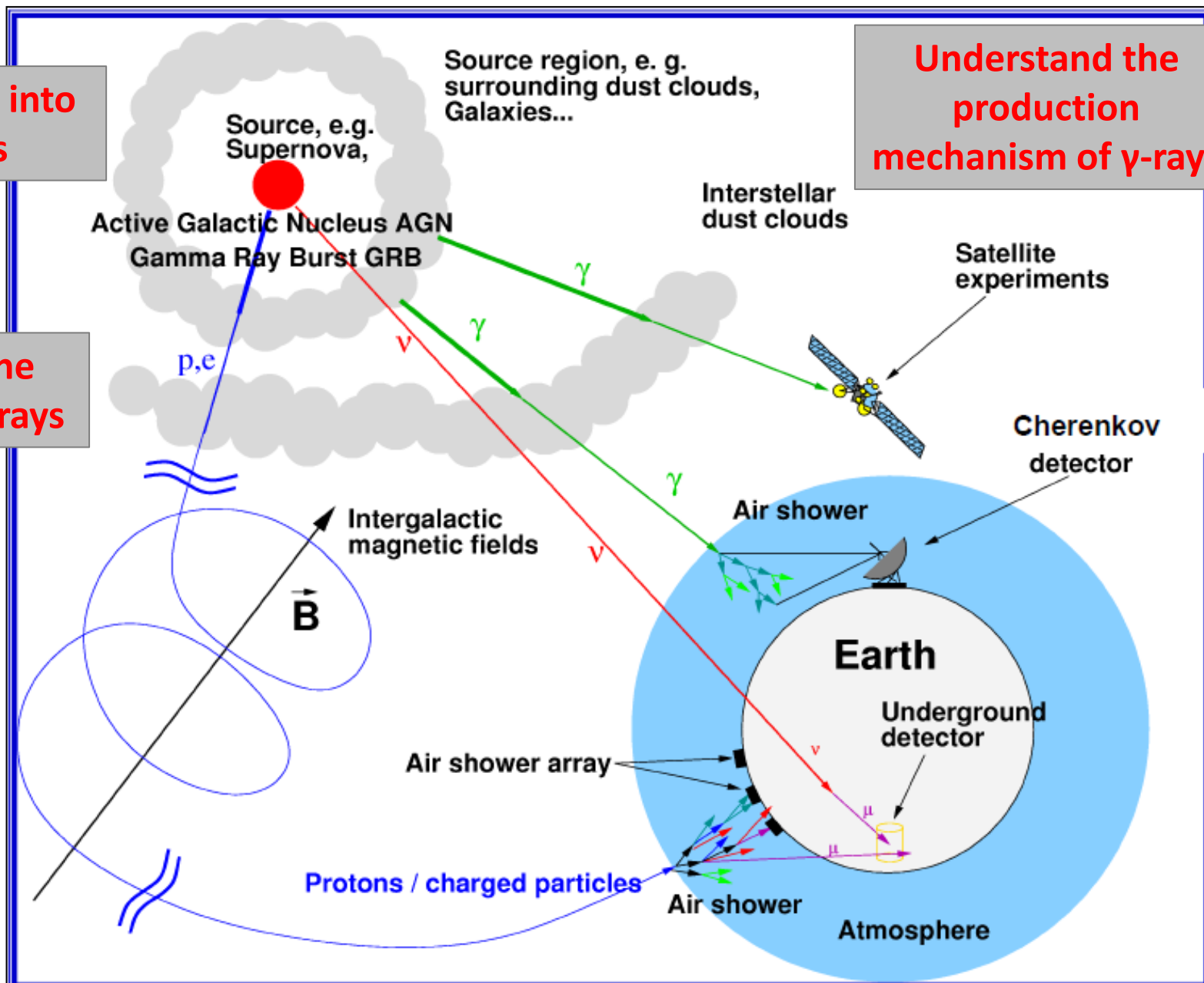


Neutrino Astronomy: the dream!



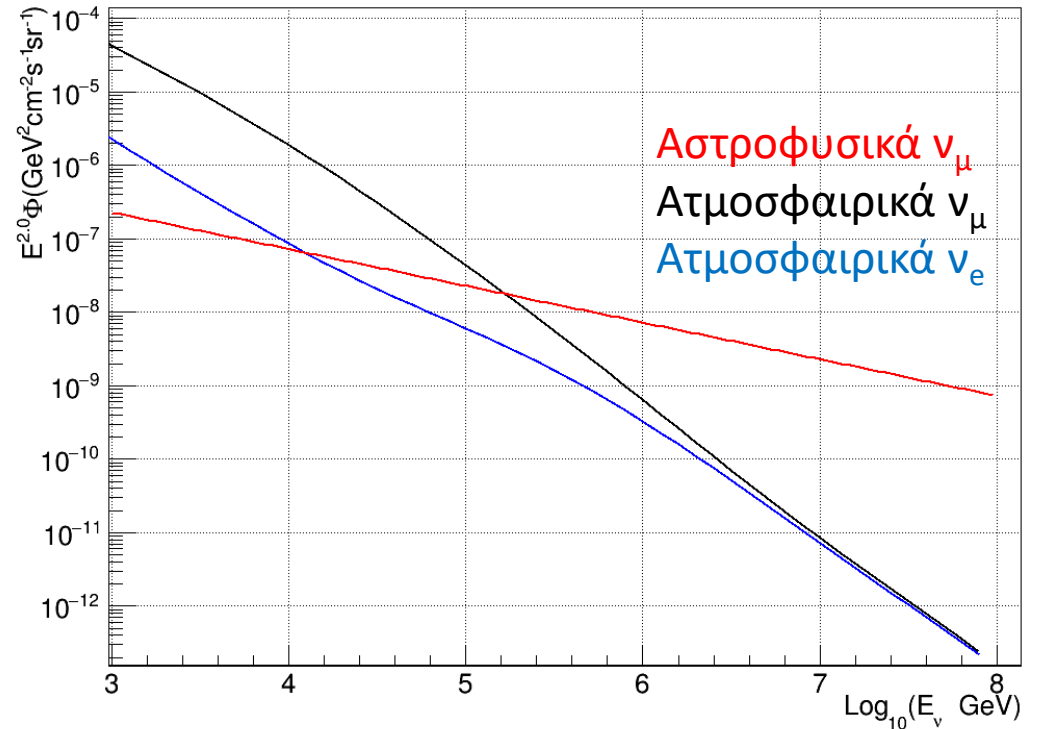
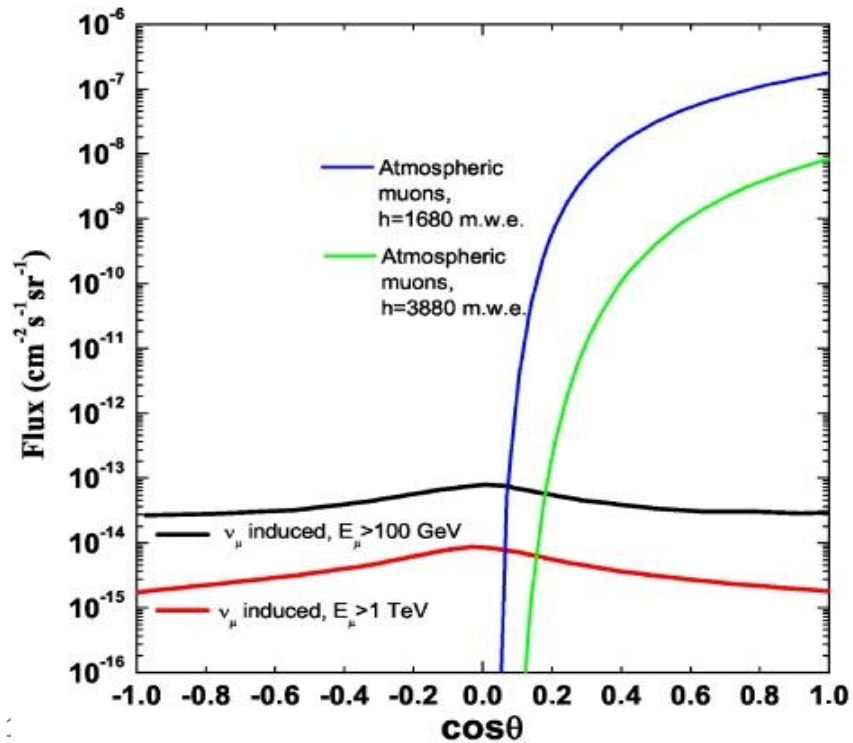
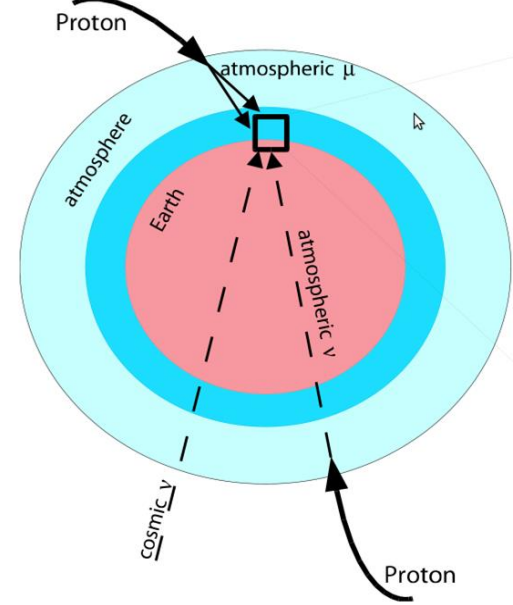
see deeper into sources

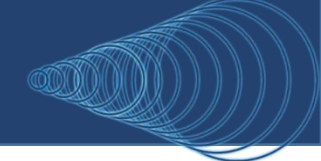
learn what is the origin of cosmic rays



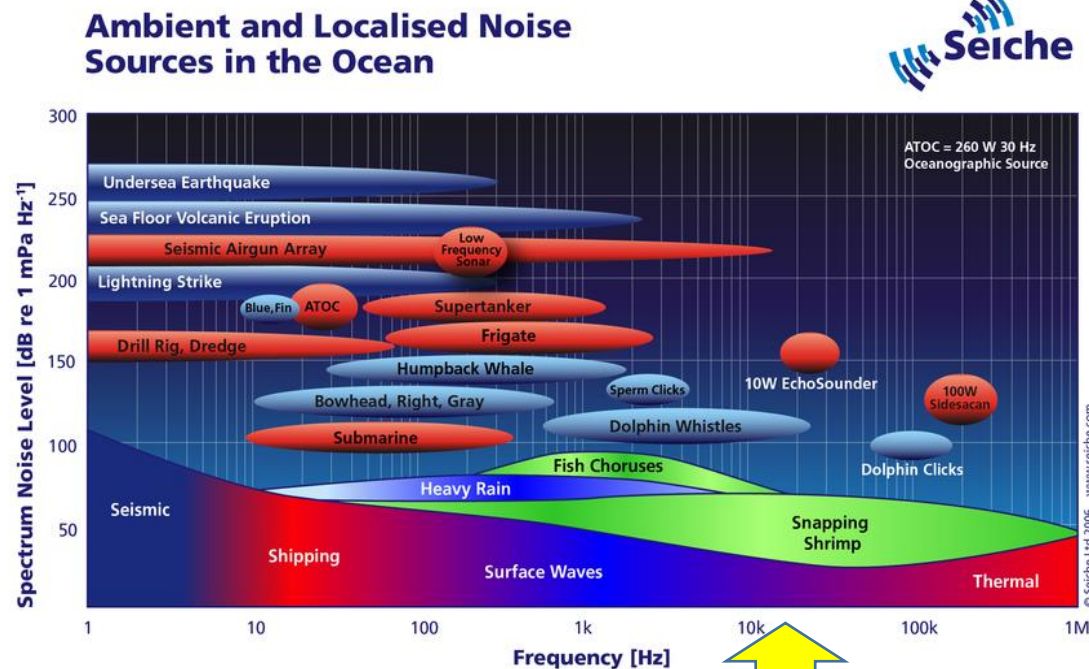
Neutrino Astronomy: the reality!

- Σήμα: νεutrino αστροφυσικής προέλευσης
- Υπόβαθρο: νεutrino που παράγονται στην ατμόσφαιρα.
μύονια που παράγονται στην ατμόσφαιρα.





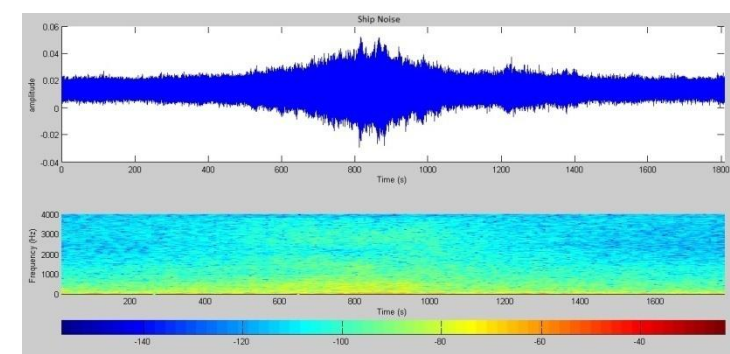
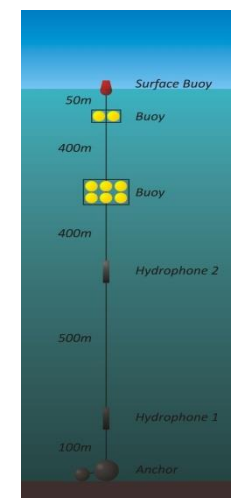
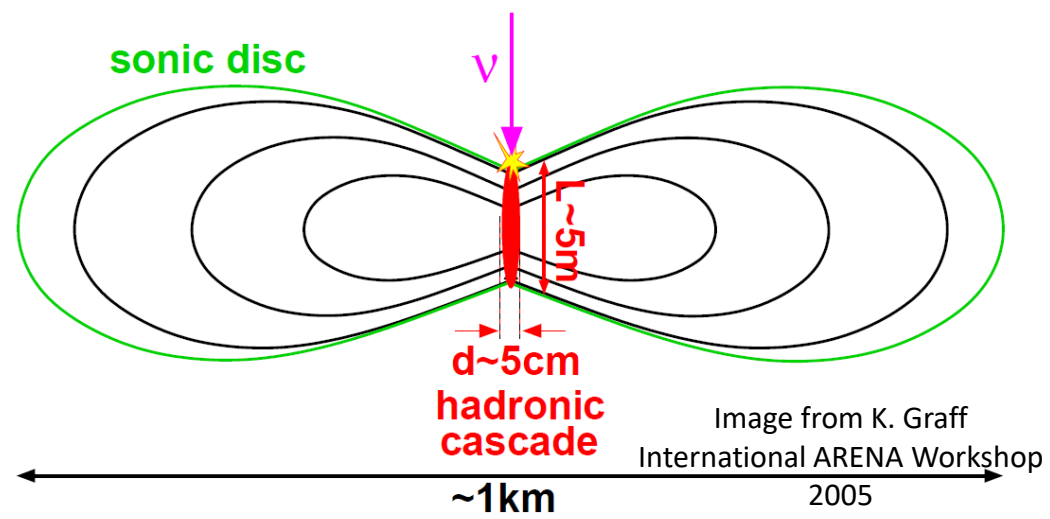
➤ Ίσως ο πλέον υποσχόμενος τρόπος ανίχνευσης νετρίνο εξαιρετικά υψηλών ενεργειών (κόστος – δυνατότητες)

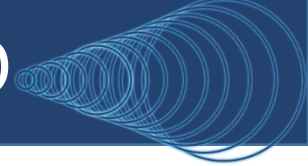


αναμενόμενο σήμα από αλληλεπιδράσεις νετρίνο

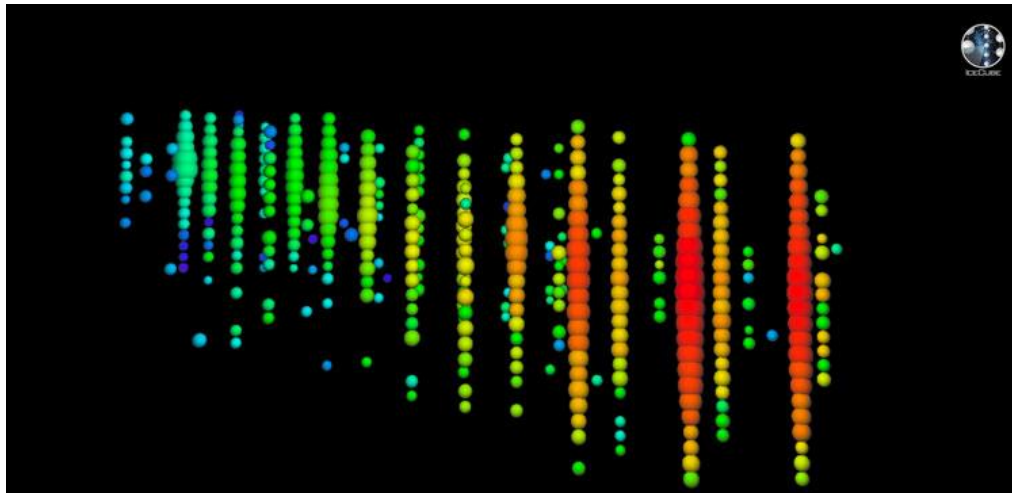
Ανάλυση ακουστικού σήματος και κατηγοριοποίηση:

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





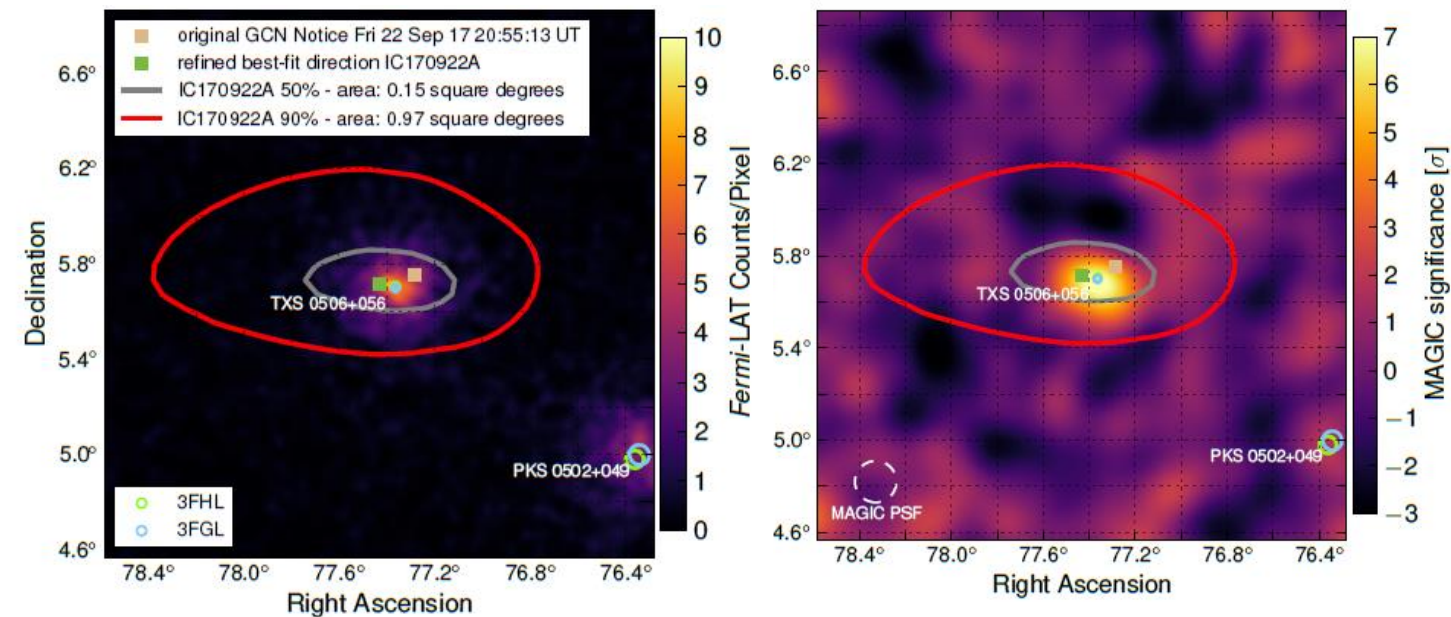
IceCube-170922A



→ IceCube Alert

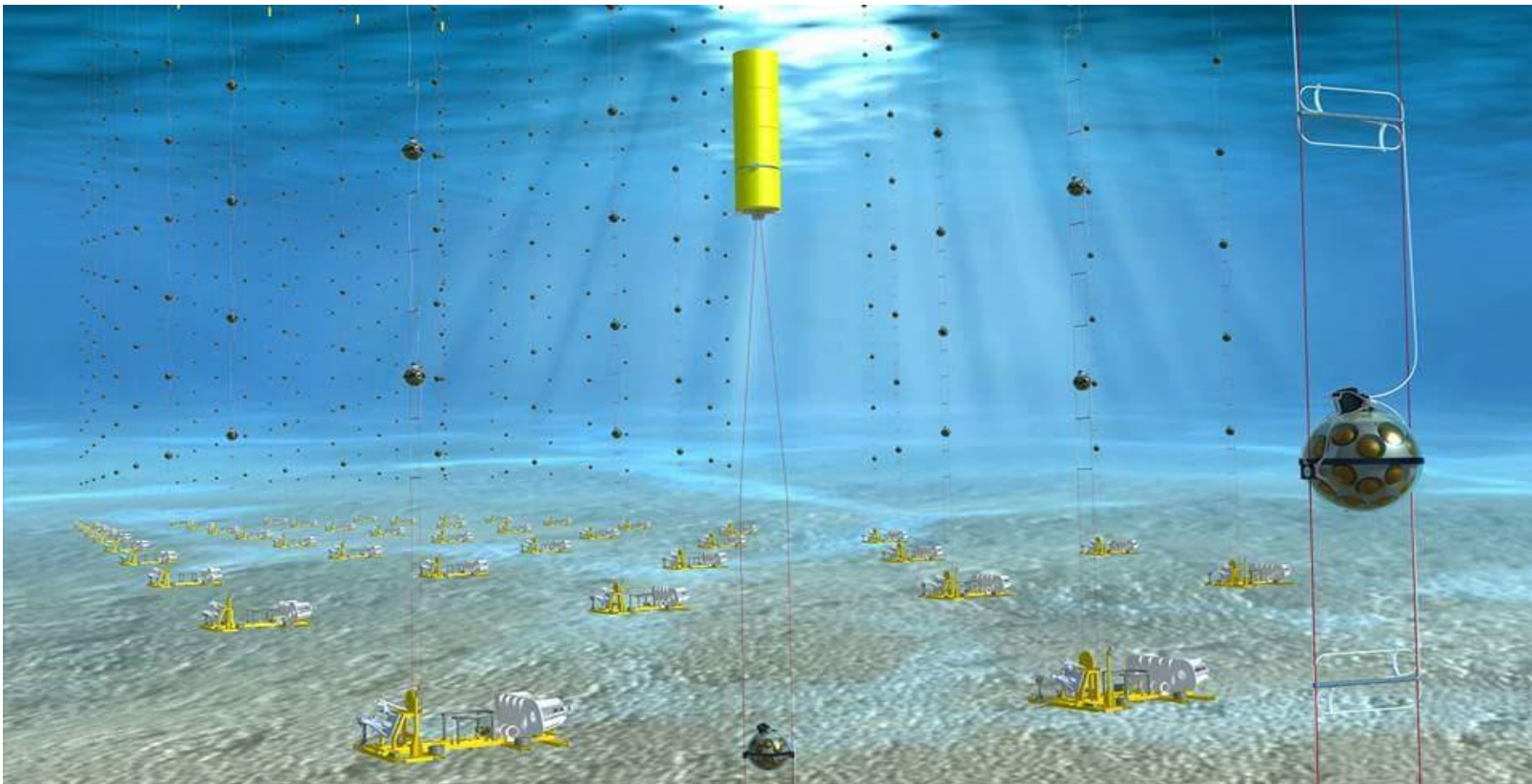
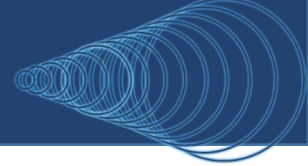
Για την εξερεύνηση των φαινομένων υψηλής ενέργειας στο σύμπαν: συνδυασμός πληροφορίας

- 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



ORCA: Oscillation Research with Cosmics In the Abyss
 Μελέτη χαμηλής ενέργειας ατμοσφαιρικών νετρίνο

ARCA: Astroparticle Research with Cosmics In the Abyss
 Ανίχνευση νετρίνο αστροφυσικής προέλευσης

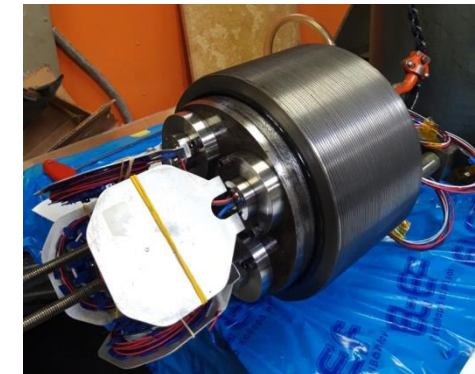
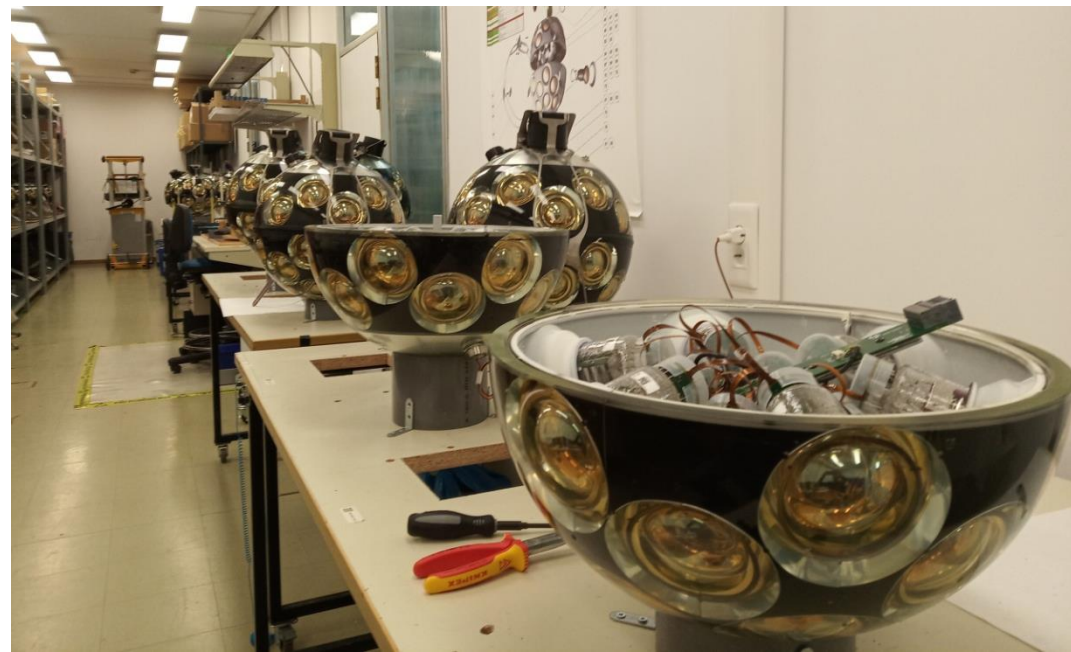
Expecting lots of new data!!



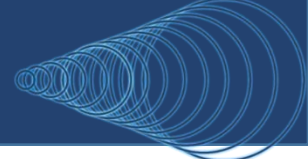
April 2021	June 2021	Sept/Oct 2021	Spring 2022
6 ARCA	6 ARCA	11 ARCA	23 ARCA
6 ORCA	10 ORCA	13 ORCA	20 ORCA

APP group: 3 ερευνητές, τεχνικό προσωπικό, 2 φυσικοί, 4 Ph.D. Students, 1 non-doctoral student

1 Diploma student + interim students



- 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

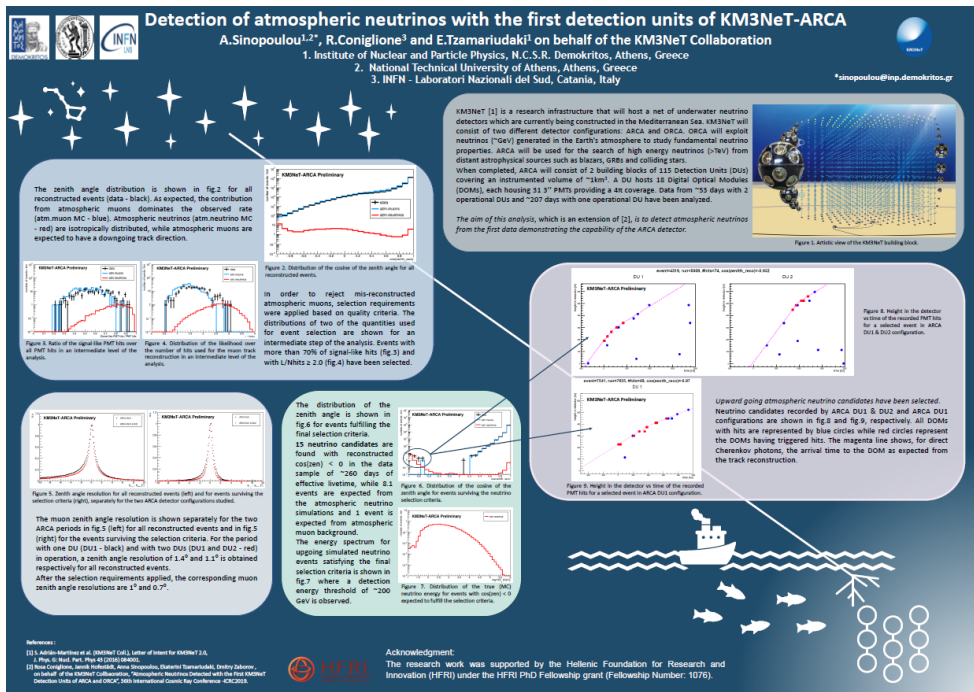


2020

Neutrinos from ARCA and ORCA

A. Sinopoulou PhD student

D. Stavropoulos PhD student



Observation of the atmospheric neutrino flux with the first detection units of KM3NeT/ORCA

Luigi Antonio Fusco¹, Jannik Hofestädt², Dimitris Stavropoulos³ on behalf of the KM3NeT Collaboration

¹ CPPM, Marseille ² ECAP, Erlangen ³ NCSR Demokritos, Athens
*luigi.fusco@cppm.in2p3.fr

The KM3NeT Detector

KM3NeT [1] is the next generation large volume neutrino detector in the Mediterranean Sea. The KM3NeT/ORCA apparatus, currently being constructed off the coasts of Southern France, will be devoted to the study of neutrino physics using atmospheric neutrino oscillations.

Data sample and Neutrino selection

4.5 months of high-quality KM3NeT/ORCA data acquired with 4 active DUs between July 2019 and January 2020 have been considered. Neutrino-induced track-like events, reconstructed as upward-going, allow for a 99%-pure neutrino sample with an event rate of 2-3 ν /day.

First neutrino oscillation results

A refined event selection [2] has been used to study neutrino oscillations. KM3NeT/ORCA data favours the hypothesis of oscillations at a significance level of roughly 2 σ by measuring the zenith-dependent differences in track-like event rates.

Additional data, collected with 6 DUs, is being analysed; events reconstructed as shower-like are being included; Particle Identification is being implemented, aiming to improve the upcoming studies of neutrino oscillation physics [3].

References

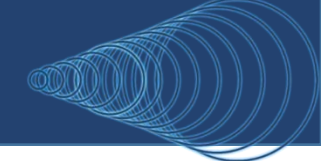
[1] <https://www.km3net.org>
 [2] J. Hofestädt et al. (KM3NeT Collaboration), PoS (ICRC2019) 910
 [3] B. Strandberg, S. Hallmann (KM3NeT Collaboration), PoS (ICRC2019) 1019

Neutrino candidates with the first deployed DUs of the KM3NeT-ARCA detector (KM3NeT.DUANA.2020.001)
 Anna Sinopoulou, Ekaterini Tzamariudaki, Christos Markou
 October 5, 2020

Neutrino candidates with the first deployed DUs of the KM3NeT-ARCA detector

KM3NeT.DUANA.2020.001 Atmospheric neutrinos with ARCA1 & ARCA2 A.Sinopoulou.v1
 Anna Sinopoulou, Ekaterini Tzamariudaki, Christos Markou
 NCSR "Demokritos", Patr. Grigoriou E' & 27 Neapoleos st., 15341, Agia Paraskevi, Greece

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

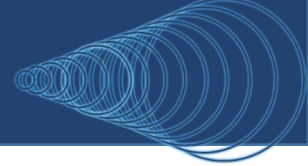


Expecting lots of new data!!

- ARCA: 6 operational DUs since April; expect 7 additional DUs in 2021
- ORCA: 6 operational DUs; 5 additional DUs by the end of 2021

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

- Συμμετοχή σε ένα πείραμα κατά τη διάρκεια της κατασκευής του
- Συλλογή και ανάλυση δεδομένων από τους ανιχνευτές ARCA & ORCA
 - Έλεγχος της απόκρισης του ανιχνευτή, βαθμονόμηση
- ☐ 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



Expecting lots of new data!!

- νεutrino αστροφυσικής προέλευσης
- νεutrino που παράγονται στην ατμόσφαιρα
- μίονια που παράγονται στην ατμόσφαιρα

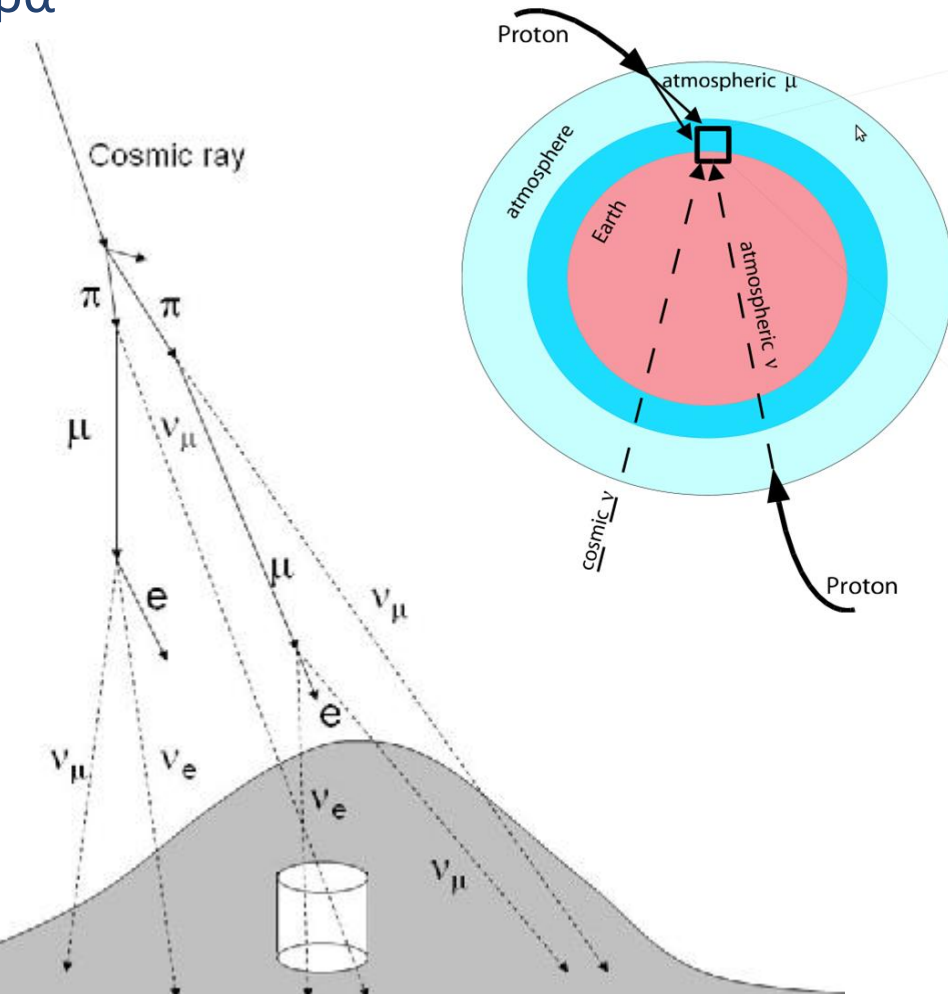
→ **σήμα**

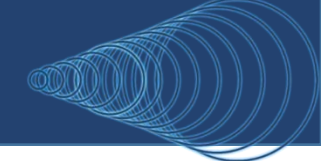
→ **υπόβαθρο**

Υπόβαθρο: Ατμοσφαιρικά μίονια και νεutrino:
 προϊόντα αδρονικών αλληλεπιδράσεων των φορτισμένων
 κοσμικών ακτίνων με τα μόρια της ατμόσφαιρας.

□ ARCA & ORCA data: atmospheric neutrino candidates
 (atmospheric muon background suppression)

- σύγκριση της ροής με τη ροή που αναμένεται από τα διαφορετικά μοντέλα που περιγράφουν τους κοσμικούς καταιονισμούς

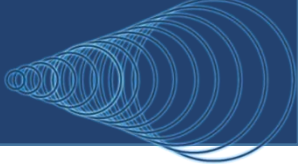




Expecting lots of new data!!

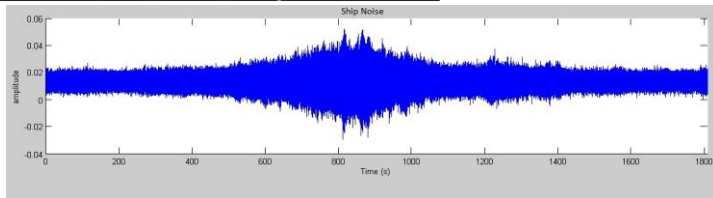
- ARCA: 6 operational DUs since April; expect 7 additional DUs in 2021
- ORCA: 6 operational DUs; 5 additional DUs by the end of 2021

- ❑ ARCA & ORCA data: atmospheric neutrino candidates (atmospheric muon background suppression)
- ❑ 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.



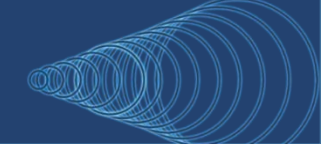
Expecting lots of new data!!

- ARCA: 6 operational DUs since April; expect 7 additional DUs in 2021
- ORCA: 6 operational DUs; 5 additional DUs by the end of 2021



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.



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

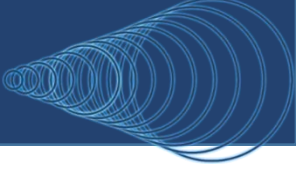
Μπορείτε να συμμετέχετε σε αυτή τη συναρπαστική εποχή!!

Γνωρίστε το APP group:

- Συμμετοχή σε ένα πείραμα κατά τη διάρκεια της κατασκευής του
- Συλλογή και ανάλυση δεδομένων από τους ανιχνευτές ARCA & ORCA
- Μελέτη της ροής νετρίνο χρησιμοποιώντας εξελιγμένα εργαλεία ανάλυσης δεδομένων
- Εξοικείωση με μεθόδους μηχανικής μάθησης (BDTs, RFs, ...)
- Ανίχνευση νετρίνο από αστροφυσικές πηγές!
- **Lots of fun!!**

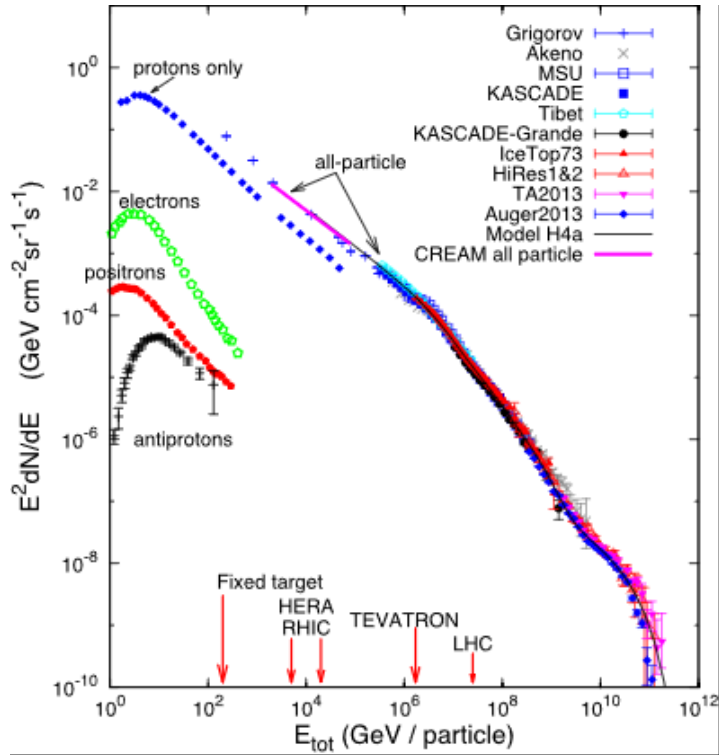
- ❑ Χρήστος Μάρκου (cmarkou@inp.demokritos.gr)
- ❑ Αικατερίνη Τζαμαριουδάκη (katerina@inp.demokritos.gr)





Backup

Cosmic Rays

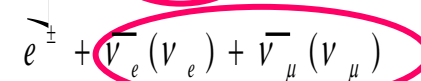
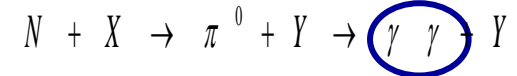
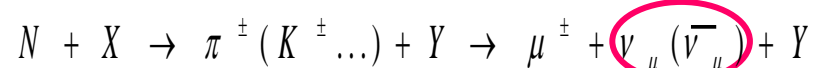


acceleration sources remain mostly unknown

origin of UHE cosmic rays

production mechanism of HE gamma-rays (hadronic or leptonic)

ν and γ produced in the interaction of high energy nucleons with matter or radiation



cosmic ray acceleration yields neutrinos and gammas with similar abundance and energy spectra

