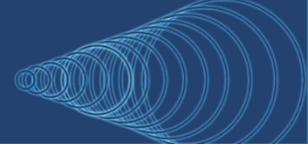


Αστροσωματιδιακή Φυσική στο ΙΠΣΦ

Κατερίνα Τζαμαριουδάκη
Χρήστος Μάρκου

28/01/2020



Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930
Gloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich huldvollst anzuhören bitte, Ihnen des näheren auseinandersetzen wird, bin ich angesichts der "falschen" Statistik der N- und Li-6 Kerne, sowie des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verzweifelten Ausweg verfallen um den "Wechselsatz" (1) der Statistik und den Energiesatz zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren, welche den Spin 1/2 haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen müsste von derselben Grossenordnung wie die Elektronenmasse sein und jedenfalls nicht grösser als 0,01 Protonenmasse.- Das kontinuierliche beta-Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron konstant ist.

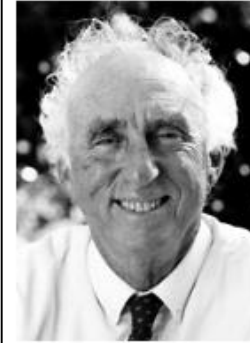
Wolfgang Pauli – 1930



Cowan–Reines neutrino experiment – 1956



The Nobel Prize in Physics 1995



Martin L. Perl
Prize share: 1/2



© University of California Regents
Frederick Reines

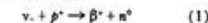
20 July 1956, Volume 124, Number 3212

SCIENCE

Detection of the Free Neutrino: a Confirmation

C. L. Cowan, Jr., F. Reines, F. B. Harrison,
H. W. Kruse, A. D. McGuire

A tentative identification of the free neutrino was made in an experiment performed at Hanford (1) in 1953. In that work the reaction



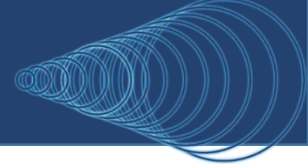
was employed wherein the intense neutrino flux from fission-fragment decay

present work was done (3). This work confirms the results obtained at Hanford and so verifies the neutrino hypothesis suggested by Pauli (4) and incorporated in a quantitative theory of beta decay by Fermi (5).

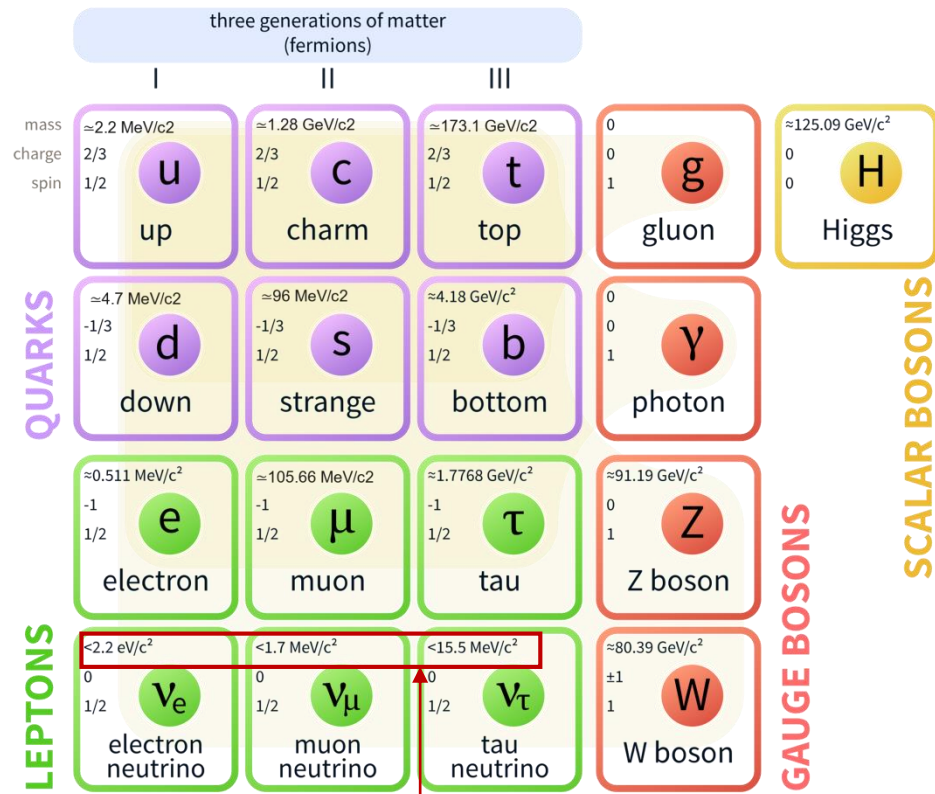
In this experiment, a detailed check of each term of Eq. 1 was made using a

both triads. The detector was completely enclosed by a paraffin and lead shield and was located in an underground room of the reactor building which provides excellent shielding from both the reactor neutrons and gamma rays and from cosmic rays.

The signals from a bank of preamplifiers connected to the scintillation tanks were transmitted via coaxial lines to an electronic analyzing system in a trailer van parked outside the reactor building. Two independent sets of equipment were used to analyze and record the operation of the two triad detectors. Linear amplifiers fed the signals to pulse-height selection gates and coincidence circuits. When the required pulse amplitudes and coincidences (prompt and delayed) were satisfied, the sweeps of two triple-beam oscilloscopes were triggered, and the pulses from the complete event were recorded photographically. The three beams of both oscilloscopes recorded signals from their respective scintillation



Standard Model of Elementary Particles



The Nobel Prize in Physics 2015



Photo: A. Mahmoud
Takaaki Kajita
Prize share: 1/2

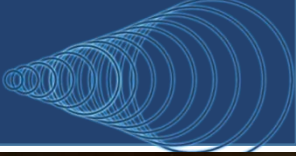


Photo: A. Mahmoud
Arthur B. McDonald
Prize share: 1/2

The Nobel Prize in Physics 2015 was awarded jointly to Takaaki Kajita and Arthur B. McDonald "for the discovery of neutrino oscillations, which shows that neutrinos have mass"

Το καθιερωμένο πρότυπο προβλέπει ότι τα νετρίνο ΔΕΝ έχουν μάζα

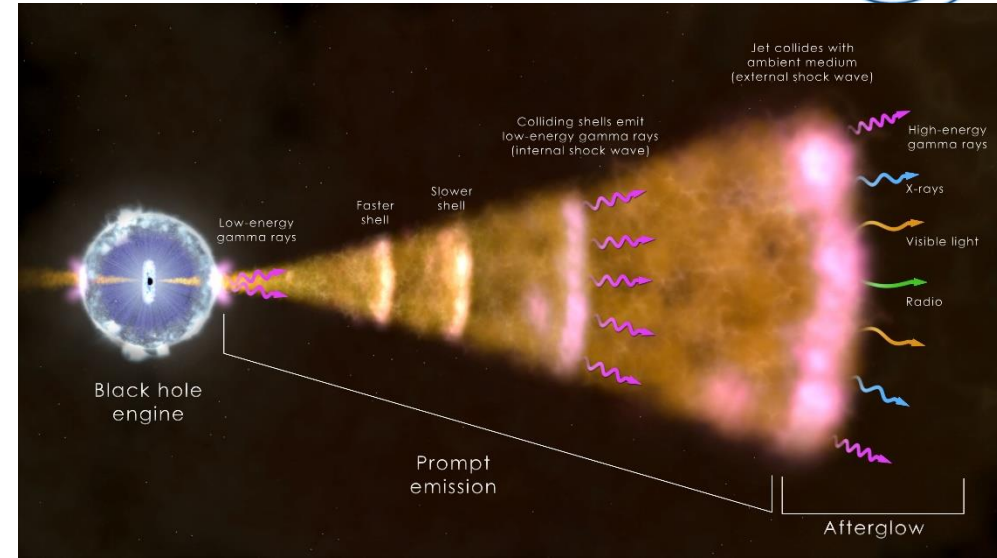
Κι όμως ΈΧΟΥΝ μάζα!



AGNs

Starburst Galaxies
Galaxy Clusters
Mergers

Cosmic Rays



GRBs

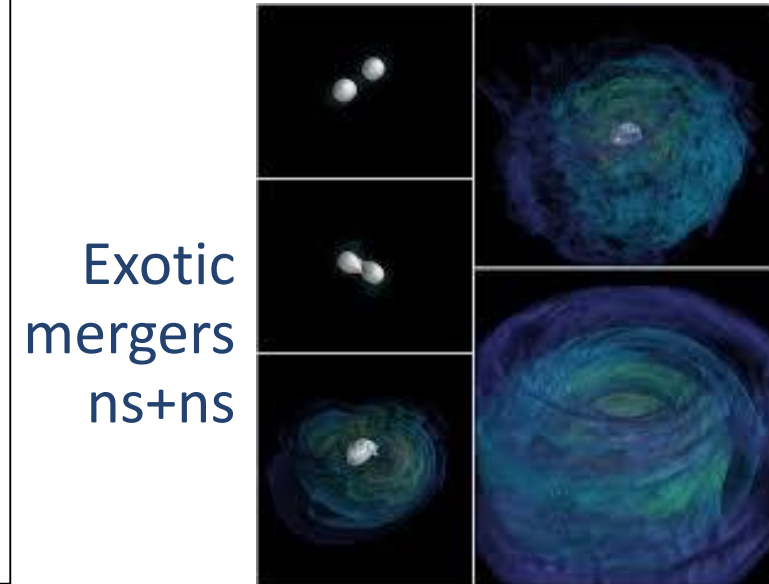


Supernovae
Hypernovae

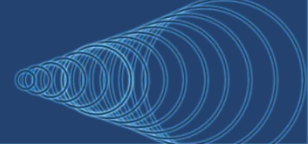
Παραγωγή νετρίνο στις περιοχές όπου αδρόνια επιταχύνονται σε υψηλές ενέργειες

Παλαιότερα αστροφυσικά μοντέλα:
Λεπτονικά!

Πιο σύγχρονα: Μείξη λεπτονίων με αδρόνια



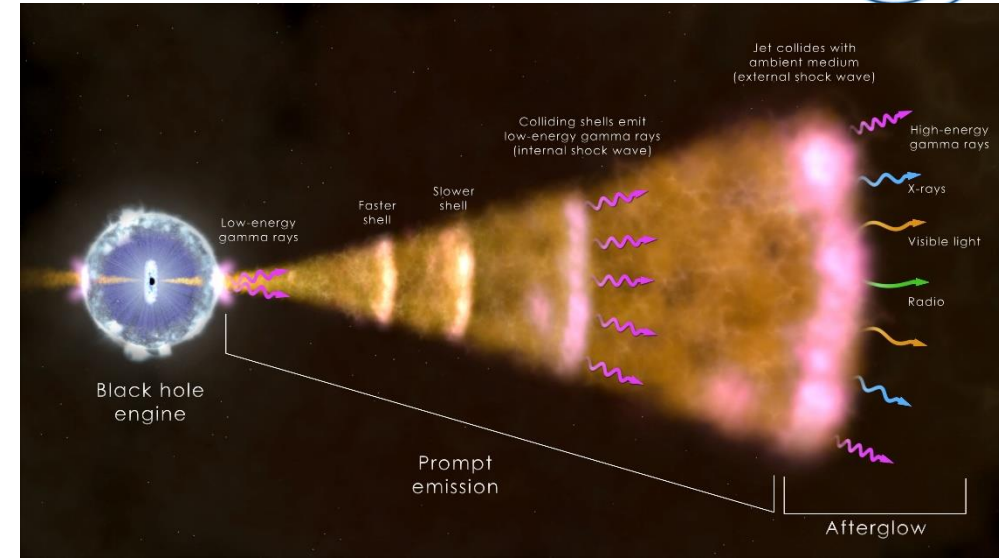
Exotic
mergers
ns+ns



AGNs

Starburst Galaxies
Galaxy Clusters
Mergers

Cosmic Rays



GRBs



Supernovae
Hypernovae

Επιτάχυνση αδρονίων $\rightarrow \nu$

$$p^+ + (p^+ \text{ ή } \gamma) \rightarrow \dots + \pi^\pm / K^\pm + \dots$$

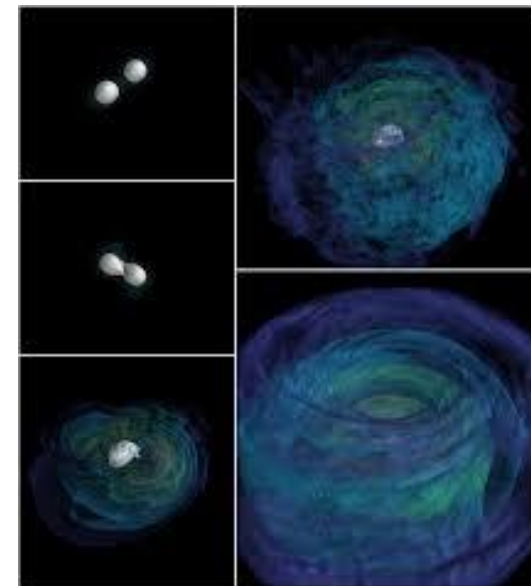
$$\pi^\pm / K^\pm \rightarrow \dots + \nu_\mu / \bar{\nu}_\mu + \mu^\pm + \dots$$

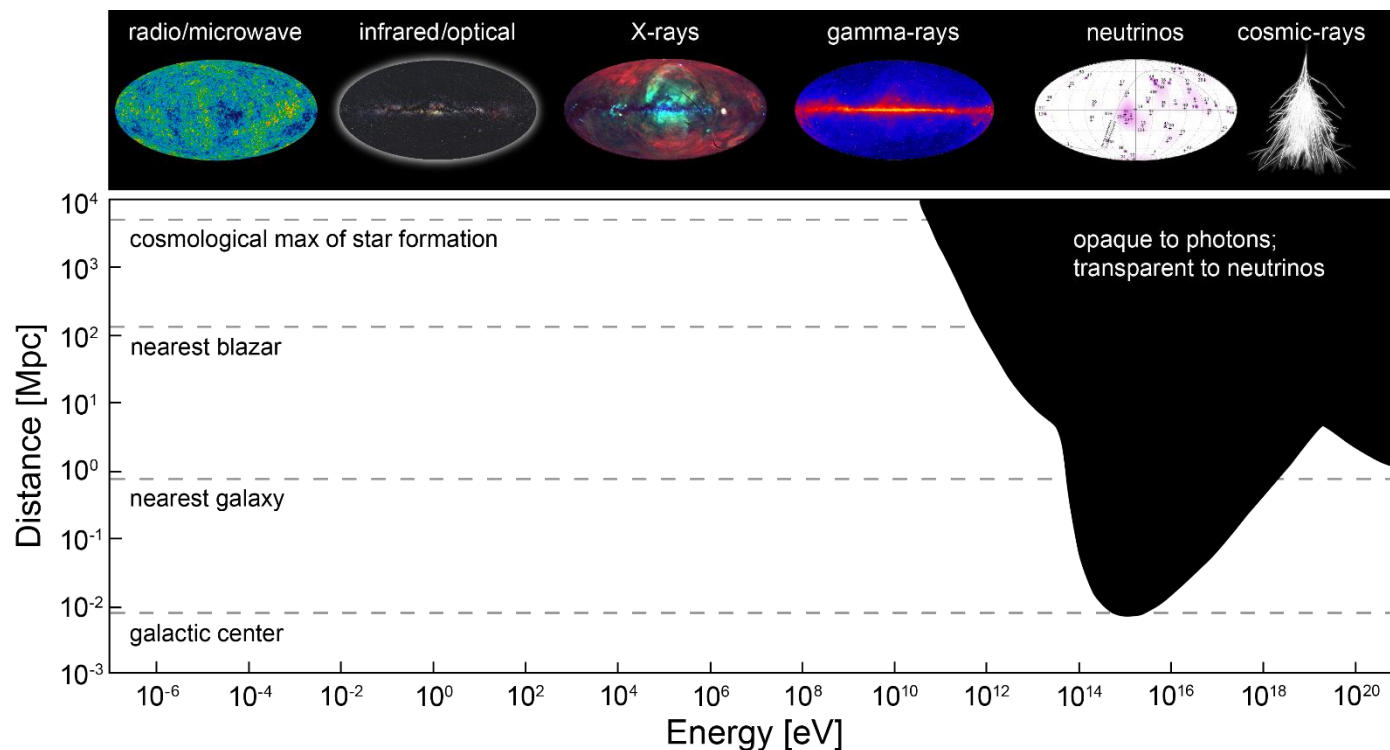
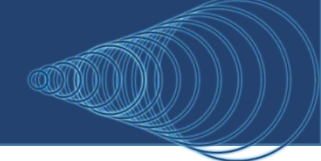
$$\mu^\pm \rightarrow e^\pm + \bar{\nu}_\mu / \nu_\mu + \nu_e / \bar{\nu}_e + \dots$$

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

Exotic
mergers
ns+ns



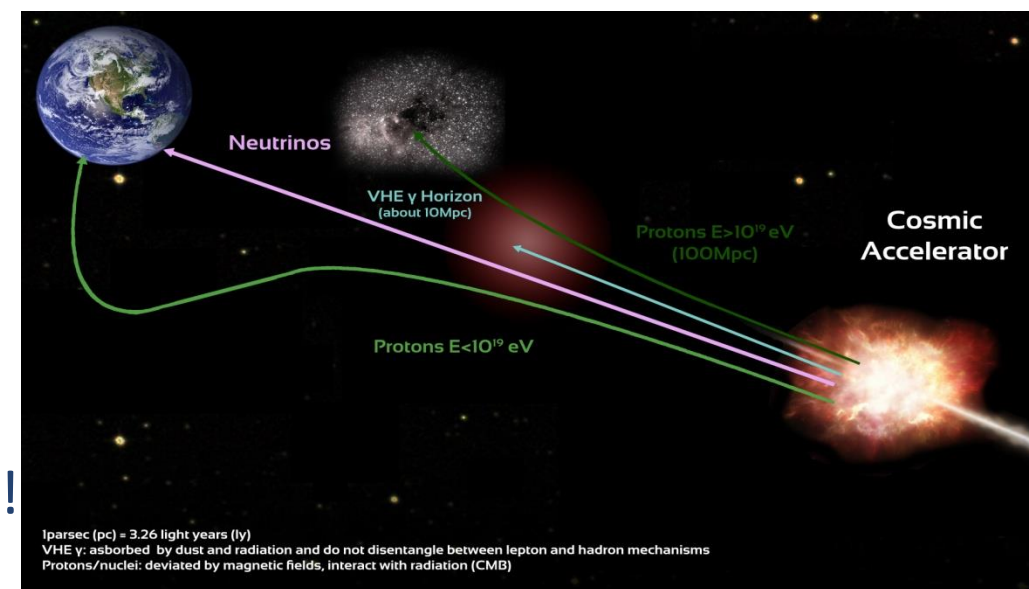


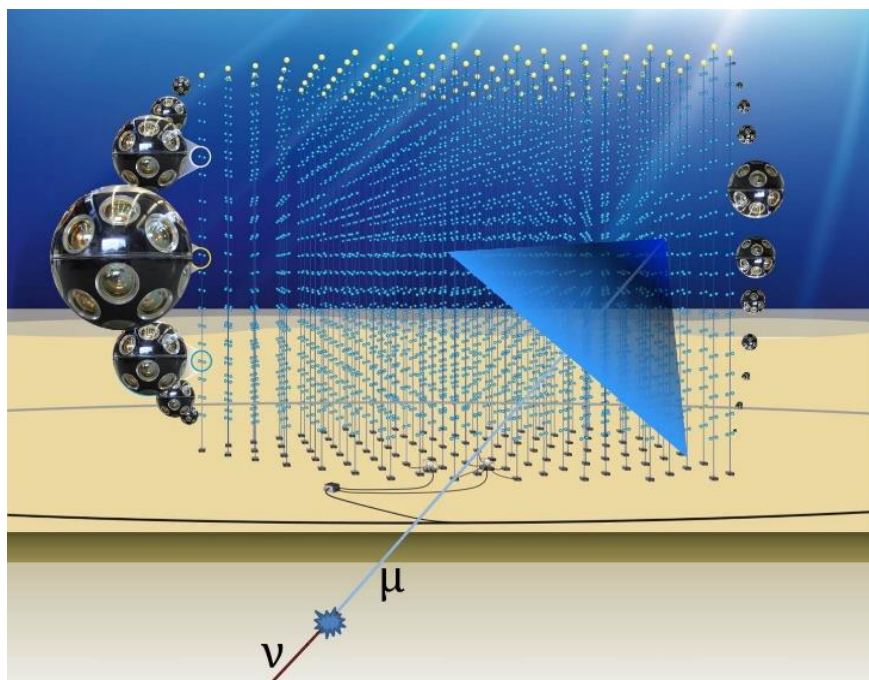
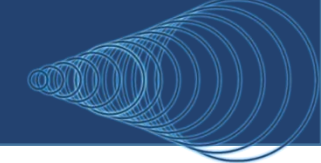
Για την εξερεύνηση των φαινομένων υψηλής ενέργειας στο σύμπαν απαιτείται συνδυασμός πληροφορίας από:

- φωτόνια
- νεutrίνο
- βαρυτικά κύματα
- κοσμικές ακτίνες

$\nu \rightarrow$ Αλληλεπιδρούν αποκλειστικά μέσω ασθενούς αλληλεπίδρασης κατά το ΚΠ

- Ταξιδεύουν σε ευθύγραμμες τροχιές!
- Πρακτικά, δεν απορροφώνται από την μεσοαστρική ύλη!

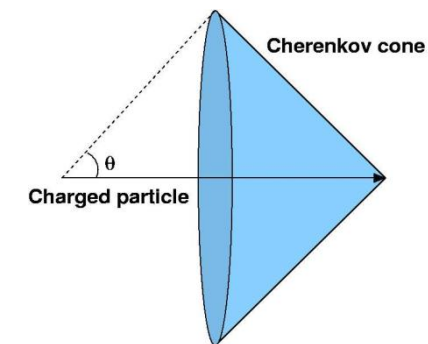




Τα νετρίνα αλληλεπιδρούν με:

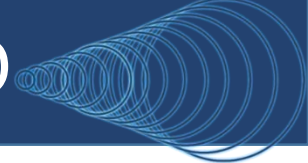
- Αλληλεπίδραση φορτισμένου ρεύματος παράγοντας τα αντίστοιχα λεπτόνια
- Αλληλεπίδραση ουδέτερου ρεύματος παράγοντας αδρονικό καταιγισμό

Τα λεπτόνια που παράγονται εκπέμπουν ακτινοβολία Cherenkov

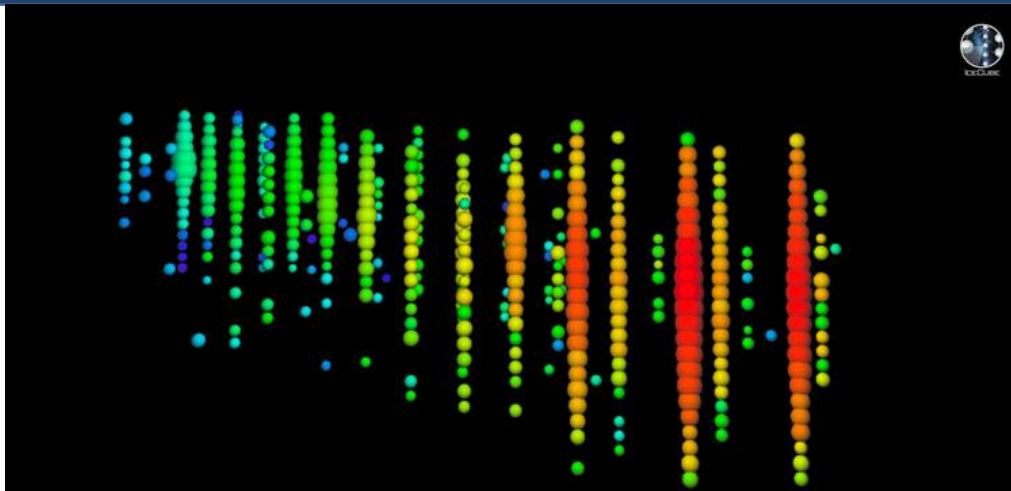


- Χρησιμοποιούμε τη Γη ως στόχο
- Σωματίδια με ανοδική πορεία προέρχονται σίγουρα απο νετρίνα!

Ανακατασκευάζοντας τις τροχιές των μιονίων ή τους καταιγισμούς μπορεί να εντοπιστεί η κατεύθυνση του νετρίνου



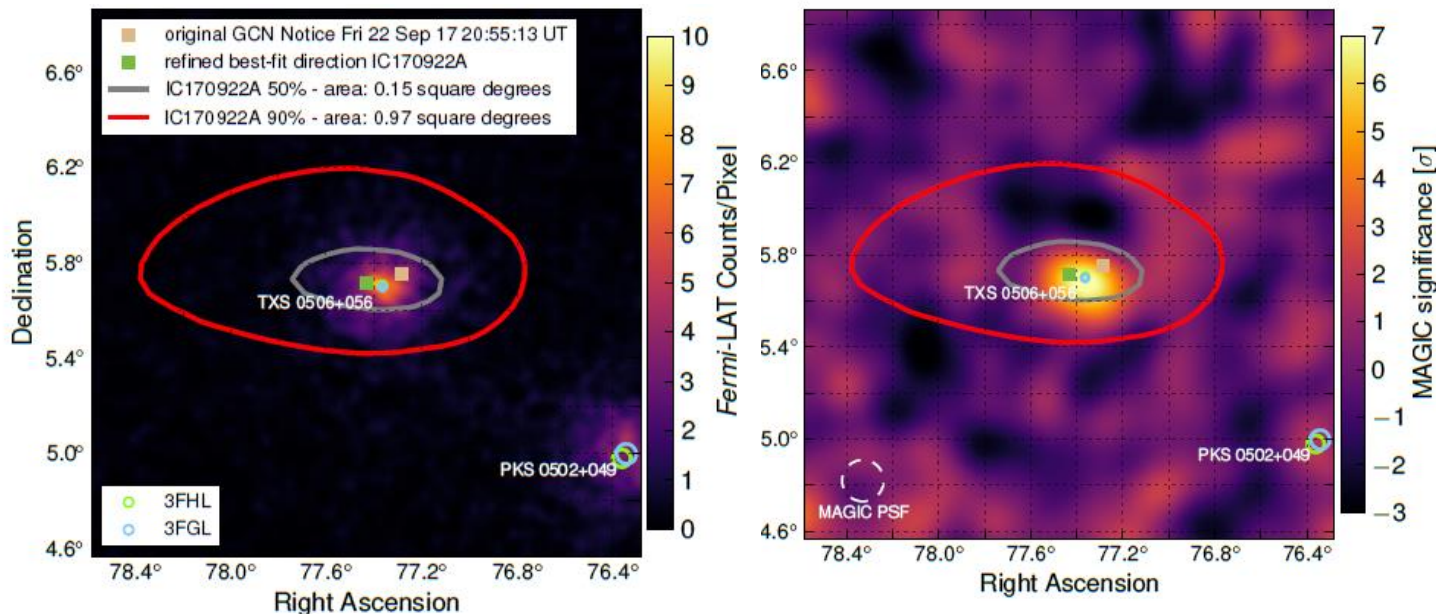
Event
IceCube-
170922A



→ IceCube Alert

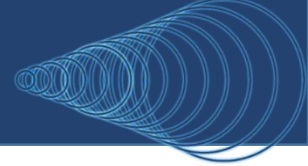
Για την εξερεύνηση των φαινομένων υψηλής ενέργειας στο σύμπαν απαιτείται συνδυασμός πληροφορίας από:

- φωτόνια
- νετρίνο
- βαρυτικά κύματα
- κοσμικές ακτίνες

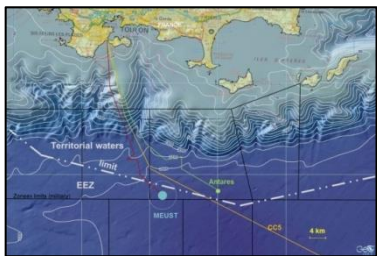


Στις 22/09/2017 νετρίνο ενέργειας ~ 300 TeV ανιχνεύθηκε από το τηλεσκόπιο νετρίνο IceCube.

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



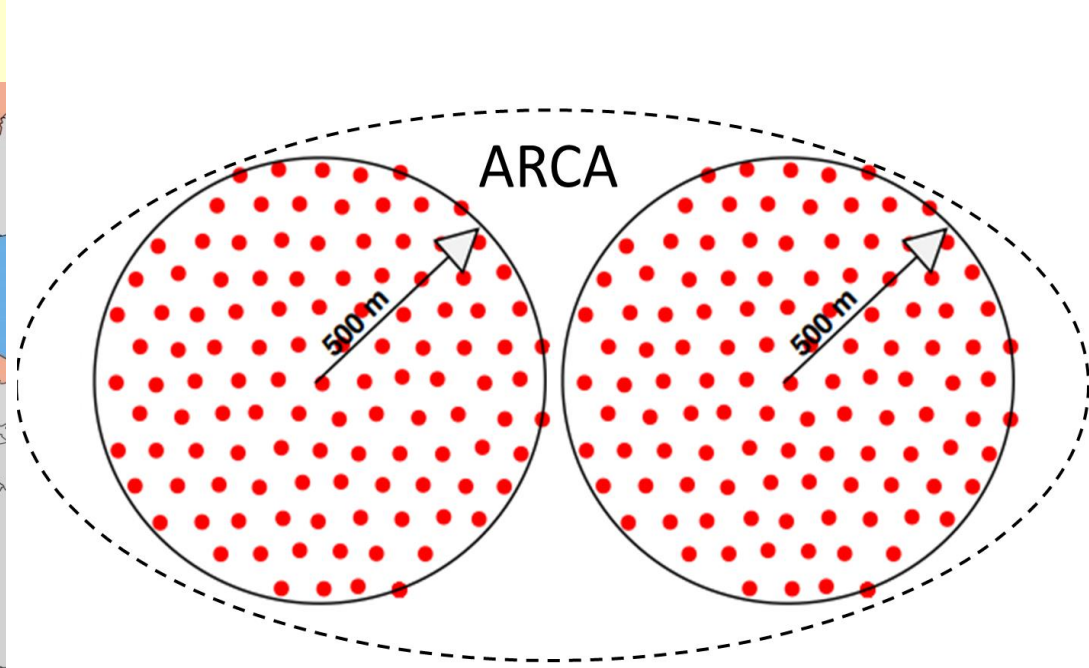
> 50 Institutes from 17 countries in 4 continents



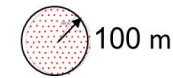
Oscillation Research with Cosmics In the Abyss
Low-energy studies of atmospheric neutrinos



Astroparticle Research with Cosmics In the Abyss
High-energy neutrino astrophysics

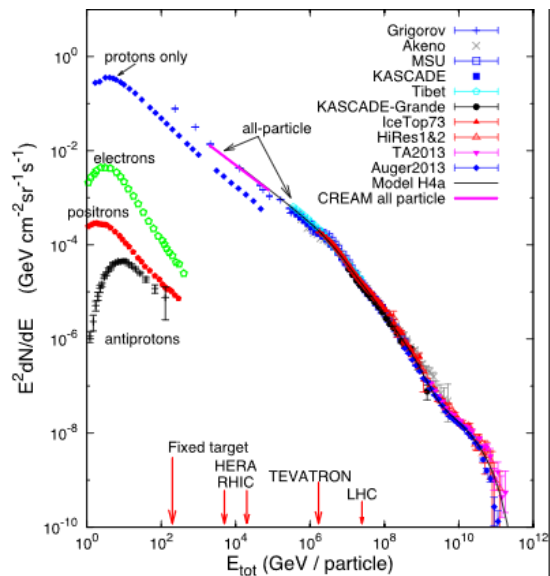


ORCA



Detection Unit (DU)

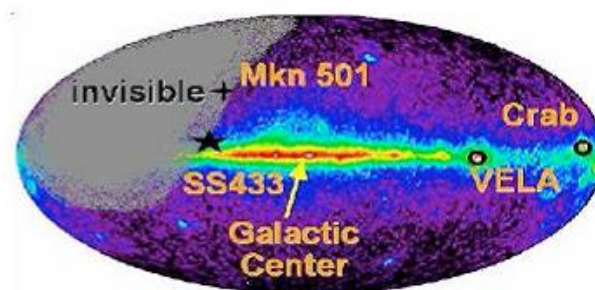
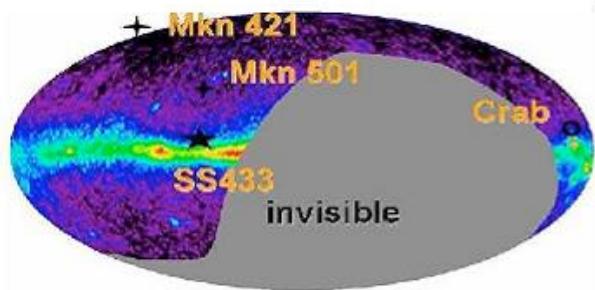
Cosmic Rays



KM3NeT-ARCA

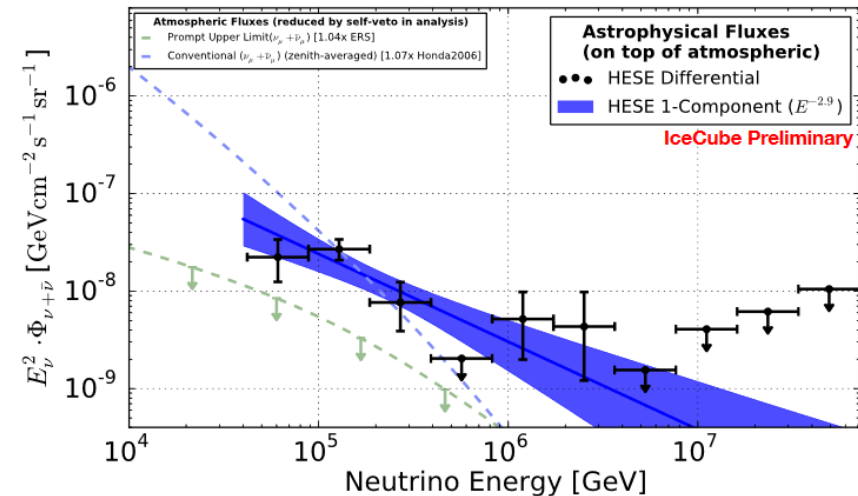
- Sky maps with unprecedented angular resolution
 - tracks @ 10 TeV : $\sim 0.1^\circ$
 - cascades @ 10 TeV : $< 2^\circ$

- High visibility ($\sim 70\%$) of the Galactic Centre



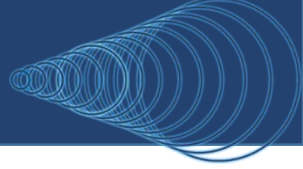
- Confirm measured astrophysical neutrino flux by IceCube
- Multi-messenger astronomy

Astrophysical Neutrino Flux (IceCube)



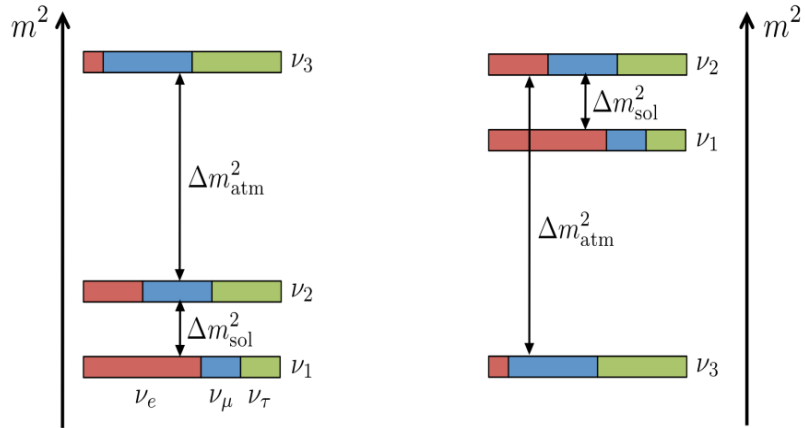
from C. Kopper NOW 2018

Το τηλεσκόπιο νετρίνο IceCube (στον πάγο της Ανταρκτικής) παρατηρεί νετρίνο με ενέργειες έως $\sim 10^8 \text{ GeV}$ – αλλά η προέλευση των νετρίνο αυτών δεν είναι γνωστή



normal ordering (NO)

inverted ordering (IO)



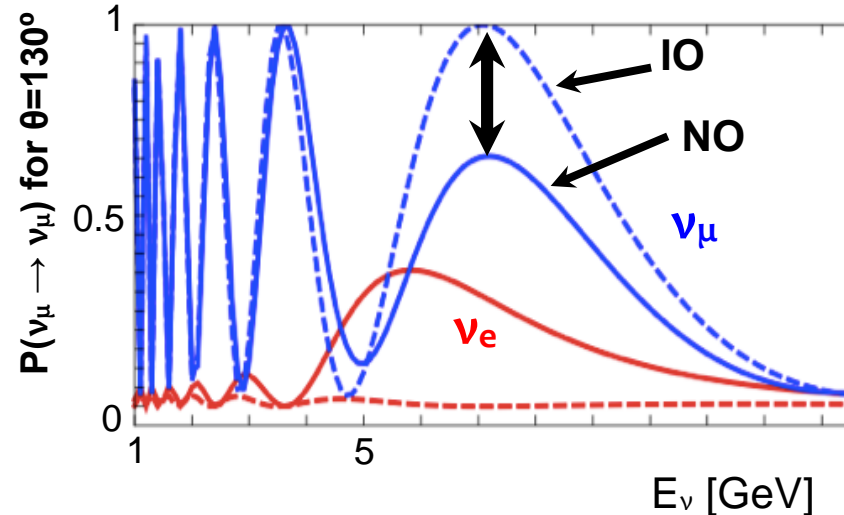
Atmospheric neutrinos:

"free beam" of known composition (ν_e , ν_μ)

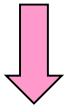
Oscillation pattern distorted by Earth matter effects
maximum difference for $\theta=130^\circ$ (7645 km) and $E_\nu = 7$ GeV

KM3NeT-ORCA: Oscillation Research with Cosmics in the Abyss

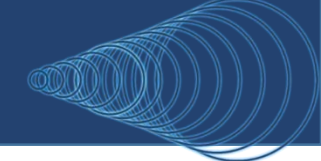
measuring the neutrino mass ordering (MC Simulation)



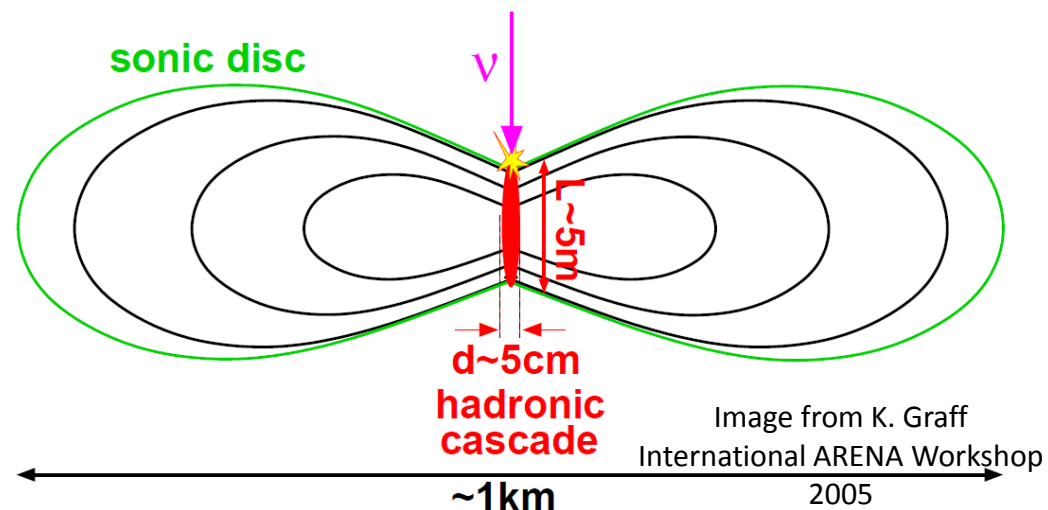
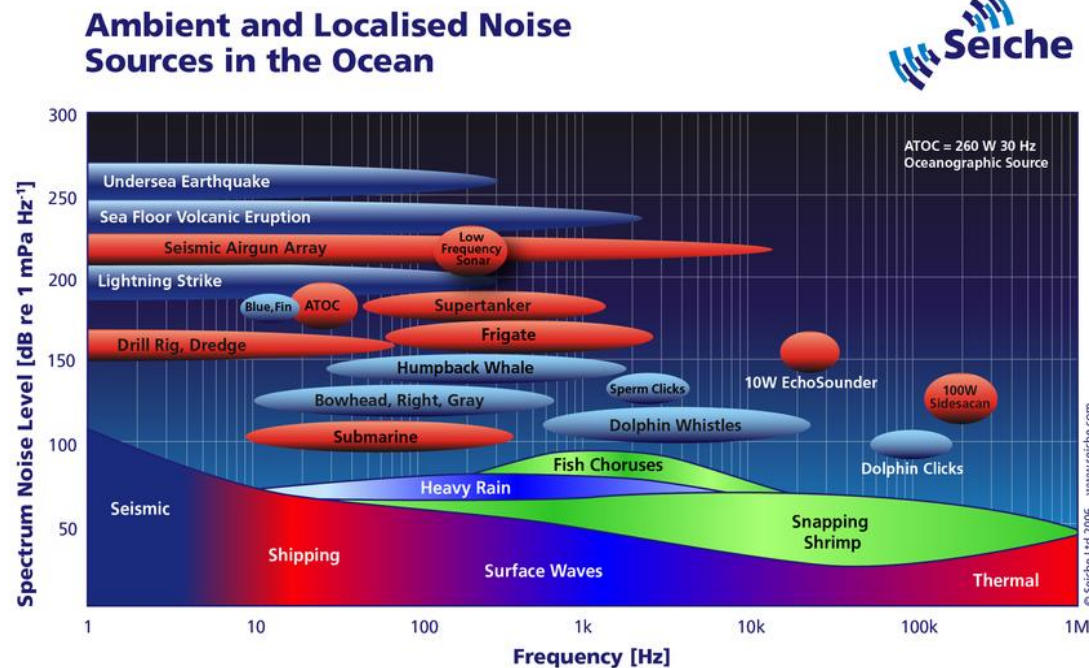
Measure θ and E_ν for upgoing atmospheric neutrinos (GeV scale)



Treatment of systematics is important

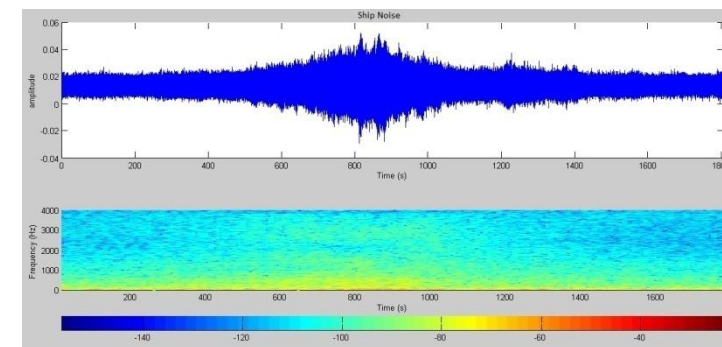
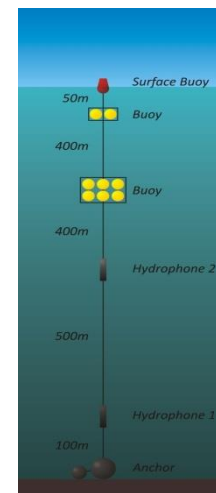


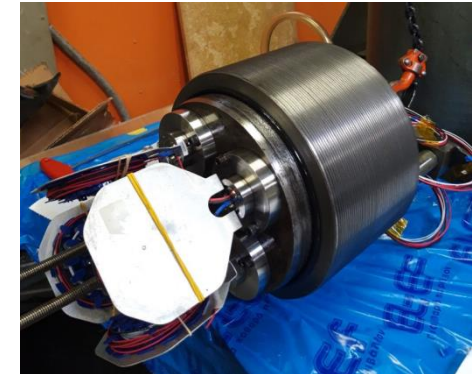
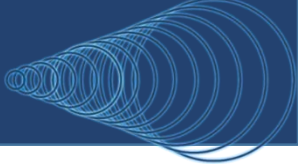
➤ Ίσως ο πλέον υποσχόμενος τρόπος ανίχνευσης νετρίνο εξαιρετικά υψηλών ενεργειών (κόστος – δυνατότητες)



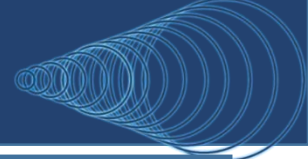
Ανάλυση ακουστικού σήματος και κατηγοριοποίηση:

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





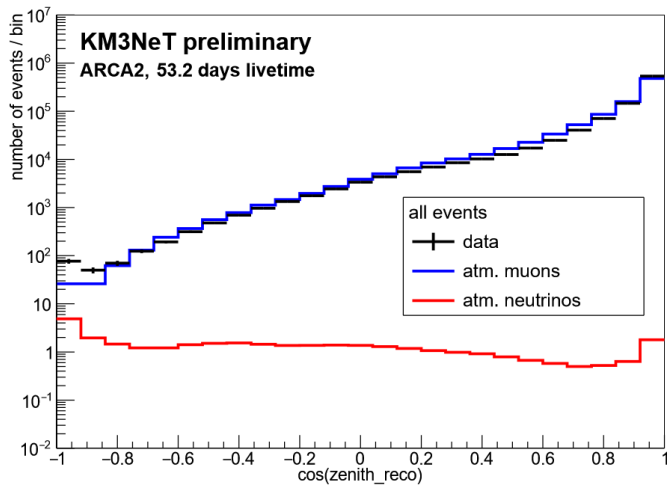
- Κατασκευή και έλεγχος οπτικών στοιχείων του πειράματος KM3NeT
- Συμμετοχή στη βαθμονόμηση και τον έλεγχο συνιστωσών των DOMs
- Έλεγχος της αντοχής των συνιστωσών των DOMs στην πίεση της βαθιάς θάλασσας



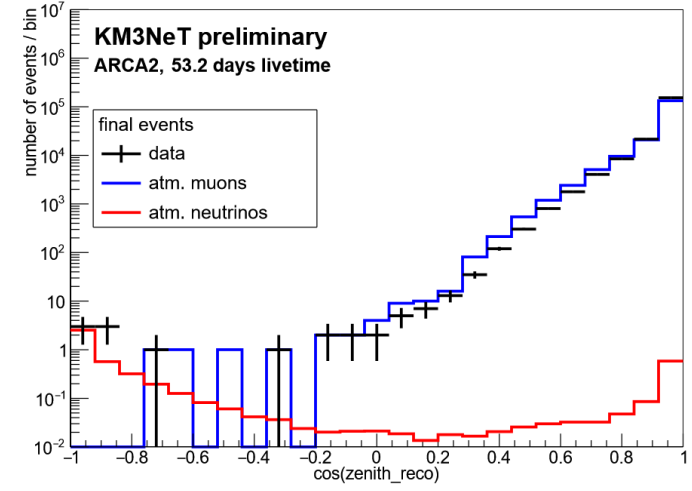
APP group: 2(+1) ερευνητές, τεχνικό προσωπικό, 2 φυσικοί, 3 Ph.D. Students, 1 non-doctoral student

atmospheric neutrino candidates from the first 2 KM3NeT/ARCA DUs

All reconstructed events



Selected events

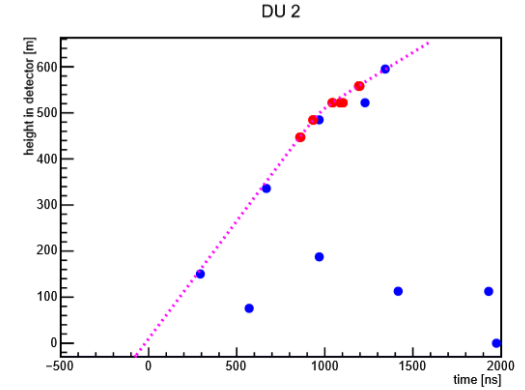
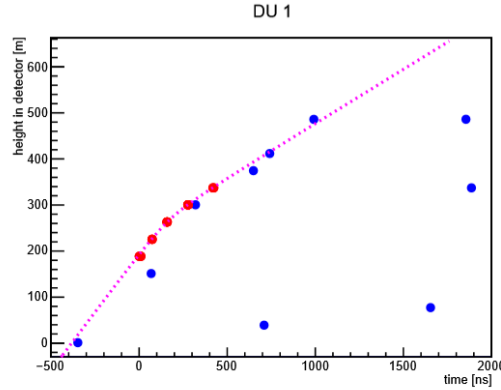


A. Sinopoulou



Neutrino event candidate

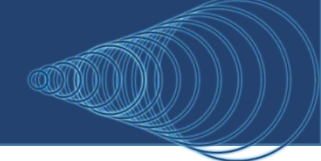
event=4319, run=5009, #hits=74, cos(zenith_reco)=-0.932



- KM3NeT official analysis/results
- Analysis presented in the International Cosmic Ray Conference – ICRC 2019

Expecting lots of new data!!

- ARCA: 12 operational DUs before summer 2021
- ORCA: 6 operational DUs (next sea campaign); 7 additional DUs by the end of 2021



Expecting lots of new data!!

- ARCA: 12 operational DUs before summer 2021
- ORCA: 6 operational DUs (since yesterday); 7 additional DUs by the end of 2021

☐ 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 νεutrino που έρχονται διαμέσου της Γης
- Data/ MC comparisons: σύγκριση της ροής ατμοσφαιρικών μιονίων με τη ροή που αναμένεται από τα διαφορετικά μοντέλα που περιγράφουν τους κοσμικούς καταιονισμούς

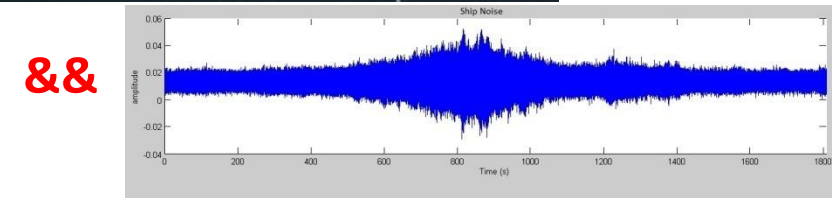
☐ Simulation studies: αναγνώριση της τοπολογίας των γεγονότων (track – shower differentiation) χρησιμοποιώντας μεθόδους μηχανικής μάθησης, βελτιστοποίηση της ικανότητας ανακάλυψης διάχυτης ροής νεutrino αστροφυσικής προέλευσης

☐ Multi-messenger astronomy: Για την εξερεύνηση των φαινομένων υψηλής ενέργειας στο σύμπαν απαιτείται συνδυασμός της πληροφορίας από φωτόνια, κοσμικές ακτίνες, βαρυτικά κύματα και νεutrino.



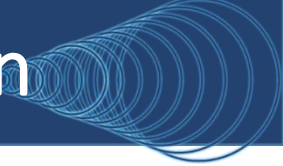
Expecting lots of new data!!

- ARCA: 12 operational DUs before summer 2021
- ORCA: 6 operational DUs (since yesterday); 7 additional DUs by the end of 2021



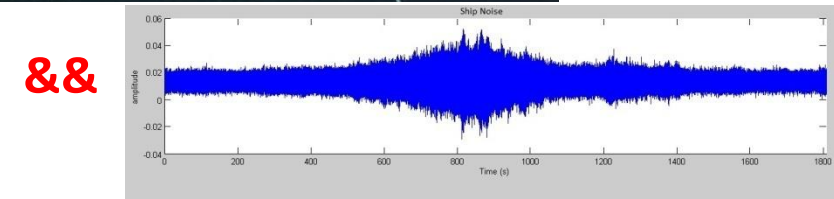
Acoustic neutrino detection: expecting new activities!!!

- ❑ 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.



Expecting lots of new data!!

- ARCA: 12 operational DUs before summer 2021
- ORCA: 6 operational DUs (since yesterday); 7 additional DUs by the end of 2021



Acoustic neutrino detection: expecting new activities!!!

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