

Raport stiintific

privind implementarea proiectului Particule exotice super-masive in telescoape pentru neutrini in perioada ianuarie – decembrie 2012

In perioada acoperita de prezentul raport, activitatile desfasurate corespund obiectivelor:

- O1.** Cautarea monopolilor magnetici GUT cu telescopul de neutrini ANTARES cu extensie la KM3NeT
- O2.** Cautarea nuclearitilor cu telescopul de neutrini ANTARES cu extensie la KM3NeT
- O4.** Ivestigarea impactului rezultatelor proiectului asupra fizicii dincolo de Modelul Standard si cosmologie.

Activitatile desfasurate corespund planificarii initiale pentru perioada de raportare. In acest Raport trecem in revista activitatile efectuate si rezultatele obtinute, organizat in functie de obiective.

Caracterisiicile generale ale telescopului ANTARES relevante pentru detectarea particulelor exotice suepr-masive

Experimentul ANTARES este dedicat astronomiei cu neutrini si este localizat in Marea Mediterana, la o adancime de 2475 m, la 40 km de orasul francez Toulon. ANTARES este alcatuit dintr-un numar de 885 fotomultiplicatori (FMT). distribuiti in etaje de cate trei FMT, pe 12 linii ancorate in mare. Pana la instalarea sa completa cu 12 linii de detectie in mai 2008, ANTARES a functionat cu configuratii partiale de 5 linii, in 2007 si de 9 si 10 linii, in 2008. Sistemul de achizitie de date al experimentului trimite la tarm toate semnalele de la fotomultiplicatori cu amplitudini mai mari decat o valoare de prag predefinita de 0.3 fotoelectroni. Datele brute sunt filtrate de diferiti algoritmi si apoi sunt stocate. Informatia de timp si sarcina electrica provenita de la fotomultiplicatori este digitizata in semnale de nivel 0, numite semnale L0. Algoritmii standard de selectie a muonilor se bazeaza pe cautarea de coincidente locale. Acestea sunt numite si semnale L1 si sunt definite fie ca doua semnale L0 detectate pe acelasi etaj (tripleta de fotomultiplicatori) intr-un interval de 20 ns, fie ca un semnal cu sarcina electrica mare, deasupra unui prag de 3 sau 10 fotoelectroni. Astfel, trigger-ul directional TD utilizeaza cel putin 5 semnale L1 corelate in spatiu si timp, iar trigger-ul cluster TC cauta o pereche de clustere de semnale L1 in 2 din 3 etaje consecutive, intr-o fereastra de timp de 2.2 μ s, timpul caracteristic de traversare a detectorului de catre o particula relativista.

KM3NeT este proiectul unui alt telescop de neutrini, de dimensiuni mult mai mari (6 km³ volum instrumentat) ce urmeaza a fi construit in Marea Mediterana. Desi unele solutii tehnice sunt diferite, principiul de detectie este acelasi. O data definita geometria modulelor KM3NeT, rezultatele obtinute in acest proiect vor fi usor de aplicat in cazul KM3NeT.

Cautarea monopolilor magnetici GUT cu telescopul de neutrini ANTARES cu extensie la KM3NeT

Simetria între câmpurile electrice și cele magnetice în ecuațiile lui Maxwell sugerează faptul că sarcinile electrice pot avea corespondenți magnetici, care poartă denumirea de monopoli magnetici, iar prima cuantificare a sarcinii magnetice a fost găsită de către Dirac. Toate teoriile care unifică forțele din natură prevăd existența monopolilor supermasivi. Considerând doar monopoli masivi, produși la începutul universului, se poate prezice teoretic o violare a numărului barionic în procese de imprastiere barion-monopol iar secțiunea eficace în acest proces este geometrică, prin mecanismul Callan-Rubakov, ducând de exemplu la secțiuni eficace de ordinul 10^{-27} cm² în procese de tipul $MM + p \rightarrow e^+ \pi MM$, $MM + p \rightarrow \mu^+ K MM$.

În cadrul experimentului ANTARES am efectuat o serie de simulări Monte-Carlo folosind programul Mathematica 7 pentru a determina fluxul de monopoli magnetici detectabili prin procesul de dezintegrare catalitică a protonilor: $MM + p \rightarrow e^+ \pi MM$.

1) Am folosit parametrii utilizați și de experimentul MACRO, cu secțiunea eficace:

$$\sigma_{\Delta B \neq 0} = \frac{\sigma_0}{\beta}$$

unde parametrii $\sigma_0 = \{10^{-26}, 10^{-25}, 5 \times 10^{-25}$ și $10^{-24}\}$ cm² iar $\beta = \{10^{-2}, 5 \times 10^{-3}, 10^{-3}, 5 \times 10^{-4}$ și $10^{-4}\}$;

2) Folosind programe special dezvoltate pentru această simulare, am distribuit uniform un număr inițial de puncte pe o sferă ce înglobează la scară întreg detectorul ANTARES. Din aceste puncte se generează direcțiile uniform distribuite de sosire a monopolilor, considerând o distribuție uniformă a acestora la nivelul Pământului;

3) Considerând parametrii aleși de MACRO am estimat din valoarea secțiunii eficace, drumul mediu liber corespunzător procesului de descompunere mai sus menționat și am simulat Monte-Carlo o plajă de valori corespunzătoare unei distribuții Gauss în jurul valorii drumul mediu liber. Acest set de distanțe vor constitui punctele de pe traiectoria monopolilor în care se produce dezintegrarea protonului.

4) În urma procesului de interacție rezultă un pozitron și un mezon π , acesta din urmă fiind instabil, se descompune generând 2 muoni ce se propaga spate-in-spate, generând în apă 2 conuri de lumină Cherenkov. Se consideră un semnal dacă cel puțin 2 detectori înregistrează un semnal, adică cele 2 conuri de lumină intersectează sferile detectorului.

5) Pentru a estima valorarea fluxului se repetă simularea de un număr statistic semnificativ de ori se poate estima sensibilitatea ANTARES (în configurația completă și un an de analiză) în termeni de limită superioară (90% CL) pentru fluxul de monopoli GUT:

$$\Phi \sim 5.3 \times 10^{-17} \text{ cm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \text{ s}^{-1}.$$

În figura 1 se află rezultatul unei simulări efectuate cu ajutorul programului Mathematica iar la

adresa <http://iss14.nipne.ro/~lcaramete/Antares/MMSimulation.mov> se poate vizualiza animatia corespunzatoare simularii.

In etapa urmatoare se va considera dezvoltarea unei simulari complete a raspunsului detectorului in vederea identificarii criteriilor de selectie a evenimentelor candidat, si de estimare corecta a eficientei analizei. O cerere de unblinding va fi inaintata colaborarii, dupa realizarea acestui pas.

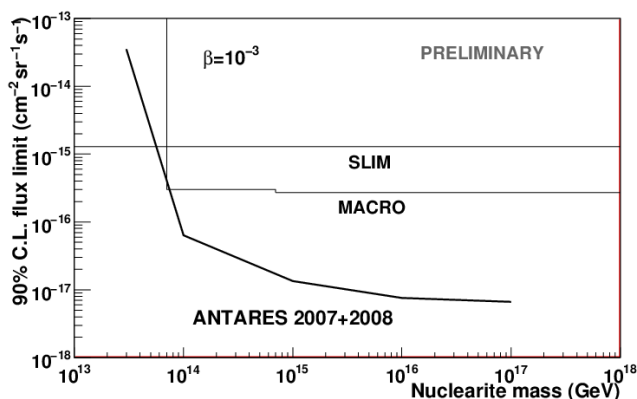
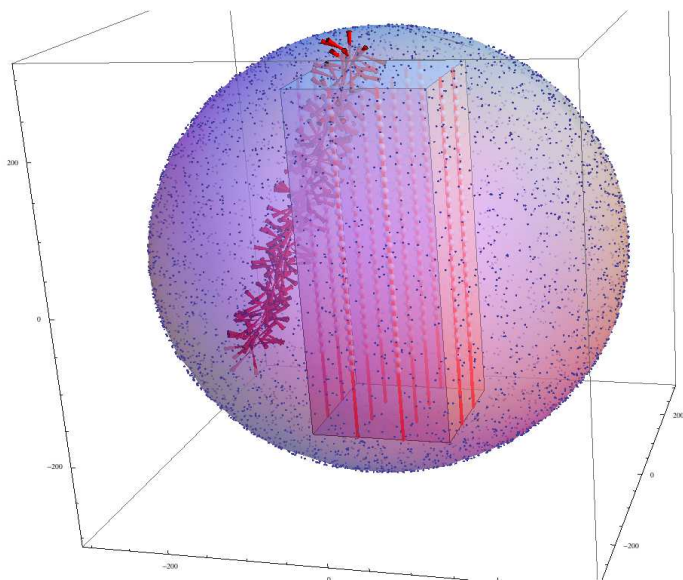


Fig.1 Simularea trecerii MM prin ANTARES

Fig. 2. Limita pentru fluxul de nucleariti
continuta

Cautarea nuclearitilor cu telescopul de neutrini ANTARES cu extensie la KM3NeT

Analiza prezentata utilizeaza o strategie de blinding a datelor. Aceasta consta in definirea si optimizarea criteriilor de selectie folosind simulari Monte Carlo si validarea simularilor pe o fractiune din datele disponibile ($\sim 15\%$). Analiza restului de date experimentale se realizeaza dupa discutia si aprobarea strategiei de selectie si reconstructie propuse in cadrul Colaborarii ANTARES.

In cadrul analizei au fost utilizate 310 zile de date experimentale achizitionate in 2007 si 2008, in diferite configuratii ale detectorului. Simularile Monte Carlo de nucleariti descendenti au fost efectuate intr-un volum semisferic cu raza de 548 m in jurul axei de simetrie verticale a detectorului, pentru 5 valori de masa cuprinse intre 3×10^{13} si 10^{17} GeV. Viteza initiala a nuclearitilor in afara atmosferei pamantului utilizata in simulare este $\beta=10^{-3}$. Muonii atmosferici relativisti, proveniti din emisfera superioara, constituie fondul dominant pentru nucleariti. Muonii au fost simulati cu codul MUPAGE [4]. Fisierile de nucleariti si muoni simulati au fost procesate cu un program care include cei doi algoritmi (trigger-ul directiona si trigger-ul cluster, descrisi mai sus) creati pentru selectia particulelor relativiste.

Durata tipică în detector a semnalului nuclearităților este foarte mare (de aproximativ 1 ms) în comparație cu durata tipică a unui muon (aproximativ 2.2 μs). Atunci când un muon declanșează trigger-ul, toate semnalele sunt înregistrate într-un snapshot extins, incluzând 2.2 μs înainte și după clusterul de semnale L1, în timp ce un nuclearit tipic ar produce o succesiune de snapshot-uri extinse și distincte într-o fereastră de timp de aproximativ 1 ms.

Variabila discriminantă utilizată pentru selecția semnalului produs de nuclearități este durata snapshotului dt , definită ca diferența de timp dintre ultimul și primul semnal L1 care declanșează trigger-ul. Au fost obținute cut-uri optimizate (cuprinse între 2500 și 4750 ns, în funcție de configurația detectorului) prin procedura de minimizare a limitelor superioare de flux care s-ar obține în cazul în care nu se observă niciun semnal. De asemenea, a fost obținut un acord bun între simulările Monte Carlo și procentul de 15% din date experimentale. Cele câteva evenimente rămase după aplicarea cut-urilor pe procentul de 15% din datele experimentale au fost investigate și am constatat că se datorau bioluminescenței produse de organisme marine [5]. Pentru eliminarea fondului datorat bioluminescenței am introdus un criteriu de selecție suplimentar, care cere evenimente cu snapshot-uri multiple într-un interval de 1 ms sau evenimente cu un singur snapshot cu o durată mai mare decât dublul valorii primului cut.

După aprobarea de unblinding a datelor, acordul dintre 85% din datele experimentale și simulările MC a fost verificat și confirmat. Șapte evenimente au rămas în date după aplicarea cut-urilor. Investigatiile vizuale și topologice au arătat că evenimentele sunt incompatibile cu traiectoriile de nuclearități nerelativisti; trei dintre ele se datorează unor fotomultiplicatori ce scanteiază, iar celelalte patru sunt produse de bioluminescență. Limita superioară preliminară obținută de ANTARES pentru un flux de nuclearități descendenți este prezentată în figura 2 și este comparată cu limitele obținute de experimentele MACRO și SLIM. Rezultatul obținut cu datele ANTARES din 2007 și 2008 îmbunătățește limita obținută de MACRO pentru domeniul de mase cuprins între 10^{14} - 10^{17} GeV.

Investigarea impactului rezultatelor proiectului asupra fizicii dincolo de Modelul Standard și cosmologie.

Activitatea în cadrul acestui obiectiv s-a focalizat pe posibilitatea determinării cu un telescop de neutrini special conceput a ierarhiei de masă a neutrinelor, în particular asupra consecințelor pe care o astfel de descoperire le-ar avea în cosmologie. Determinarea în cursul anului 2012 a unghiului de mixing θ_{31} de către experimente de reactor și accelerator au creat posibilitatea determinării ierarhiei de masă a neutrinelor, măsurând oscilația neutrinelor atmosferice într-un telescop submarin cu pragul de energie minimă în jurul a 10 – 15 GeV. Colaborarea KM3NeT a decis construirea unui astfel de dispozitiv de mare densitate în Faza 1 KM3NeT, urmând ca după determinarea ierarhiei de masă telescopul să fie recuperat și re-utilizat, prin creșterea distanței între etaje și linii, pentru scopul inițial al KM3NeT (astronomie cu neutrini). În ANTARES am

analizat posibilitatea de a instala acest telescop dens in interiorul ANTARES, acesta actionand ca detector de veto pentru muonii de energie superioara domeniului de interes. Acest proiect nou urmeaza a fi pus in practica in 2013, sub numele de ORCA (Oscillation Research with Cosmics in Abyss). In cazul ierarhiei directe exista o specie de neutrini masivi si doua de masa aproape nula, pe cand in ierarhia inversata exista doua specii masive si una de masa aproape zero. Cunoasterea ierarhiei implica astfel modificarea masei totale a speciilor de neutrini, parametru ce joaca un rol esential in mecanismul de inflatie cu implicatii in interpretarea datelor furnizate de PLANCK si de viitoarea misiune ESA Euclid.

CONCLUZII

Activitatile subordonate Obiectivelor O1, O2 si O4 s-au desfasurat in conformitate cu programul initial. Obiectivul O3 urmeaza a fi abordat intr-o etapa ulterioara, o data cu maturizarea actiunilor din cadrul obiectivului O2, asa cum s-a declarat in aplicatie. Obiectivul O5, prevazut si el a fi finalizat in viitor, poate fi afectat de transformarea KM3NeT – Faza 1 in ORCA. Aceasta tranzitie raspunde insa unei oportunitati stiintifice majore, consecintele asupra O5 urmand a fi analizate in functie de evolutiile din Colaborarea KM3NeT.

Alte activitati relevante pentru proiect

Realizarea a doua shift-uri de achizitie de date cu ANTARES (martie 2012 de la sediul ISS prin conexiune VNC si in august 2012 de la camera de control ANTARES de la Sablettes, Franta)

Participarea cu cate una sau doua comunicari la reuniunile generale ANTARES: februarie 2012 (CERN), mai 2012 (Roma), octombrie 2012 (Bologna)

Articole publicate (ISI)

1. J. Aguilar et al. (ANTARES Coll.), *A method for detection of muon induced electromagnetic showers with the ANTARES detector*, Nucl. Instr. and Meth. A **675** (2012) 56-62
2. S. Adrian-Martinez, et al. (ANTARES Coll.), *Search for relativistic magnetic monopoles with the ANTARES neutrino telescope*, Astropart. Phys. **35** (2012) 634-640
3. S. Adrian-Martinez et al. (ANTARES Coll.) *Measurement of atmospheric neutrino oscillations with the ANTARES neutrino telescope* Phys. Lett. **B 714** (2012) 224 - 230
4. S. Adrian-Martinez et al. . (ANTARES Coll.) *Measurement of the Group Velocity of Light in Sea Water at the ANTARES Site* Astropart. Phys. **35** (2012) 552-557

5. M. Ageron et al. (ANTARES Coll.) *The ANTARES Telescope Neutrino Alert System* *Astropart. Phys* **35** (2012) 530-536
6. S. Adrian-Martinez et al. . (ANTARES Coll.) *The positioning system of the ANTARES neutrino telescope* *J. of Instrumentation* **7** (2012) T08002
7. S. Adrian-Martinez et al. . (ANTARES Coll.) *Search for Neutrino Emission from Gamma-Ray Flaring Blazars with the ANTARES Telescope* *Astropart. Phys.* **36** (2012) 204-210
8. S. Adrian-Martinez et al. . (ANTARES Coll.) *Search for cosmic neutrino point sources with four years of data from the ANTARES telescope*, *Ap. J.* **760:53** (2012) 10p
9. S. Adrian-Martinez et al. . (ANTARES Coll.) *Detection potential of the KM3NeT detector for high-energy neutrinos from the Fermi Bubbles* *Astropart. Phys.* (2012) -acceptat-

Prezentari la conferinte internationale sustinute de membri din echipa proiectului

1. G. E. Pavalas, *Search for massive exotic particles with the ANTARES neutrino telescope*, 22 European Cosmic Ray Symposium, Moscova 2012. Articolul comunicarii exceptat pentru publicare in *J. of Phys. Cvonf. Series*
2. L. A. Popa, *Cosmological implications of neutrino mass hierarchy*, ORCA Workshop, Catania 2012

Director proiect Dr. Vlad Popa

