

Raport stiintific sintetic

privind implementarea proiectului *Particule exotice super-masive in telescoape pentru neutrini* in perioada octombrie 2011 - decembrie 2013

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

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

Activitatile desfasurate corespund planificarii initiale pentru perioada octombrie 2011 - decembrie 2012. Ulterior, prin aplicarea Actului Adicional 1/2013, determinat de reducerea finantarii in anul 2013, s-a continuat activitatea in cadrul obiectivelor **02** si partial **04**. Celelalte activitati prevazute initial au fost decalate pentru anul 2014. In acest Raport trecem in revista activitatile efectuate si rezultatele obtinute, organizat in functie de obiective.

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

Simetria intre campurile electric si cel magnetic in ecuatiile lui Maxwell sugereaza faptul ca sarcinile electrice pot avea corespondenti magnetici, care poarta denumirea de monopoli magnetici, iar prima cuantificare a sarcinii magnetice a fost gasita de catre Dirac. Toate teoriile ce unifica fortele din natura prevad existenta monopolilor supermasivi. Considerand doar monopoli masivi, produsi la inceputul universului, se poate prezice teoretic o violare a numarului barionic in procese de imprastiere barion-monopol iar sectiunea eficace in acest proces este geometrica, prin

mecanismul Callan-Rubakov, ducand de exemplu la sectiuni eficace de ordinul 10^{-27} cm² in procese de tipul $MM + p \rightarrow e^+ \pi MM$, $MM + p \rightarrow \mu^+ K MM$. In cadrul experimentului ANTARES am efectuat o serie de simulari Monte-Carlo folosind programul Mathematica 7 pentru a determina fluxul de monopoli magnetici detectabili prin procesul de dezintegrare catalitica a protonilor: $MM + p \rightarrow e^+ \pi MM$.

1) Am folosit parametrii utilizati si de experimentului MACRO, cu sectiunea eficace:

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

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

2) Folosind programe special dezvoltate pentru aceasta simulare, am distribuit uniform un numar initial de puncte pe o sfera ce inglobeaza la scala intreg detectorul ANTARES. Din aceste puncte se genereaza directiile uniform distribuite de sosire a monopoliilor, considerand o distributie uniforma a acestora la nivelul Pamantului;

3) Considerand parametrii alesi de MACRO am estimat din valoarea sectiunii eficace, drumul mediu liber corespunzator procesului de descompunere mai sus mentionat si am simulat Monte-Carlo o plaja de valori corespunzatoare unei distributii Gauss in jurul valorii drumul mediu liber. Acest set de distante vor constitui punctele de pe traectoria monopoliilor in care se produce dezintegrarea protonului.

4) In urma procesului de interactie rezulta un pozitron si un mezon π , acesta din urma fiind instabil, se descompune generand 2 muoni ce se propaga spate-in-spate, generand in apa 2 conuri de lumina Cherenkov. Se considera un semnal daca cel putin 2 detectori inregistreaza un semnal, adica cele 2 conuri de lumina intersecteaza sferale detectorului.

5) Pentru a estima valorarea fluxului se repeta simularea de un numar statistic semnificativ de ori se poate estima sensibilitatea ANTARES (in configuratia completa si un an de analiuza) in termeni de limita superioara

(90% CL) pentru fluxul de monopoli GUT:

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

In figura 1 se afla rezultatul unei simulari efectuate cu ajutorul programului Mathematica.

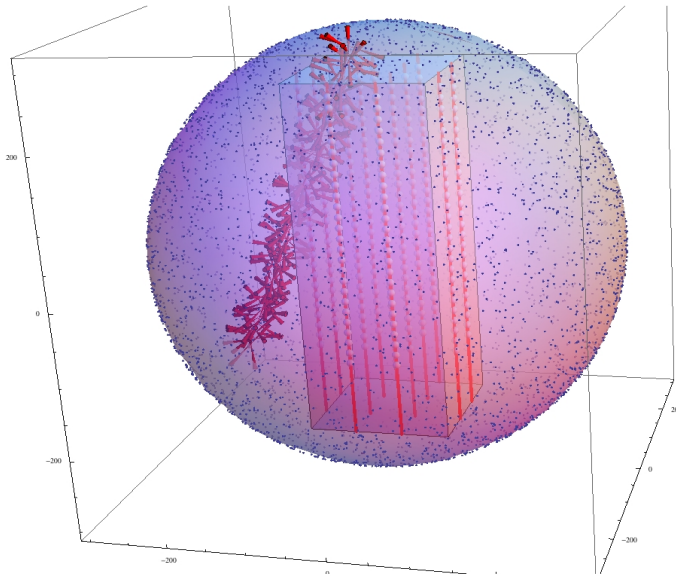


Fig. 1. Sumularea trecerii unui monopol magnetic GUT prin ANTARES

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 (~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 descendentii 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 tipica in detector a semnalului nuclearitilor este foarte mare (de aproximativ 1 ms) in comparatie cu durata tipica a unui muon (aproximativ 2.2 μ s). Atunci cand un muon declanseaza trigger-ul, toate semnalele sunt inregistrate intr-un snapshot extins, incluzand 2.2 μ s inainte si dupa clusterul de semnale L1, in timp ce un nuclearit tipic ar produce o succesiune de snapshot-uri extinse si distincte intr-o fereastra de timp de aproximativ 1 ms. Variabila discriminanta utilizata pentru selectia semnalului produs de nucleariti este durata snapshotului dt , definita ca diferenta de timp dintre ultimul si primul semnal L1 care declanseaza trigger-ul. Au fost obtinute cut-uri optimizate (cuprinse intre 2500 si 4750 ns, in functie de configuratia detectorului) prin procedura de minimizare a limitelor superioare de flux care s-ar obtine in cazul in care nu se observa niciun semnal. De asemenea, a fost obtinut un acord bun intre simularile Monte Carlo si procentul de 15% din date experimentale. Cele cateva evenimente ramase dupa aplicarea cut-urilor pe procentul de 15% din datele experimentale au fost investigate si am constatat ca se datorau bioluminiscentei produse de organisme marine [5]. Pentru eliminarea fondului datorat bioluminiscentei am introdus un criteriu de selectie suplimentar, care cere evenimente cu snapshot-uri multiple intr-un interval de 1 ms sau evenimente cu un singur snapshot cu o durata mai mare decat dublul valorii primului cut.

Dupa aprobarea de unblinding a datelor, acordul dintre 85% din datele

experimentale si simularile MC a fost verificat si confirmat. Sapte evenimente au ramas in date dupa aplicarea cut-urilor. Investigatiile vizuale si topologice au aratat ca evenimentele sunt incompatibile cu traiectorii de nucleariti nerelativisti; trei dintre ele se datoreaza unor fotomultiplicatori ce scanteiaza, iar celelalte patru sunt produse de bioluminiscenta. Limita superioara preliminara obtinuta de ANTARES pentru un flux de nucleariti descendenti este prezentata in figura 2 si este comparata cu limitele obtinute de experimentele MACRO si SLIM. Rezultatul obtinut cu datele ANTARES din 2007 si 2008 imbunatateste limita obtinuta de MACRO pentru domeniul de mase cuprins intre 10^{14} - 10^{17} GeV.

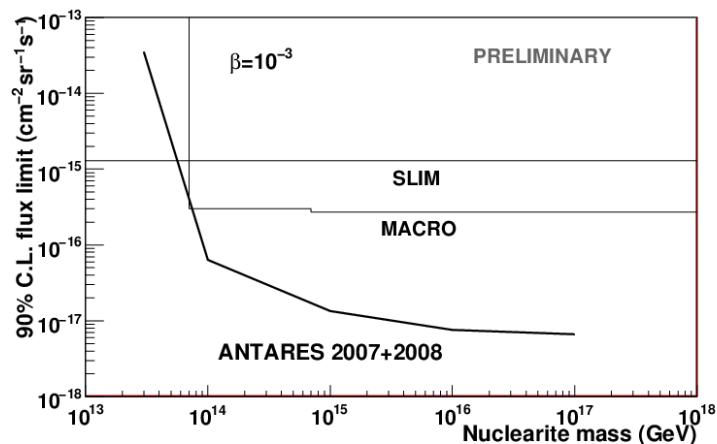


Fig. 2. Limita obtinuta pentru fluxul de nucleariti in ANTARES

In urma analizelor rezultatelor in cadrul Colaborarii ANTARES, s-a sugerat posibilitatea rafinarii ulterioare a analizei, in vederea analizei volumului mare de date acumulat in ultimii ani de catre telescop, in configuratia sa finala.

In etapa 2013 s-a cautat imbunatatirea procedurii de cautare a semnalelor nuclearitilor in datele experimentale prin inlocuirea celui de-al doilea criteriu de selectie, prin introducerea conditiei ca deplasarea centrului de sarcina culeasa de catre fotomultiplicatori sa fie compatibila cu deplasarea de sus in jos a unui obiect cu viteza inferioara limitei de 300 km/s (viteza introdusa ca viteza initiala, deasupra atmosferei terestre, in simularea Monte Carlo).

Un exemplu de deplasare a centrului de sarcina proiectat pe axa verticala, pentru un nuclearit simulat de masa 10^{15} GeV, este ilustrat in Figura 3. Evenimentul este de tip multi-snapshot, prezentand mai multe fragmente consecutive de durate diferite, distribuite intr-un interval de aproximativ 1.4 ms.

Prin fitarea liniara a distributiilor centrului de sarcina, se obtin vitezele proiectate pe axele Ox, Oy, Oz, dupa care se determina viteza totala si unghiul de zenit al traiectoriei particulei.

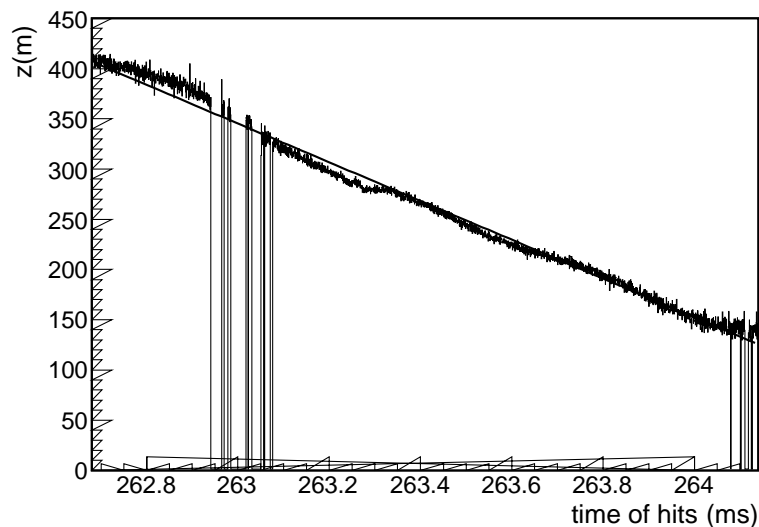


Figura 3. Distributia centrului de sarcina proiectat pe axa Oz pentru un nuclearit simulat de masa 10^{15} GeV, fitata linear in vederea obtinerii vitezei v_z . Semnalul produs de acest nuclearit este fragmentat in secvente consecutive de durate diferite dupa aplicarea triggerului.

Cu aceasta metoda au fost reconstruite vitezele si unghiul de zenit pentru nuclearitii simulati si, in prima instanta, pentru evenimentele din setul de 15% din datele experimentale care au supravietuit primului criteriu de selectie. Pentru definirea criteriilor de selectie de nivelul 2, au fost studiate distributiile vitezelor si ale unghiurilor de zenit reconstruite pentru nucleariti,

in combinatie cu erorile lor relative. Astfel, in figura 4 sunt reprezentate distributiile vitezelor si erorilor relative reconstruite pentru toate masele de nucleariti analizate, in configuratia de 12 linii. Majoritatea evenimentelor sunt concentrate in regiunea $10^{-4}c < v < 10^{-3}c$, spre deosebire de un numar restrans de evenimente reconstruite cu viteze $v > 10^{-3}c$, care trec marginal sau prin afara volumului detectorului.

Criteriile de selectie au fost alese astfel incat sa fie consistente cu caracteristicile traiectoriei nuclearitilor asteptate la nivelul detectorului, adica viteze reconstruite

$v < 10^{-3}c$ si unghiul de zenit corespunzator unei traiectorii descendente $\theta > 90$ grade (in conventia ANTARES), iar erorile relative dv/v si $d\theta/\theta$ sa fie subunitare.

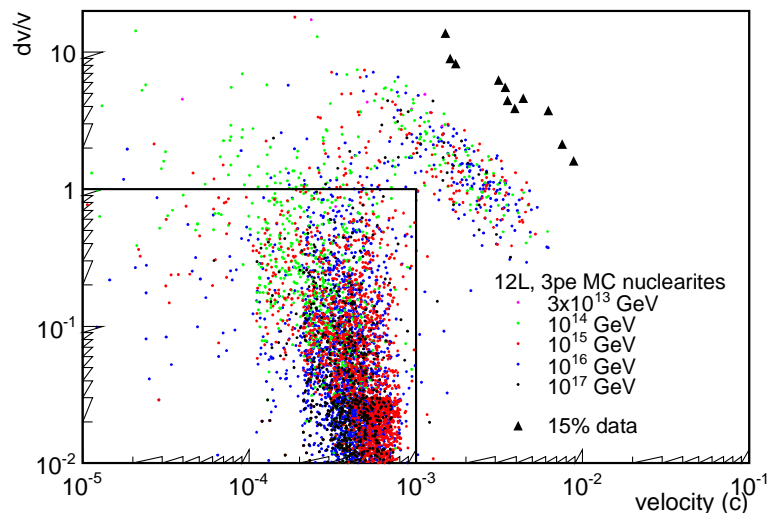


Figura 4. Distributiile vitezelor reconstruite si erorile relative corespunzatoare, pentru nucleariti simulati cu 5 mase diferite, in configuratia detectorului de 12 linii. Evenimentele ramase din setul de 15% din datele experimentale dupa prima taiere sunt reprezentate cu triunghiuri negre. Pe grafic sunt ilustrate si conditiile de selectie definite in text.

Evenimentele ramase din setul de 15% din datele experimentale nu se incadreaza in criteriile definite pentru nucleariti si au fost eliminate. Erorile

de reconstructie in cazul lor sunt mari, indicand surse de lumina stationare, caracteristice bioluminiscentei.

Dupa validarea metodei pe setul restrans de date, aceasta a fost utilizata pentru evenimentele ramase din setul de 85% din datele experimentale achizitionate in 2007 si 2008, dupa aplicarea primului criteriu de selectie. Niciun eveniment nu a indeplinit criteriile de selectie de nivelul 2, ca urmare nu au mai fost necesare investigatii suplimentare, ca in cazul aplicarii criteriilor de selectie utilizate in analiza anterioara.

Acest fapt a permis calcularea unei noi limite superioare de flux pentru nucleariti descendenti, folosind 310 zile de achizitie de date cu detectorul ANTARES.

Limitele de flux variaza intre 7.1×10^{-17} si $6.7 \times 10^{-18} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$ pentru nucleariti descendenti cu domeniul de masa in intervalul $10^{14} \leq M_N \leq 10^{17} \text{ GeV}$. Acest rezultat imbunatateste semnificativ limita MACRO pentru nucleariti in domeniul de masa comun.

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

Activitatea in cadrul acestui obiectiv s-a focalizat pe posibilitatea determinarii cu un telescop de neutrini special conceput a ierarhiei de masa a neutrinilor, in particular asupra consecintelor pe care o astfel de descoperire le-ar avea in cosmologie. Determinarea in cursul anului 2012 a unghiului de mixing θ_{31} de catre experimente de reactor si accelerator au creat posibilitatea determinarii ierarhiei de masa a neutrinilor, masurand oscilatia neutrinilor atmosferici intr-un telescop submarin cu pragul de energie minima in jurul a 10 - 15 GeV. Colaborarea KM3NeT a decis construirea unui astfel de dispozitiv de mare densitate in Faza 1 KM3NeT, urmand ca dupa determinarea ierarhiei de masa telescopul sa fie recuperat si re-utilizat, prin cresterea distantei intre etaje si linii, pentru scopul initial al KM3NeT (astronomie cu neutrini). In 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.

In anul 2013 activitatea in cadrul acestui obiectiv s-a concretizat prin transmiterea unor rezultate privind masele si

ierarhia de masa a neutrinilor obtinute din analiza datelor Planck catre grupul de

cercetare ORCA al colaborarii ANTARES. Rezultatele, cuprinse in

<http://arxiv.org/abs/1311.3856> au fost obtinute in cadrul altui contract de cercetare iar

consecintele lor pentru ANTARES-ORCA sunt in prezent in analiza grupului de lucru.

In perioada de raportare au fost publicate 16 articole stiintifice in reviste cotate ISI si s-

au efectuat 5 prezentari orale la conferinte internationale. Directorul de proiect a facut

parte din comitetul de organizare a Conferintei Exotics Physics at Neutrino

Telescopes (EPNT), Marsilia (Franta) aprilie 2013. In aceeasi perioada a fost

definitivat si instalat pe infrastructura telescopului ANTARES experimentul "mini-

DOM", coordonat de catre directorul de proiect. A fost de asemeni publicat

un articol

in CERN Courier, sintetizand concluziile conferintei EPNT2013.

Experimentul ANTARES si contributia romaneasca la acesta au fost popularizate atat

prin participare la "Noaptea Cercetatorilor" editia 2013, cat si prin emisiuni difuzate

de catre postul de radio Romania Cultural.

Lista completa a rezultatelor stiintifice este incarcata pe portalul proiectului

UEFISCDI - EVOC.

Au fost efectuate 4 shift-uri de achizitie la ANTARES (doua de la distanta, doua de la Camera de Control a telescopului de la Institutul Michel Pacha, Sablettes, Franta).

S-a participat la toate reuniunile generale ale Colaborarii ANTARES, cu cate una sau doua prezentari orale de fiecare data.

Director de proiect,

Dr. Vlad Popa