

Raport stiintific

*privind implementarea proiectului Particule exotice super-masive in telescoape
pentru neutrini in perioada ianuarie – decembrie 2015*

In perioada ianuarie – decembrie 2015 activitatea grupului de cercetare s-a axat pe urmatoarele obiective:

- 1 Cautarea monopolilor magnetici GUT in telescopul pentru neutrini ANTARES si extensie la KM3NeT.
- 2 Cautarea nuclearitilor in telescopul pentru neutrini ANTARES si extensie la KM3NeT.
- 3 Cautarea Q-balls in telescopul pentru neutrini ANTARES si extensie la KM3NeT.

1 Cautarea monopolilor magnetici GUT in telescopul pentru neutrini ANTARES si extensie la KM3NeT.

Monopolii magnetici GUT pot fi detectati in telescoapele pentru neutrini prin doua tipuri de analiza: monopolii super-masivi si lenti (viteze tipice de ordinul sutelor de km/s) prin catalizarea de catre acestia a dezintegrarii protonilor din materia traversata, urmata de detectia Cherenkow a produsilor de dezintegrare; monopolii de masa intermediara (GUT sau nu) ce pot fi accelerati la viteze relativiste, prin radiatia Cherenkow directa si/sau prin radiatia Cherenkow secundara emisa de electronii de recul, in urma interactiei cu materia. Mecanismul de cataliza a dezintegrarii protonilor este in acest caz fie absent (monopoli ne-GUT), fie mult atenuat di cauza vitezei mari a monopolilor.

– Monopoli magnetici relativisti

Cautarea monopolilor relativisti in ANTARES a fost preluata de grupul din ISS (in colaborare cu grupul de la Univrsitatea din Oujda, Maroc, de la grupul de la Marsilia.

Acest raport prezinta o analiza imbunatatita pentru monopolii magnetici de masa intermediara, care foloseste un set extins de date (achizitionate de ANTARES intre ianurie 2008 si decembrie 2013) si valori ale vitezei $\beta > 0.55$.

Analiza foloseste procedura de blinding recomandata de Colaborarea ANTARES, pentru optimizarea cut-urilor si o fractiune din datele experimentale, pentru validarea simularilor Monte Carlo. Analiza este limitata la cautarea monopolilor ascendenti, care sa asigure o buna separare de

fondul de muoni atmosferici descendenți, iar domeniul de masă estimat a fi detectabil de către detectorul ANTARES este 10^{12} - 10^{15} GeV. Monopoli magnetici ascendenți au fost simulați în zece intervale echidistante de viteză $\beta = [0.55, 0.995]$. Evenimentele au fost reconstruite cu un algoritm dedicat, iar pentru viteze mai mici, algoritmul folosește viteza β ca parametru liber care se determină din fitul traiectoriei.

Condițiile de selecție primare, și anume unghiul de zenit $\theta < 90^\circ$ și cel puțin două linii pe care sunt reconstruite evenimentele ($n_{lines} \geq 2$), elimină mare parte din fondul reprezentat de muonii și neutrinii descendenți.

În continuare, strategia de selecție depinde de viteza monopoliilor. În domeniul $\beta = [0.55, 0.817]$, separarea monopoliilor magnetici de fond se bazează pe reconstrucția β . Monopoliile relativiste ($\beta > 0.74$) emit o cantitate semnificativă de lumină Cherenkov directă în timp ce traversează detectorul, iar viteza lor nu poate fi discriminată cu ajutorul algoritmului de reconstrucție. Pentru monopoli simulați în intervalul $\beta = [0.817, 0.995]$, condițiile de selecție folosesc numărul de etaje N_{hit} utilizate pentru reconstrucția traiectoriei, cât și variabila α care conține parametrul de calitate al fit-ului traiectoriei $t\chi^2$.

După optimizarea și aplicarea cut-urilor, a fost determinată sensibilitatea detectorului ANTARES la un flux de monopoli ascendenți, pentru 751 de zile de achiziție, prezentată în Figura 1. Sensibilitatea ANTARES la monopoli ascendenți a fost comparată cu limitele superioare de flux obținute de diferite experimente, cât și cu limita obținută de o analiză anterioară ANTARES, efectuată pe o perioadă de achiziție de 116 zile.

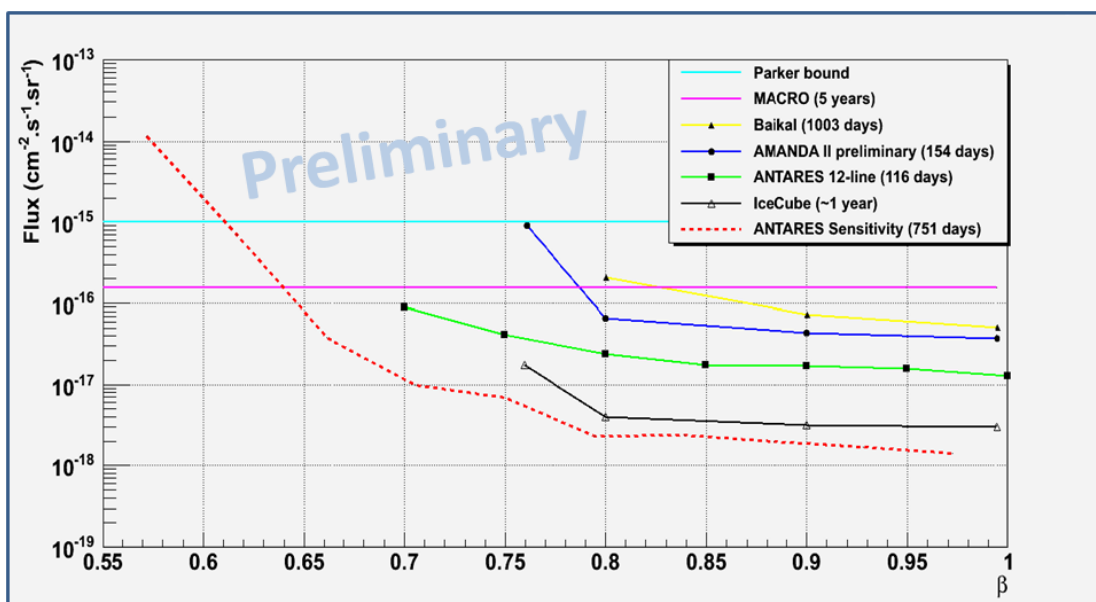


Figura 1. Sensibilitatea ANTARES pentru un flux de monopoli magnetici ascendenți în funcție de viteză

β , obtinuta pentru 751 de zile de achizitie de date, comparata cu limitele superioare de flux obtinute de alte experimente.

- **Monopoli magnetici lenti (GUT)**

Optimizarea distributiilor de cataliza

Am efectuat teste statistice pentru optimizarea simularilor interactiunii monopolilor magnetici GUT (Grand Unified Theory) in cadrul experimentului ANTARES. Principiul de baza de la care s-a pornit a fost acela de a verifica daca dintr-o simulare in care un monopol magnetic (MM) catalizeaza dezintegrarea protonului cu o anumita probabilitate extrasa dintr-o distributie statistica Poisson ce ia in considerare drumul liber mediu al MM se pot extrage sub-simulari care au urmatoarele proprietati:

- sunt compatibile din punct de vedere statistic cu distributia sursa;
- reprezinta simulari de cataliza a protonului la alte sectiuni eficiente de cataliza.

Acest test va reprezenta o optimizare majora a lantului de simulare pentru ca se poate folosi o singura simulare cu catalize dese, adica cu un drum mediu liber cat mai mic, si pentru alti parametri de cataliza a protonului. Astfel, se face un sampling Monte-Carlo din simularea sursa la alte distributii cu alti parametrii care sa respecte proprietatile mai sus enuntate.

Intr-o prima aproximatie am efectuat testul statistic intr-un caz uni-dimensional iar mai apoi am extins analiza la cazul general 3-dimensional. Am pornit cu o distanta de 100 de metri in care am simulat Monte-Carlo cataliza protonului de un MM folosind o distributie statistica Poisson cu media $\mu = 1$, Fig.2.

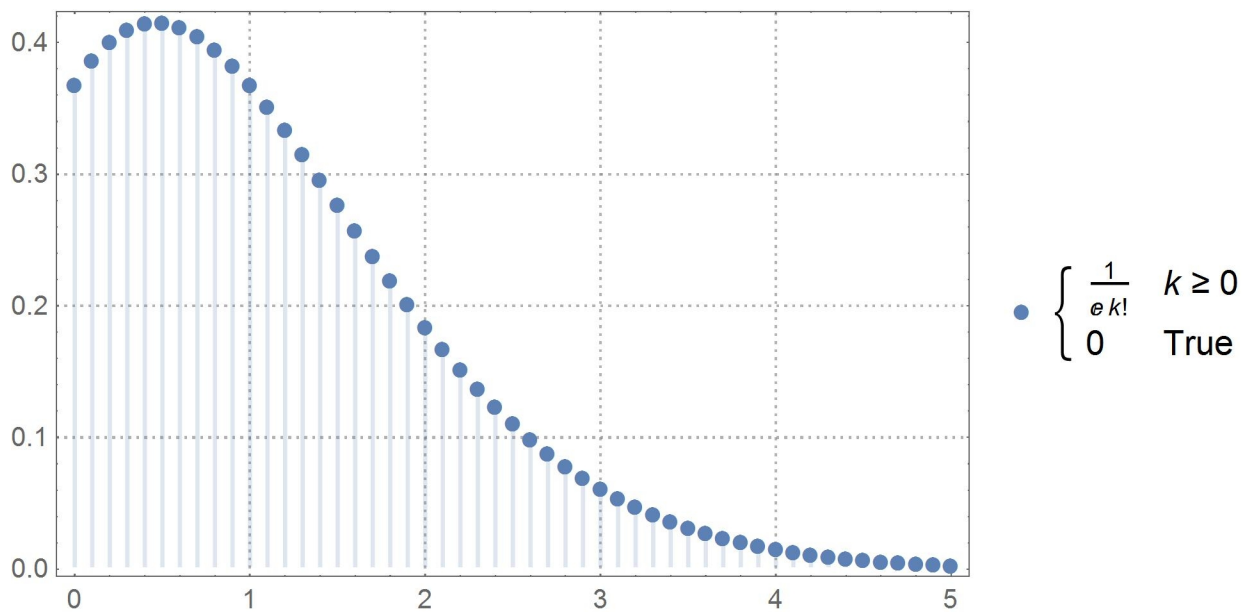


Fig. 2 Distributie Poisson avand media 1.

Aceasta distributie Poisson a fost folosita ca si baza pentru a distribui pozitiile pe un segment de dreapta cu lungimea de 100 m conform cu un drum mediu liber de dezintegrare de 1 m folosind tehnica probabilitatilor cu greutate. Aceasta tehnica presupune definirea unor greutati conforme cu forma distributiei Poisson pe fiecare interval de 1 m si extragerea prin procedura de sampling a punctului de cataliza a protonului de catre un MM. Rezultatul acestui proces este ilustrat in Fig. 3.

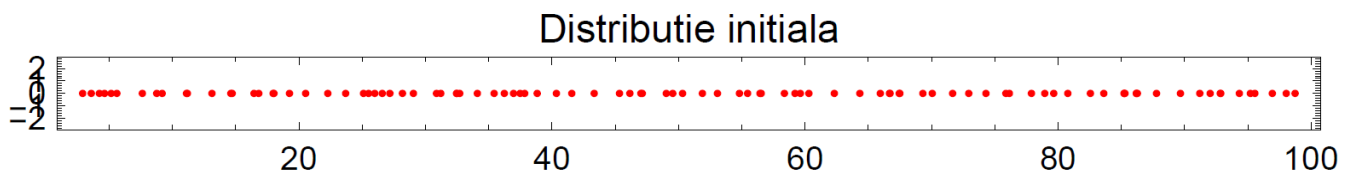


Fig. 3 Aranjare a punctelor unde se face cataliza protonului de catre un MM pe un segment de dreapta de 1m conform unei distributii Poisson.

Din aceasta distribuite de puncte asezate ca in Fig. 2 am eliminat puncte cu pasul constant de 2 apoi cu pasul 5 testand de fiecare data daca distributia noua de puncte verifica cele doua criterii mai sus mentionate. Am exemplificat primul caz in Fig. 4.

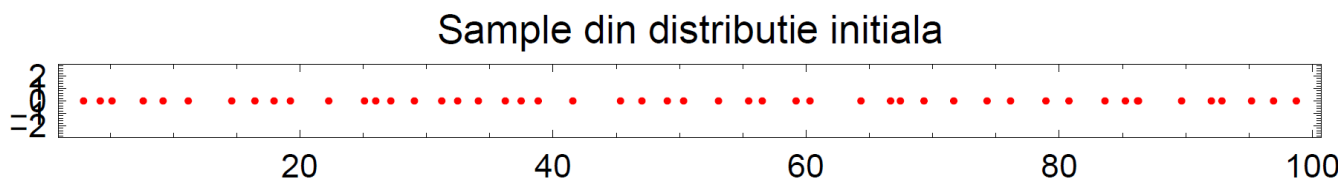


Fig. 4. O noua distributie de puncte de cataliza obtinuta din cea sursa. Pasul este de 2.

Pentru a compara din punct de vedere statistic cele doua distributii am realizat teste statistice standard. Aceste teste folosesc tehnica celui mai bun fit in care se verifica ipoteza H_0 care spune ca datele au fost extrase dintr-o populatie cu aceeiasi distributie statistica sau ipoteza H_a ca aceste date nu verifica aceeiasi distributie. Rezultatul acestei proceduri este o probabilitate p care indica cat de mult se verifica ipoteza de lucru. O valoare mica a lui p indica faptul ca este putin probabil ca sa se verifice ipoteza ca prima distributie provine dintr-a doua. Multe din aceste teste standard folosesc o functie de distributie $F(x)$ asociata primei distributii si o alta functie $F^*(x)$ pentru ce-a de-a doua precum si diferenta $d(x)$ a lor sau expectanta statistica pentru a verifica ipoteza de lucru.

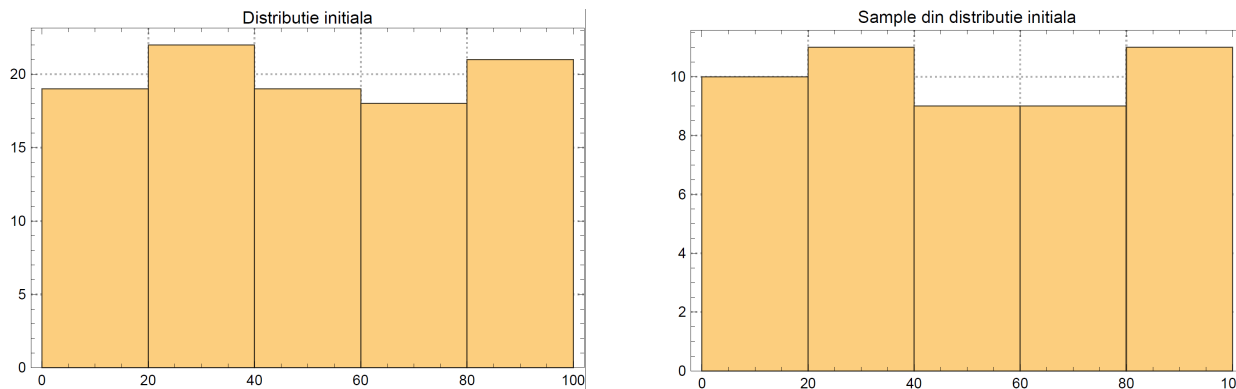


Fig. 5. Cele doua histograme asociate distributiei sursa si distributiei rezultate din sampling.

Am folosit urmatoarele teste statistice: Anderson-Darling, Cramér-von Mises, Kolmogorov-Smirnov, Kuiper, Pearson (chi-squared), Watson (U-squared) care au aratat ca distributia de puncte din Fig.5 provine din distributia ilustrata in Fig. 3 la un nivel de 5-sigma. Situatia s-a repetat si daca folosim o selectie din 5 in 5, deviatia de la probabilitatea de 100% fiind nesemnificativa (de 10^{-4}).

In continuare am generalizat cazul 1-dimensional la cazul 3-dimensional gasind aceleasi concluzii.

Simulari Monte-Carlo

Procedura de simulare a trecerii unui MM prin detectorul de neutrini ANTARES si cataliza a protonului la intervale extrase dintr-o distributie Poisson este realizata in programul Mathematica numit „MMMonteCarloForFluxWithPMRealCoordinates” disponibil pe pagina proiectului. Se poate vizualiza folosind programul gratuit disponibil la adresa <https://www.wolfram.com/cdf-player/>.

Acesta este format din urmatoarele proceduri:

1. citeste din fisierul standard al colaborarii ANTARES pozitiile x,y,z la baza celor 12 linii de detectie;
2. citeste codurile sferelor de detectie (PM) si apoi ale celor 3 detectori inclusi in fiecare sfera, ce reprezinta cate un etaj pe fiecare cablu, ANTARES avand 12 linii de detectie a cate 25 de etaje;
3. construiesc detectorul ANTARES luand in considerare inaltimea fiecarui etaj;
4. construiesc 2 liste Monte-Carlo (*lista* respectiv *suplista*) de puncte independente distribuite uniform pe o sfera ce include detectorul ANTARES;
5. alege unul din parametrii de drum mediu liber ce corespunde vitezei si sectiunii eficace (*theMeanFreePath*);
6. pe baza a doua puncte alese aleator din *lista* construiesc segmentul de dreapta ce reprezinta directia de propagare a MM prin detector;
7. distribuie folosind variabila *theMeanFreePath* ce este luata ca si medie a unei distributii Poisson, pozitiile unde MM va face cataliza protonului rezultand o imagine similara cu Fig. 2 si le salveaza in lista denumita *solutiilapuncte*;
8. la fiecare astfel de pozitie din lista *solutiilapuncte* se calculeaza directia de dezintegrare a protonului in doua particule aflate una in spatele cealalte astfel: se aleg aleator 2 puncte din a doua lista, *suplista* si se folosesc pentru a defini o directie aleatoare;
9. pe aceasta directie aleatoare se construiesc segmentul de dreapta generat de propagarea si dezintegrarea in apa a particulelor de dezintegrare, fie pozitron si pion sau kaon si miuon si atenuarea acestora in apa, se salveaza in listele *solutiilapuncteinapa* si *solutiilapuncteinapaopus*;
10. se construiesc conurile de lumina asociate acestor dezintegrari si se salveaza in *conelineListPhotons* si *conelineListPhotonsOpus*;
11. folosind proceduri geometrice se calculeaza daca aceste conuri de lumina intersecteaza sferile de detectie PM si se salveaza in lista *ListOfPM* codurile PM-urile ce au fost lovite de catre

conurile de lumina;

12. procesul se repeta pentru fiecare din numarul de rulari alese, definit in cadrul variabilei *nrDeRulari*;
13. la sfarsitul rularilor se aduna toate codurile PM lovite de conurile de lumina si se calculeaza timpul de sosire corespunzator fiecarei detectii si se sorteaza pe fiecare rulare;
14. se scrie intr-un fisier standard de date respectand codul ANTARES de scriere a datelor MC.

Metoda de analiza cu dezorbiri (unblinding policy)

Experimentul ANTARES foloseste aceasta metoda ca si politica pentru analiza de date si identificarea semnalelor ce trec prin detector.

Ea se bazeaza pe urmatorul principiu general astfel, pe baza simularilor Monte-Carlo, a definirii taierilor si a elementelor de identificare (trigger) se face o cerere oficiala in cadrul colaborarii pentru a primii datele ascunse (blind). Aceste date sunt identice cu cele reale in afara de unul dintre parametrii de identificare care poate sa fie de pozitie sau de timp. Astfel se lucreaza pe date aproape reale in analiza lor si se cauta semnale ce poarte aceeaasi semnatura ca si cea data de evenimentul specific, in cazul nostru trecerea unui GUT MM prin detector. Dupa efectuarea analizei si identificarea eventualelor semnale se face cererea de dezrobire (unblinding) prin care se primeste si componenta finala a datelor urmand sa se faca analiza finala pe datele reale, verificand prezenta unui MM sau punand limite pentru detectia acestuia.

Astfel, in cazul GUT MM, avem urmatorii pasi urmand ca la incheierea tuturor simularilor MC sa se face cererea oficiala de dezrobire:

1. determinarea celor mai potrivite valori ale parametrilor de cataliza a protonului de catre un MM folosind simulari ale interactiei acestui proces cu detectorul ANTARES;
2. definirea taierilor in scopul maximalizarii eficientei analizei si reducerii fondului;
3. generarea unui numar semnificativ statistic de simulari MC si validarea lor;
4. incarcarea acestor simulari in programul *TriggerEfficiency* care adauga fondul optic natural la semnalul fizic dat de trecerea unui MM si simuleaza efectul electronicii urmand ca in final sa aplice algoritmi de detectie (trigger algorithms);
5. cererea oficiala de dezrobire.

Cautarea nuclearitilor in telescopul pentru neutrini ANTARES si extensie la KM3NeT.

In aceasta etapa am realizat o strategie imbunatatita de analiza si am estimat sensibilitatea detectorului pentru un flux de nucleariti descendenti, folosind date experimentale ANTARES din 2009, urmand ca analiza sa fie extinsa asupra datelor achizitionate in perioada 2010-2013.

Pentru analiza prezenta, au fost selectate date experimentale din 2009 pe baza anumitor criterii de calitate, printre care o contributie redusa a bioluminiscentei (lumina produsa de organisme marine) si o buna calibrare a detectorului. Analiza utilizeaza procedura ANTARES de blinding a datelor, care consta in definirea si optimizarea criteriilor de selectie folosind simulari Monte Carlo si validarea simularilor pe o fractiune din datele disponibile. Pentru aceasta analiza, am utilizat o fractiune echivalenta cu ~ 13 zile de achizitie de date.

Am efectuat noi simulari Monte Carlo de nucleariti, de tip "run-by-run", in acord cu cerintele Colaborarii ANTARES. In acest caz, se realizeaza simulari pentru fiecare run experimental de fizica selectat pentru analiza, astfel incat simularile sa redea conditiile reale de achizitie de date, inclusiv fondul optic. Am simulat semnalul produs de nucleariti cu mase de 10^{14} , 10^{15} , 10^{16} , 10^{17} GeV. Pentru fondul reprezentat de muonii atmosferici, am folosit de asemenea date Monte Carlo obtinute din simulari "run-by-run".

Cu toate ca in datele experimentale selectate se exclud run-urile cu bioluminiscenta crescuta, aceasta se poate manifesta sub forma unor explozii de lumina in care ratele cresc pana la cativa MHz pe perioade de cateva secunde sau chiar mai scurte, care imita intr-o oarecare masura semnalul produs de nucleariti. Pentru a identifica aceste explozii, se folosesc diferite programe ANTARES, care fie permit vizualizarea evenimentelor din secventa de timp corespunzatoare (event display), fie redau diferite caracteristici ale acestora.

La procesarea nuclearitilor si a muonilor atmosferici simulati, au fost utilizati algoritmi standard de selectie (triggere) pentru muoni, care cauta coincidente locale in intervale de timp predefinite, compatibile cu semnalul asteptat de la o particula relativista. O coincidenta locala (semnal L1) este data fie de un semnal cu sarcina electrica mare (e.g. $q > 3$ fotoelectroni), fie de minim doua semnale L0 (semnale cu prag de sarcina electrica $q > 0.3$ fotoelectroni) produse intr-un interval de 20 ns in doi fotomultiplicatori de pe acelasi etaj.

Atunci cand un muon declanseaza trigger-ul, toate semnalele provenite de la fotomultiplicatori sunt inregistrate intr-un snapshot, avand o durata care cuprinde $2.2 \mu\text{s}$ inainte si $2.2 \mu\text{s}$ dupa clusterul de semnale L1. Cand semnalele de la mai multe evenimente se suprapun, are loc o contopire a acestor semnale, rezultand un snapshot cu o durata mai mare.

Dupa procesarea cu algoritmi standard de selectie pentru particule relativiste, majoritatea

nuclearitilor, care sunt particule lente cu $\beta \approx 10^{-3}$, se prezinta sub forma unor secvente de snapshot-uri de durate variabile. Durata unui snapshot depinde de masa nuclearitului, de distanta de la trajectorie pana la cel mai apropiat modul optic, si variaza de la durate caracteristice muonilor ($dt \geq 4.4 \mu s$), pana la cateva ms.

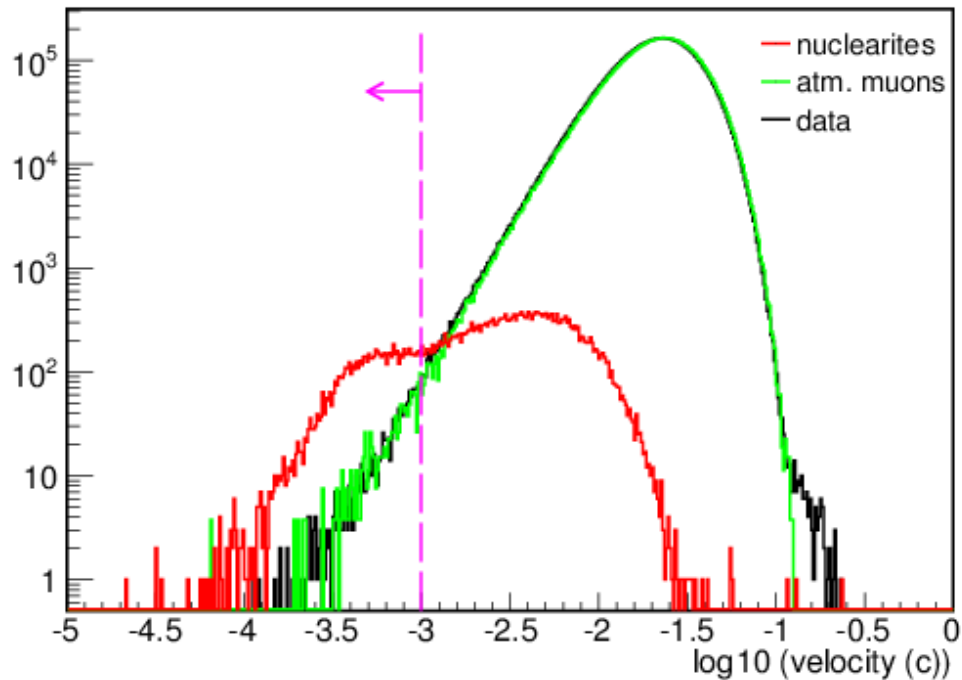


Figura 6. Distributiile vitezelor reconstruite pentru nucleariti si muoni simulati, date experimentale per snapshot, cu prima conditie de selectie $v < 10^{-3}c$.

Intr-o prima etapa a separarii semnalului produs de nucleariti de fondul reprezentat de muoni atmosferici, am realizat reconstructia trajectoriilor pentru fiecare snapshot, folosind distributia centrului de sarcina electrica in functie de timpul semnalelor. Aceasta reconstructie porneste de la faptul ca lumina este emisa isotropic de-a lungul trajectoriei nuclearitilor, iar centrul de sarcina electrica estimeaza pozitia sursei la un moment dat. Procedura consta in recuperarea informatiei de timp, sarcina electrica si pozitie a modulelor optice pentru fiecare semnal dintr-un snapshot si distribuirea acestora in histograme de timp cu bin-uri de 500 ns. Histogramele centrului de greutate al sarcinii electrice proiectat pe fiecare axa sunt obtinute din relatia $\frac{\sum q_i \cdot \sum pos_i}{\sum q_i}$, unde $pos = x, y, z$ reprezinta pozitia modului optic unde a fost detectat semnalul, iar $i = 1, 2, \dots, n$ reprezinta numarul de semnale din fiecare bin.

Deoarece se presupune ca trajectoria nuclearitilor este liniara, evolutia in timp a distributiei

sarcinii electrice este aproximata cu o linie dreapta. Vitezele medii partiale la nivelul detectorului, ca si erorile corespunzatoare acestora, sunt determinate din fitul liniar al distributiei centrului de sarcina proiectat pe fiecare axa, in functie de timp. Cu ajutorul acestor viteze partiale reconstruite, obtinem apoi viteza reconstruita totala, unghiul de zenit al traiectoriei si erorile corespunzatoare.

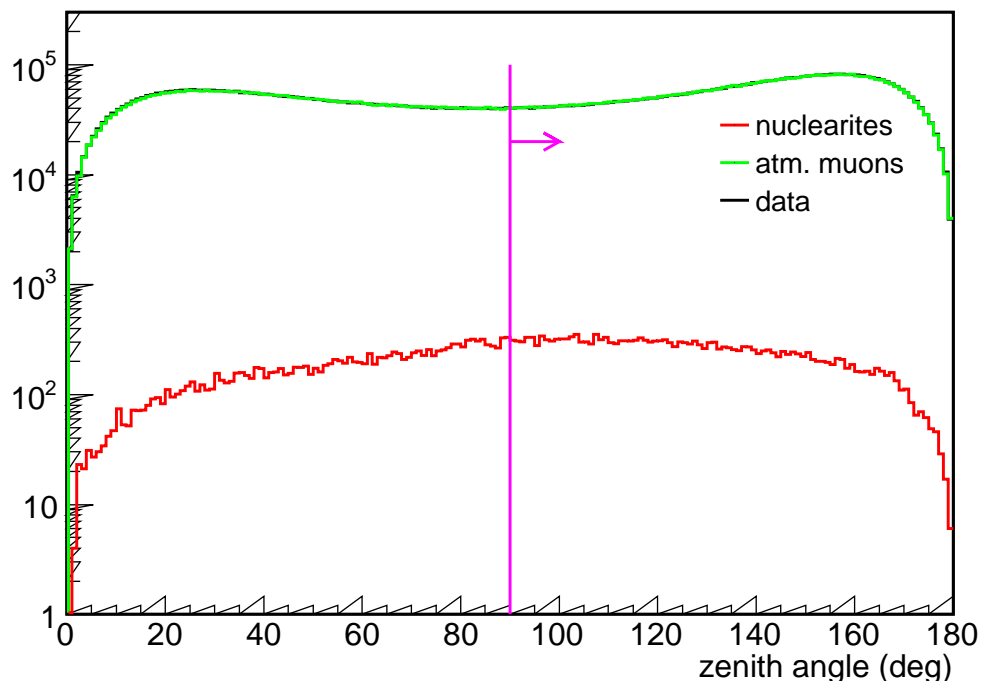


Figura 7. Distributiile unghiului de zenit reconstruit pentru nucleariti si muoni simulati, date experimentale per snapshot, cu conditia de selectie $\theta > 90^\circ$.

Procedura de reconstructie a fost aplicata fractiunii de date experimentale selectate, muonilor atmosferici si nuclearitilor simulati. Distributia logaritmica a vitezei reconstruite pentru date experimentale, muoni si nucleariti simulati per snapshot este reprezentata in Figura 6, iar distributia unghiului de zenit reconstruit este reprezentata in Figura 2. In ambele grafice, numarul de muoni MC este normalizat la numarul de evenimente din datele experimentale. In ceea ce priveste comparatia date experimentale – muoni MC, se observa un acord rezonabil pentru distributia vitezei, cu exceptia excesului de evenimente care apare in extremitatea dreapta a distributiei. Contributia din partea bioluminiscentei este asteptata in zona vitezelor joase ($v < 10^{-2}c$). Se observa un bun acord pentru distributia unghiului de zenit intre date experimentale – muoni MC. Pe baza acestor distributii, conditiile de selectie de nivel 1 sunt definite astfel: viteza reconstruita $v < 10^{-3}c$ si unghiul de zenit $\theta > 90^\circ$, in acord cu caracteristicile nuclearitilor, i.e. viteze nerelativiste si traiectorii descendente.

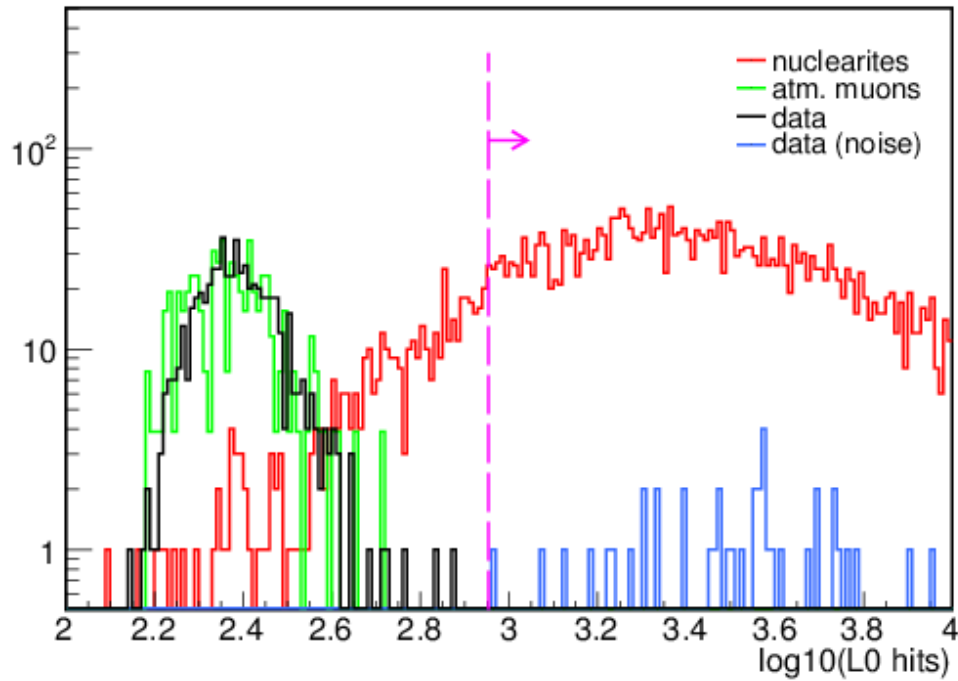


Figura 8. Distributia numarului de semnale L0 pentru nucleariti si muoni simulati, date experimentale per snapshot. Snapshot-urile cu valori mari din datele experimentale sunt reprezentate cu linie albastra si sunt eliminate de cut-ul C2a reprezentat de linia verticala intrerupta.

Pentru a doua etapa a analizei, au fost studiate cateva variabile discriminante pentru a selecta, dintre snapshot-urile care au trecut de primul cut, pe cele care apartin unui nuclearit. Aceste variabile discriminante au fost durata snapshot-ului, numarul de semnale L0 si numarul de semnale L1. Cel mai bun discriminant s-a dovedit a fi numarul de semnale L0. Figura 8 arata distributia logaritmica a numarului de semnale L0 pentru date experimentale, nucleariti si muoni simulati per snapshot care au trecut de primul cut, cu numarul de muoni MC normalizat la numarul de evenimente din datele experimentale. Se observa ca distributia de semnale L0 pentru date experimentale prezinta valori mari, care nu se regasesc in distributia muonilor MC. Aceste snapshot-uri/evenimente se afla in cateva frame-uri din doua run-uri, 39360 si 39680, si sunt prezentate in Figura 4 cu linie albastra. Investigatia acestor evenimente cu instrumentele specifice a aratat prezenta bioluminiscentei in respectivele frame-uri (informatie ordonata in intervale de 104 ms). Numarul tuturor snapshot-urilor gasite in aceste frame-uri (incluzand cele declansate de algoritmi de selectie unidimensionali) este mai mare decat numarul care apare de obicei in run-urile de calitate, dupa cum se observa in Figura 9. Pentru a elimina snapshot-urile suspecte, a fost definit un cut C2a: $N_s < 200$ snapshot-uri, care a fost aplicat numarului de snapshot-uri pe frame din datele experimentale, cat si numarului de snapshot-uri per eveniment

produse de nucleariti.

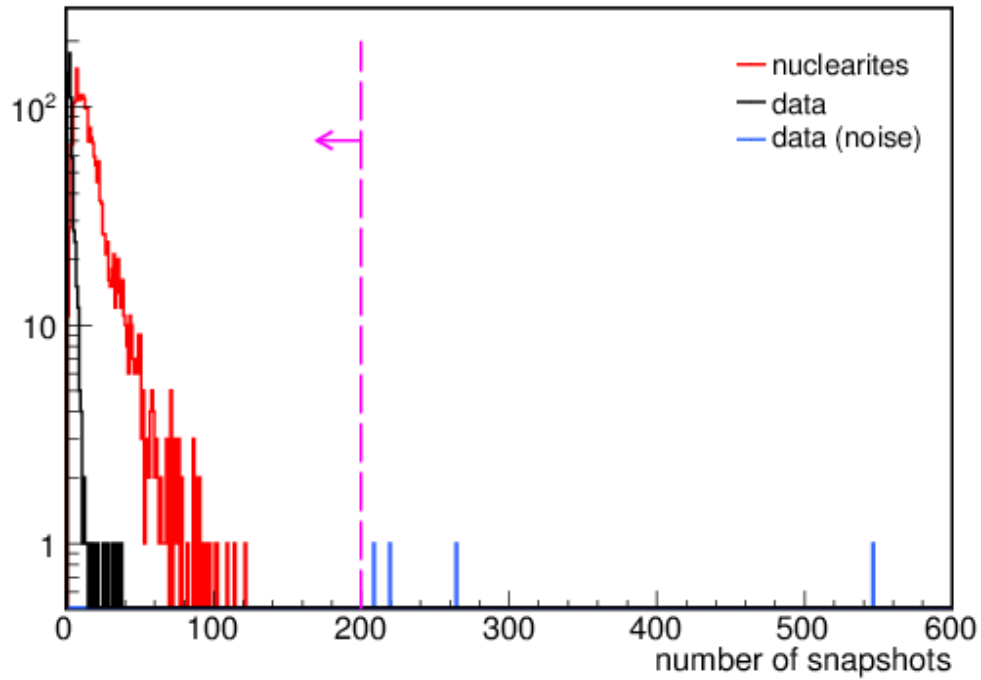


Figura 9. Distributia de snapshot-uri per eveniment pentru nucleariti simulati si snapshot-uri per frame pentru datele experimentale; frame-urile cu zgomot sunt reprezentate cu linie albastra. Cut-ul C2a: $N_s < 200$ snapshot-uri elimina contributia bioluminiscentei.

Dupa indepartarea zgomotului, distributiile numarului de semnale L0 pentru muoni MC si date experimentale sunt intr-un acord rezonabil. Pentru a obtine cea mai buna sensibilitate a detectorului, cut-ul pentru numarul de semnale L0 a fost optimizat. Cea mai buna sensibilitate se obtine prin

minimizarea asa-numitului Model Rejection Factor, $MRF = \frac{\bar{\mu}_{90\%}(n_b)}{n_s}$, unde $\bar{\mu}_{90\%}$ este “limita superioara de flux” care ar fi observata de un ansamblu de experimente ipotetice fara semnal real si numar de evenimente de fond estimate n_b . Factorul $\bar{\mu}_{90\%}$ este luat din tabelele Feldman-Cousins. Numarul de evenimente din fond a fost determinat prin extrapolarea distributiei de semnale L0 pentru muoni MC, normalizata la distributia datelor experimentale, iar n_s este dat de numarul de nucleariti care trec de cut-uri.

Valoarea cut-ului pentru numarul de semnale L0, denumita C2b, a fost aleasa pentru valoarea minima a MRF obtinuta pentru nucleariti. Conditia de selectie cere ca numarul de semnale L0 per snapshot sa fie mai mare de 900, dupa cum este aratat in Figura 3. Dupa aplicarea acestui cut, niciun muon MC sau eveniment din date experimentale nu a supravietuit.

Ca un ultim pas in identificarea candidatilor, snapshot-urile care trec de cut-uri folosesc la identificarea altor snapshot-uri din jurul lor intr-un interval de ~ 1 ms, i.e. timpul necesar unei particule cu viteza $\beta \sim 10^{-3}$ sa traverseze detectorul. Daca este identificat un candidat, secventa de snapshot-uri este reconstruita ca eveniment individual.

Rezultatele conditiilor de selectie aplicate atat nuclearitilor si muonilor simulati, cat si datelor experimentale sunt prezentate in Tabelul 1.

set de date	snapshot-uri	dupa cut-uri C1	dupa cut-ul C2a	dupa cut-ul C2b	evenimente reconstruite
nucleariti MC	36403	5626	5626	5190	2254
muoni MC	2431379	152	152	0.0065	0
experimentale	9135988	628	587	0	0

Tabel 1. Numarul de snapshot-uri in fiecare set de date considerat, numarul de snapshot-uri ramas dupa aplicarea conditiile de selectie de nivel 1 (C1) si de nivel 2 (C2) datelor experimentale, nuclearitilor si muonilor simulati. Ultima coloana arata numarul de evenimente ramase in set-urile de date studiate.

La calculul sensibilitatii detectorului pentru un flux de nucleariti, a fost utilizata formularea Feldman-Cousins, si s-au considerat evenimente cu o distributie Poisson:

$$\phi_{90\%} = \frac{\bar{\mu}_{90\%}}{A \cdot T},$$

unde A este acceptanta detectorului si T este timpul efectiv de achizitie.

Acceptanta detectorului A pentru un flux de nucleariti descendenti este determinata pentru fiecare masa simulate astfel:

$$A = S \cdot \frac{N_{nucl}}{N_{sim}},$$

unde S este aria semisferei de simulare si N_{nucl}/N_{sim} este raportul dintre numarul de nucleariti care trec de conditiile de selectie si numarul de evenimente simulate.

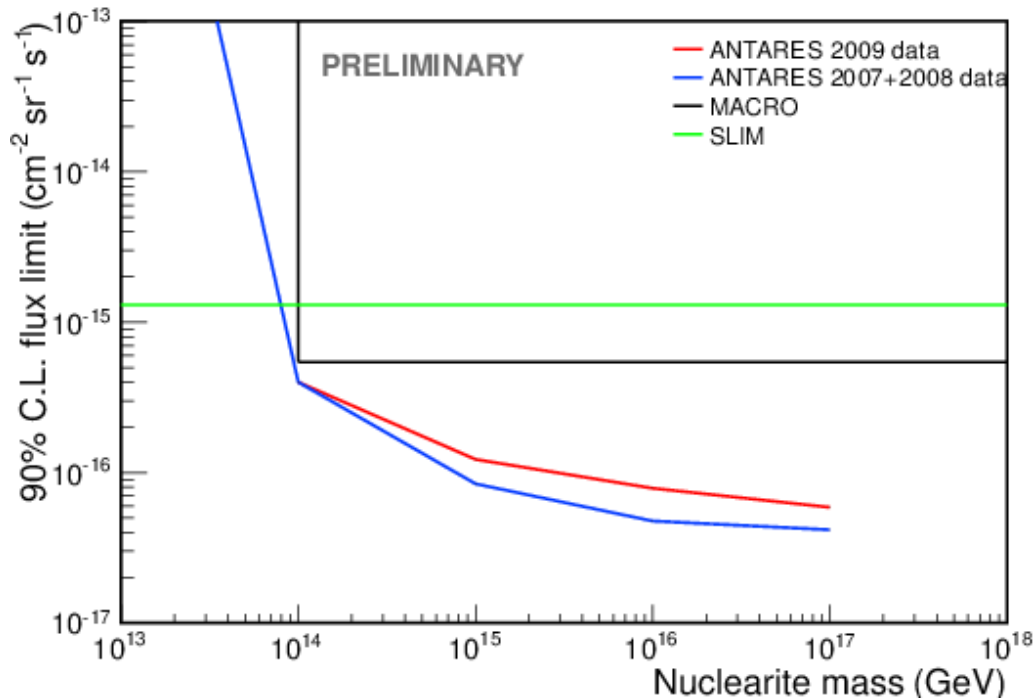


Figura 10. Sensibilitatea ANTARES pentru un flux de nucleariti descendenti, obtinuta pentru 159 de zile de achizitie.

In Figura 10 este prezentata sensibilitatea estimata dupa analiza a ~ 159 zile de achizitie de date din 2009. Sensibilitatea preliminara a detectorului ANTARES este comparata cu limitele obtinute de experimentele MACRO si SLIM si cu limitele superioare de flux obtinute din analiza datelor ANTARES achizitionate in 2007 si 2008.

In concluzie, o noua analiza a fost elaborata pentru cautarea nuclearitilor cu detectorul ANTARES, folosind date achizitionate in 2009. Dupa ce majoritatea fondului a fost eliminata dupa aplicarea cut-urilor asupra parametrilor traiectoriei reconstruite, au fost observate indicii de prezenta a exploziilor de bioluminiscenta in evenimentele ramase din datele experimentale. Cu aceste evenimente eliminate pe baza zgomotului din frame-urile corespunzatoare, o conditie de selectie finala optimizata a permis indepartarea fondului si calcularea sensibilitatii detectorului. Rezultatele preliminare sunt comparabile cu limitele superioare pentru un flux de nucleariti descendenti, obtinute intr-o analiza anterioara a datelor experimentale ANTARES din 2007 si 2008. Aceasta analiza va fi extinsa la datele achizitionate in perioada 2010-2013, iar rezultatele obtinute de experimentul ANTARES vor fi imbunatatite.

Cautarea Q-balls in telescopul pentru neutrini ANTARES si extensie la KM3NeT.

In teoriile supersimetrice ce presupun existenta unui camp scalar ce transporta un numar cuantic conservat, pot exista solitoni netopologici stabilizati de conservarea globala a sarcinii, cunoscuti sub denumirea generica de Q-balls. Desi natura acestor obiecte este total diferita de nucleariti sau monopoli magnetici, interactia lor cu substanta poate mima semnalele caracteristice pentru aceste particule; acesta este motivul pentru care am initiat cautarea semnaturii Q-balls in ANTARES dupa stabilizarea procedurilor corespunzatoare monopolilor si nuclearitilor. Trecerea unui Q-ball lent in spatiul sensibil al detectorului poate produce doua efecte: unul, dominant, este similar cu emisia de radiatie de corp negru in urma ciocnirilor quasi-elastice cu atomii din mediu, celalalt mimeaza catalizarea dezintegrarii protonului de catre monopolii GUT (de fapt e vorba de un proces de convertire a quarcilor in materie supersimetrica).

In aceasta faza initiala investigam propagarea Q-balls in Pamant, in vederea intelegarii conditiilor in care acestia pot ajunge la nivelul telescopului. Activitatea este in desfasurare.

Concluzii

Activitatile prevazute in acest proiect se desfasoara in conformitate cu planul de realizare. In perioada de raportare mai pot fi mentionate si alte realizari:

- Realizarea a trei shift-uri de culegere de date la telescopul ANTARES. Shift-urile au fost realizate de la distanta, ne-existand finantare suficienta pentru shift-uri in situ.
- Rezultate ale prezentului Proiect au fost aprobate de Colaborare si prezentate de catre G. E. Pavalas la Conferinta Internationala de Raze Cosmice 2015, Haga, si publicate in Proceedings of Science.
- Purtatorul de cuvnt al Colaborarii KM3NeT, Prof. Maarten DeJong, a fost invitat de catre ISS si a participat cu o lectie plenara la Conferinta dedicata Anului International al Luminii, de la Palatul Parlamentului, octombrie 2015.
- Gabriela Emilia Pavalas a sustinut teza de doctorat bazata pe cautarea nuclearitilor in ANTARES, obtinand calificativul “excelent”. Teza a fost realizata in cadrul activitatilor

prezentului Proiect, si coordonata in co-tutela de Universitatile din Bucuresti si Bologna. Conducatorii de doctorat au fost profesorii Calin Besliu (Bucuresti) si Maurizio Spurio (Bologna), acesta fiind si vice-spoksmen al Colaborarii ANTARES

Director de Proiect.

Dr. Vlad Popa