

Raport stiintific

privind implementarea proiectului Particule exotice super-masive in telescoape

pentru neutrini in perioada ianuarie – decembrie 2014

Restrangerile bugetare manifestate pentru perioada de raportare, au facut necesar ca activitatile grupului de cercetare sa se restranga, conform Anexei IV la contractul de finantare nr. 32/2011, la 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.

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

Definirea taierilor in scopul maximalizarii eficientei analizei si reducerii fondului

Estimarea fondului de zgomot in cazul trecerii unui MM prin detector include evenimente necorelate (intamplatoare) datorate dezintegrarii radioactive in jurul unui detector cat si evenimente corelate datorate muonilor atmosferici. Estimarea acestora si definirea unui sistem de semnalizare (trigger) pentru sistemul de achizitie de date presupune estimarea fluxului maxim de MM disponibil pentru fiecare dintre parametrii β si a sectiunii eficace considerate. Acesti parametrii reprezinta cei mai importanti din punct de vedere experimental. Datorita vitezei relative mici comparata cu un muon (in jur de 1000 de ori mai mica) monopolul produce o mare cantitate de lumina Cherenkov in detector ce poate semnaliza si activa si sisteme special realizate pentru detectia particulelor relativiste.

Pentru a defini si alege cea mai optima metoda de selectie a procedurii detectiei de monopoli GUT (Grand Unified Theory) in cadrul experimetului ANTARES am calculat pentru inceput valorile drumului mediu liber in apa pentru GUT MM. Astfel, luand in considerare ca densitatea apei este in jur de $1[\text{g}/\text{cm}^3]$ iar o unitate de volum de 1 cm^3 are 1 g, iar masa este numarul de molecule inmultit cu masa unei molecule, rezulta ca numarul de molecule de apa in unitatea de volum este masa unei molecule de apa la puterea -1. Cum 1 mol de apa are NAVogadro molecule, rezulta ca o molecula de apa are 3×10^{-23} g. Avand in vedere ca sunt 10 protoni intr-o molecula de apa rezulta ca numarul de protoni in unitatea de volum de 1 cm^3 este de 3.33×10^{23} .

Folosind definitia drumului mediu liber pentru particule elementare avem ca:

$$\mathbf{l} = \frac{\mathbf{1}}{\sigma_{\text{cat}} \times \mathbf{N}}$$

unde l este drumului mediu liber, σ_{cat} este sectiunea eficace de cataliza iar N este numarul de protoni in unitatea de volum.

Folosind sectiunea eficace deteminata anterior si de asemenea utilizand mai multi parametrii β (10^{-2} , 5×10^{-3} , 10^{-3} , 5×10^{-4} si 10^{-4}) avem pentru intervalul de sectiuni eficace determinat valori prezentate in Fig. 1.

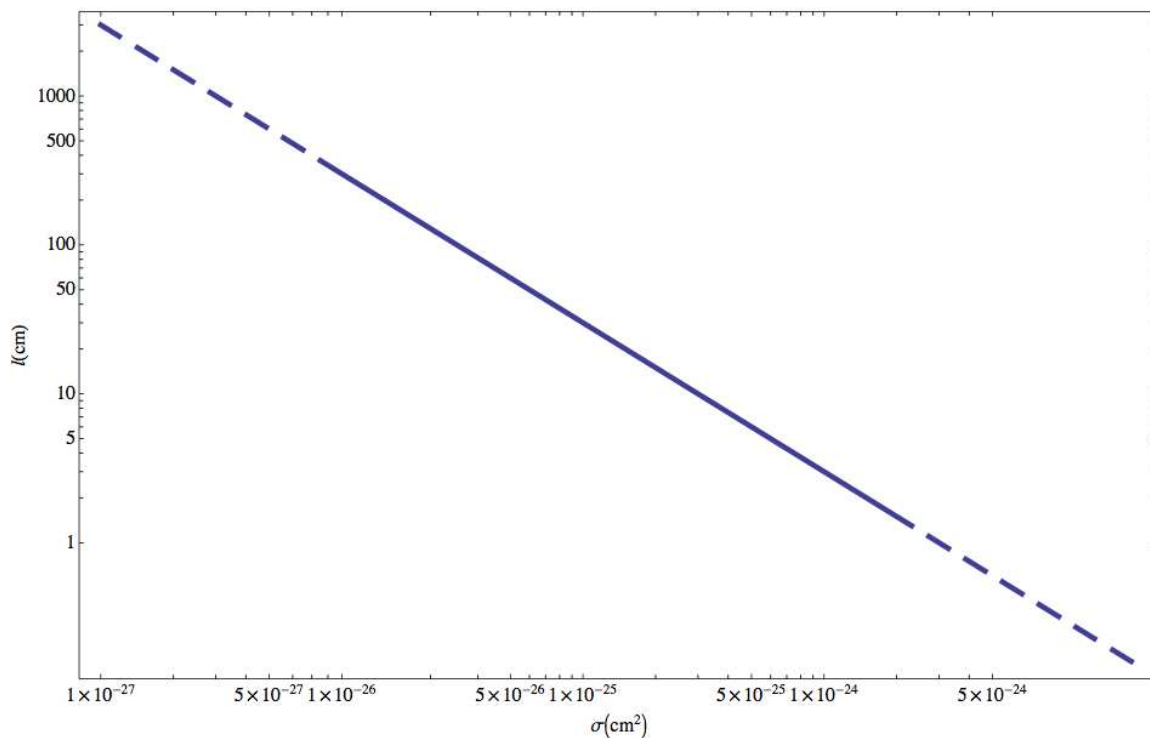


Fig. 1. Drumul mediu liber prin apa al unui MM in functie de valorile parametrului β si a sectiunii eficace considerate.

Folosind pasii de simulare a trecerii unui GUT MM prin experimentul ANTARES definiti in precedentul raport am extins plaja de simulari luand in considerare intregul interval de parametrii β si σ_{cat} . De asemenea am extins pe cat posibil (in functie de puterea de calcul avuta la dispozitie) numarul de rulari pentru fiecare caz in parte, astfel ca, pornind de la primele rulari de 1000 de cazuri, am crescut progresiv numarul lor la 3000, 5000 si chiar 10^4 rulari. Scopul final este de a reusi sa ajungem la un nivel semnificativ statistic de rulari de peste 10^5 rulari.

Am considerat 3 cazuri principale in cazul parametrului β si anume, pentru $\beta = \{10^{-2}; 10^{-3}; 5 \times 10^{-3}\}$. Pentru fiecare din cele 3 cazuri am calculat valoarea lui σ_{cat} care a fost folosita mai departe pentru a realiza simularile procesului de dezintegrare in cadrul detectorului. De asemenea am rafinat procesul de identificare a evenimentelor simulate in pasul anterior prin introducerea unui parametru de eficienta in realizarea inregistrarii dezintegrarii de carte detectorii ANTARES.

Rezultatele simularilor sunt prezentate în Fig. 2 care prezintă limitele fluxului de MM disponibil pentru experimentul ANTARES în toate cele 3 cazuri ale parametrului β considerate.

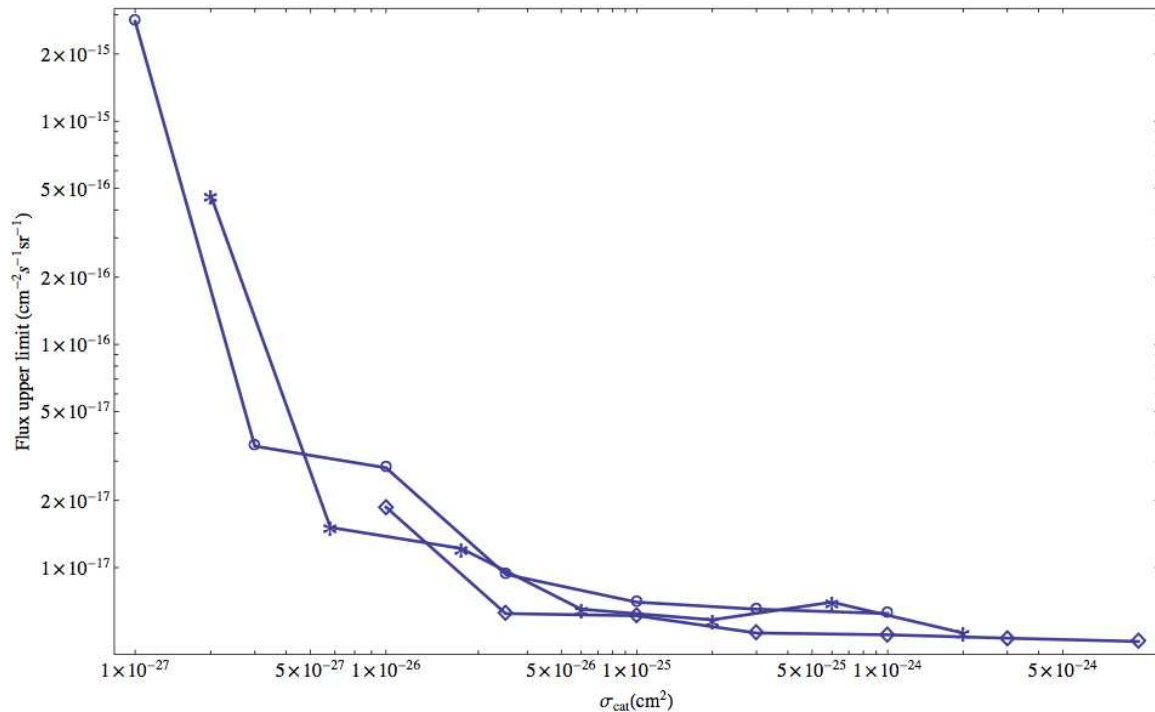


Fig. 2. Limitele de flux ale MM pentru experimentul ANTARES, însumând cele 3 cazuri ale parametrului β , romburi, stelute și cercuri corespunzând la $\beta = \{10^{-2}; 5 \times 10^{-3}; 10^{-3}\}$.

Aceste rezultate preliminare îmbunătățesc limitele impuse de cele mai precise măsurători pentru detectia de GUT MM realizate către colaborarea MACRO cu cel puțin un ordin de mărime.

Ca urmare a analizei efectuate am stabilit următorul algoritm de identificare a unui semnal de MM conform cu procesul fizic ilustrat în Fig. 3 și ce pot constitui premisa pentru un sistem de semnalare pentru sistemul de achiziție de date:

- Scanare a întregului set de date observate pentru identificarea evenimentelor separate de intervale de timp (intervalul de timp este variabil pentru diferite combinații ale parametrilor β și σ_{cut}) folosind de asemenea erorile de reconstrucție pentru fiecare interval;
- Reconstrucție a conurilor de lumina și identificarea spațială a punctului de origine;
- Verificarea condiției ca punctele de origine să fie aranjate aproximativ pe o dreaptă.

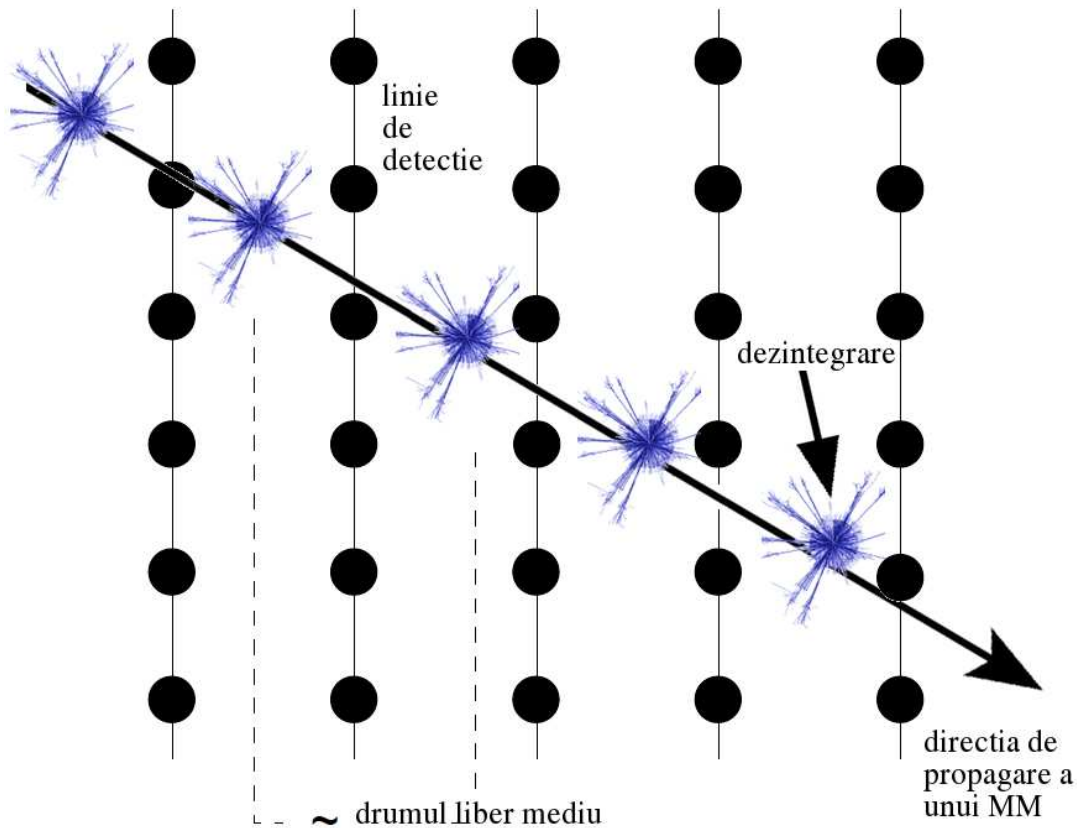


Fig. 3. Ilustrarea procesului de dezintegrare a unui MM in apa in cadrul experimentului ANTARES.

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

In aceasta etapa am propus si testat o varianta imbunatatita a strategiei de reconstructie a traiectoriei si vitezei nuclearitilor.

Strategia de reconstructie a nuclearitilor detectati porneste de la ideea ca deplasarea centrului de greutate al sarcinii electrice indica traiectoria particulei prin detector. Pentru realizarea distributiilor centrului de sarcina proiectat pe axele O_x , O_y si O_z s-au selectat toate semnalele produse de nuclearit cu sarcina $q > 0.3$ fotoelectroni. Prin fitarea liniara a distributiilor centrului de sarcina in functie de timp, se obtin vitezele partiale si se determina viteza totala medie a particulei prin detector si unghiul de zenit al traiectoriei.

S-a observat ca distributia diferentelor dintre viteza medie obtinuta din simulare si viteza medie reconstruita pentru nuclearitii detectati de diferite mase ($\beta_{true} - \beta_{reco}$) prezinta un shift sistematic fata

de valoarea 0, indicand valori ale vitezelor reconstruite mai mici decat vitezele din simulare. Un exemplu este prezentat in Figura 4.

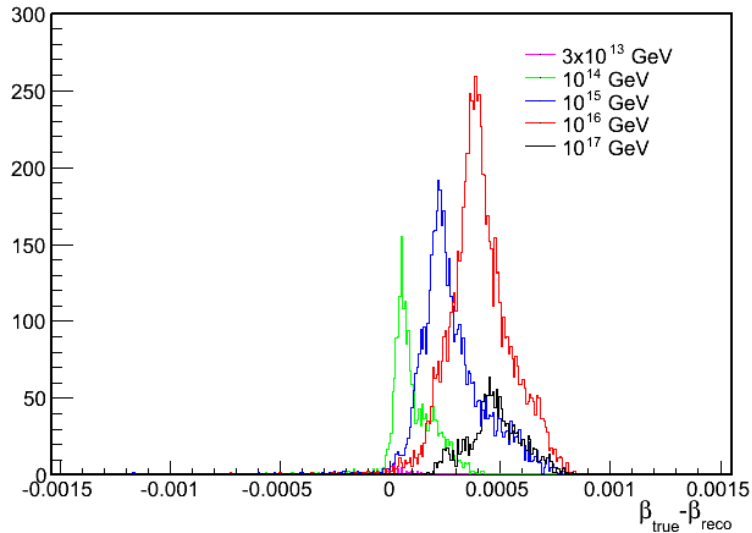


Figura 4. Distributia diferentelor intre viteza medie din simulare si viteza medie reconstruita din semnalul captat de detector, pentru nucleariti de diferite mase.

Pentru a verifica rezultatele strategiei de reconstructie, am testat o metoda imbunatatita, care presupune determinarea ecuatiei traiectoriei in sistemul de coordonate asociat punctului de intrare in semisfera de simulare, a coordonatelor x_0, y_0, z_0 si a vitezei v_0 la intrarea in semisfera. Semisfera de simulare are o raza de 548 m, si este dispusa simetric in jurul centrului de greutate al detectorului. Baza semisferei se afla pe fundul marii, la 100 m sub planul inferior al liniilor detectorului, care au o lungime de 348 m.

Substituind ecuatia energiei

$$E \simeq \frac{1}{2} M_N v^2 \quad (1)$$

in ecuatia pierderii de energie

$$\frac{dE}{dr} = -\sigma \rho v^2 \quad (2)$$

obtinem ecuatia vitezei

$$v(t) = \frac{1}{\frac{\sigma \rho}{M_N}(t-t_0) + \frac{1}{v_0}} \quad (3)$$

si ecuatia traiectoriei,

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{r}_0 + \frac{M_N}{\sigma \rho} \left[\ln \frac{\sigma \rho}{M_N} v_0 (t - t_0) + 1 \right] \quad (4)$$

unde M_N si v reprezinta masa si respectiv viteza nuclearitului, iar σ si ρ reprezinta sectiunea eficace a nuclearitului si densitatea mediului traversat de nuclearit.

Din fitul linear al distributiilor de sarcina proiectate pe cele trei axe ale sistemului de coordonate centrat in $O(0,0,0)$ si din conditia de intersectie a traiectoriei cu semisfera, determinam timpul t_0 si coordonatele punctului de intrare in semisfera de simulare. Rescriem ecuatia traiectoriei in sistemul de coordonate asociat punctului de intrare $r_E(t)$ si extragem valoarea vitezei v_0 la intrarea in semisfera din fitul linear aplicat distributiei $\exp(\frac{\sigma\rho}{M_N} r_E(t))$.

Din testarea acestei noi metode au rezultat valori ale vitezei si unghiului de zenit apropiate de valorile obtinute cu metoda standard de reconstructie a nuclearitilor. In concluzie, noua metoda a permis verificarea strategiei de reconstructie, dar nu a adus o imbunatatire semnificativa a rezultatelor.

Referindu-ne la strategia standard de reconstructie, un studiu al traiectoriei reconstruite din semnalul captat de detector, comparata cu traiectoria simulata pentru un nuclearit test de masa 10^{15} GeV, a aratat discrepante intre traiectoriile.

In cazul distributiei centrului de greutate al sarcinii pe axa Ox din Figura 5, fitul la distributie este deviat fata de traiectoria nuclearitului. Se observa ca semnalul la marginile distributiei este mai slab, in timp ce semnalul din partea centrala este mai intens, corespunzand unei apropieri a traiectoriei nuclearitului de anumite linii ale detectorului.

In ceea ce priveste distributia centrului de greutate al sarcinii pe axa verticala din Figura 6, fitul distributiei (traiectoria reconstruita) se plaseaza mai sus decat traiectoria simulata, un efect care poate fi explicat de geometria detectorului. Astfel, fotomultiplicatorii sunt orientati la 45° sub orizontala, ceea ce determina o acumulare a semnalului in etajele aflate deasupra traiectoriei nuclearitului, cum se observa in Figura 7.

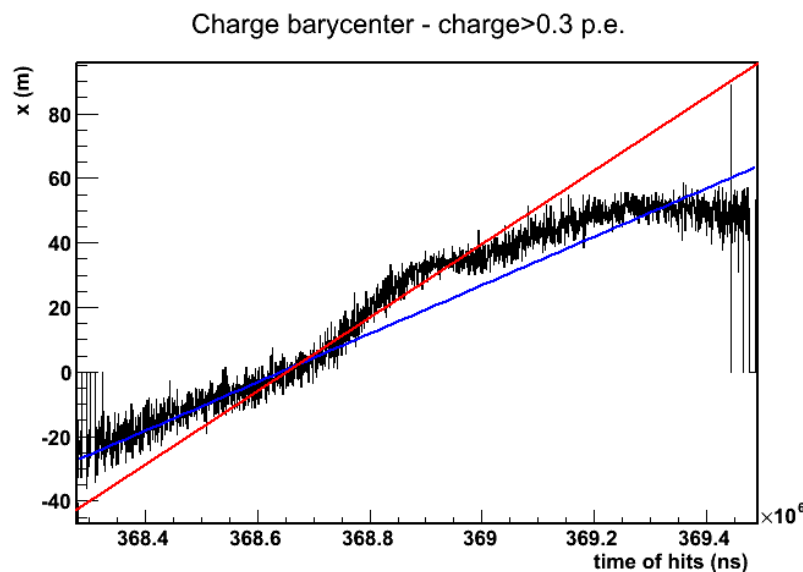


Figura 5. Distributia in timp a centrului de greutate al sarcinii pe axa Ox, traiectoria reconstruita (linia albastra) si traiectoria simulata (linia rosie).

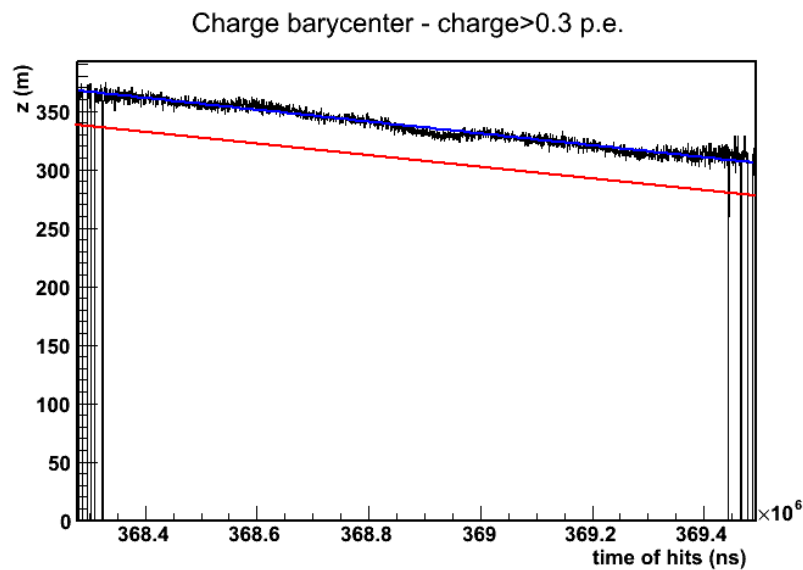


Figura 6. Distributia in timp a centrului de greutate al sarcinii pe axa verticala, traiectoria reconstruita (linia albastra) si traiectoria simulata (linia rosie).

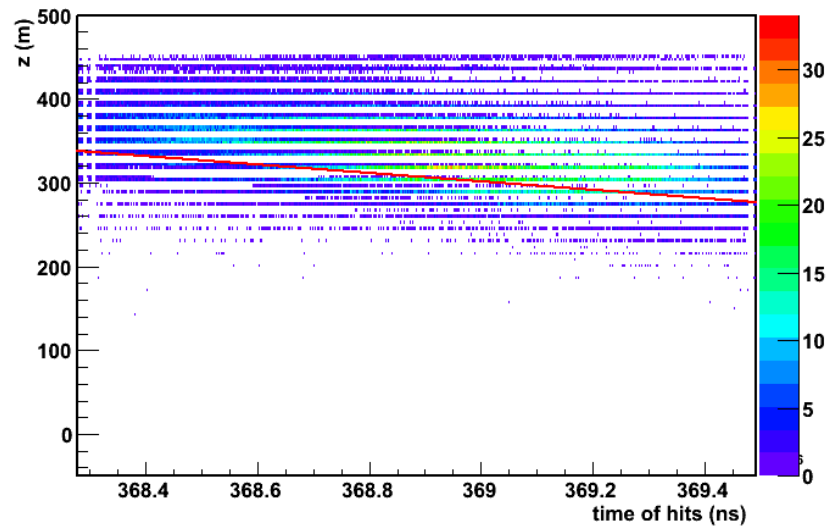


Figura 7. Distributia in timp a semnalelor captate de detector pe axa verticala, impreuna cu traiectoria simulata pentru nuclearitul de masa 10^{15} GeV.

Avand in vedere semnalul extins pe care il produc nuclearitiile in detector si efectul geometriei detectorului asupra acestuia, o solutie de imbunatatire a strategiei de reconstructie presupune

determinarea zonelor din detector cu semnalul cel mai intens si reconstructia traiectoriei in functie de aceste zone.

De asemenea, un trigger pentru detectia nuclearitilor este in studiu. Semnalul luminos produs de un nuclearit in detector poate fi observat prin cresterea ratelor de masurare ale fotomultiplicatorilor care sunt in apropierea traiectoriei. Plecand de la faptul ca traiectoria nuclearitului este rectilinie, mecanismul de detectie se bazeaza pe compararea ratelor de masurare ale fotomultiplicatorilor aflatii intr-un cilindru care traverseaza detectorul si ale fotomultiplicatorilor din afara acestui cilindru. Procedura poate fi iterata pentru un numar de directii dat, care sa acopere spatial fazelor.

Alte realizari ale proiectului

- Efectuarea a doua shift-uri de achizitie de date la telescopul ANTARES (februarie si septembrie 2014)
- Participare la [ANTARES/KM3NeT Collaboration Meeting in Leiden](#), Olanda, cu prezentarea rezultatelor recente in cautarea nuclearitilor (G. E. Pavalas).
- Prezentarea ANTARES si KM3NeT la Bucharest Science Fest, 2014 (V. Popa).
- 6 articole ISI (in colaborare)
- Definitivarea tezei de doctorat a G.E. Pavalas. Teza este elaborata in co-tutela intre Universitatile din Bologna si Bucuresti. Prezentarea publica a tezei va fi programata la inceputul anului 2015, in functie de disponibilitatea conducatorului din partea Universitatii Bologna, care este si vive purtator de cuvint al Colaborarii ANTARES.

Director de proiect,

Dr. Vlad Popa

