



RAPORTUL ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC

NR. CONTRACT:	PD 23 din 06/08/2020
TITLU PROIECT:	Studii si simulări privind detecția spațiala de nucleariti
NR. ETAPĂ:	Nr. 2/2021
TITLU ETAPĂ:	Simularea, reconstrucția si analiza de nucleariti cu ESAF si analiza datelor înregistrate de TUS
CONTINUT RAPORT:	A. Rezumat etapă B. Descrierea științifică și tehnică, cu punerea în evidență a rezultatelor etapei și gradul de realizare a obiectivelor C. Concluzii D. Bibliografie

A. Rezumat Etapă

Obiectivul general al prezentei etape de execuție a constat in simularea, reconstrucția și analiza posibilelor evenimente înregistrate de telescoapele orbitale pentru detecția de UHECR în urma implementării descrierilor teoretice de nucleariti în pachetul de programe ESAF desfășurata în etapa anterioara.

Obiectivele specifice ale etapei de execuție au inclus activități de simulare, reconstrucție și analiza de nucleariti folosind pachetul de software ESAF[1] dar și activități de implementare, optimizare, testare și verificare software în vederea simulării, reconstrucției și analizei de nucleariti folosind pachetul de software ESAF-D, o versiune modificata de grupul de la DUBNA în vederea testării și verificării evenimentelor înregistrate de Telescopul orbital TUS.

În particular, în conformitate cu Planul de Realizare a Proiectului, activitățile prezentei etape au inclus simularea de nucleariti și reconstrucția posibilelor surse folosind codul sursa ESAF precum și analiza rezultatelor simulării și reconstrucție, modificarea versiunii de ESAF Dubna

- ESAF-D pentru implementarea modelelor teoretice privind detecția de nucleariti, optimizare, testare și verificarea codului sursa în vederea simulării, reconstrucției și analizei evenimentelor detectate de telescopul orbital TUS. De asemenea prezenta etapa a cuprins și activități de diseminare precum participarea la seminarii, conferințe naționale și dezvoltarea website-ului proiectului.

B. Descrierea științifică și tehnică, cu punerea în evidență a rezultatelor etapei și gradul de realizare a obiectivelor

Activitatea 2.1: Simularea de nucleariti și reconstrucția posibilelor surse folosind ESAF.

În conformitate cu Planul de Realizare al proiectului, în cadrul acestei activități au fost efectuate o serie de simulări de propagare de nucleariti și curbele de lumina aferente în ferestre de timp de 1 ms ținând cont de parametri de funcționare ale telescoapelor orbitale (unghiul de vedere al telescopului, viteza orbitală, altitudinea orbitală). Deoarece Mini-EUSO precum și ceilalți precursori vor orbita la o altitudine apropiată de cea a ISS (Stației Spațiale Internaționale) ca și parametri de intrare pentru detector au fost folosite valorile de 7.8 km/s și 400 Km.

Pentru simulări de nucleariti am folosit următoarele date de intrare:

Masa	5-100 g
Viteza orizontală a telescopului	7.8km/s
Coordonatele inițiale ale telescopului	0-200km
Durata evenimentului	0-2s
Viteza de propagare a nuclearitului	50-500Km/s
Înălțimea maximă la care emisia luminii nuclearitului poate fi detectată de către telescop	Km

Spre exemplificare, așa cum se poate observa în Figura 1, Figura 2 și Figura 3, ca și date de ieșire pentru simulările pe care le-am efectuat avem distribuția numărului de fotoni pe planul focal al Telescopului Mini-EUSO, histograme privind numărul de fotoni raportat la fereastra de timp de detecție, tipuri de fotoni, fotoni vs lungimea de undă precum analiza spectrală a acestora.

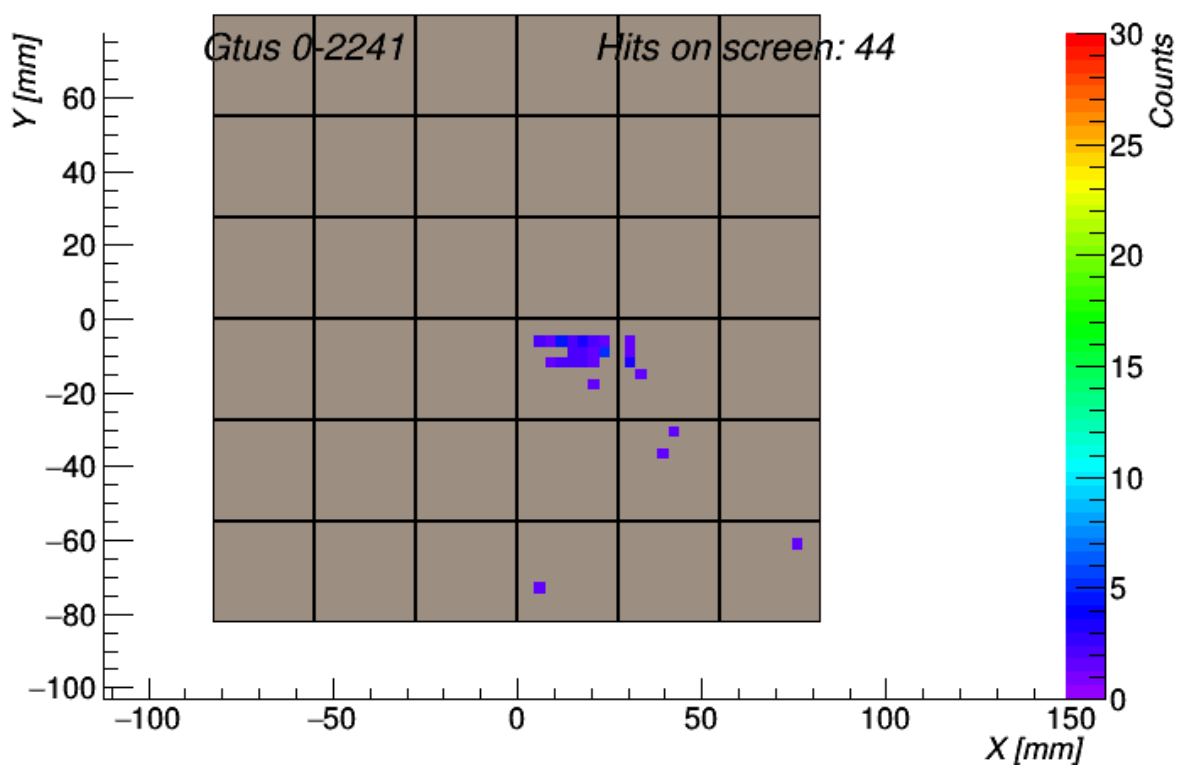


Figura 1. Distribuția fotonilor unui nuclearit pe planul focal al telescopului Mini-EUSO (masa nuclearitului simulat 20 g, viteza 100 km/s, durata evenimentului. 2 s, altitudinea 15 km).

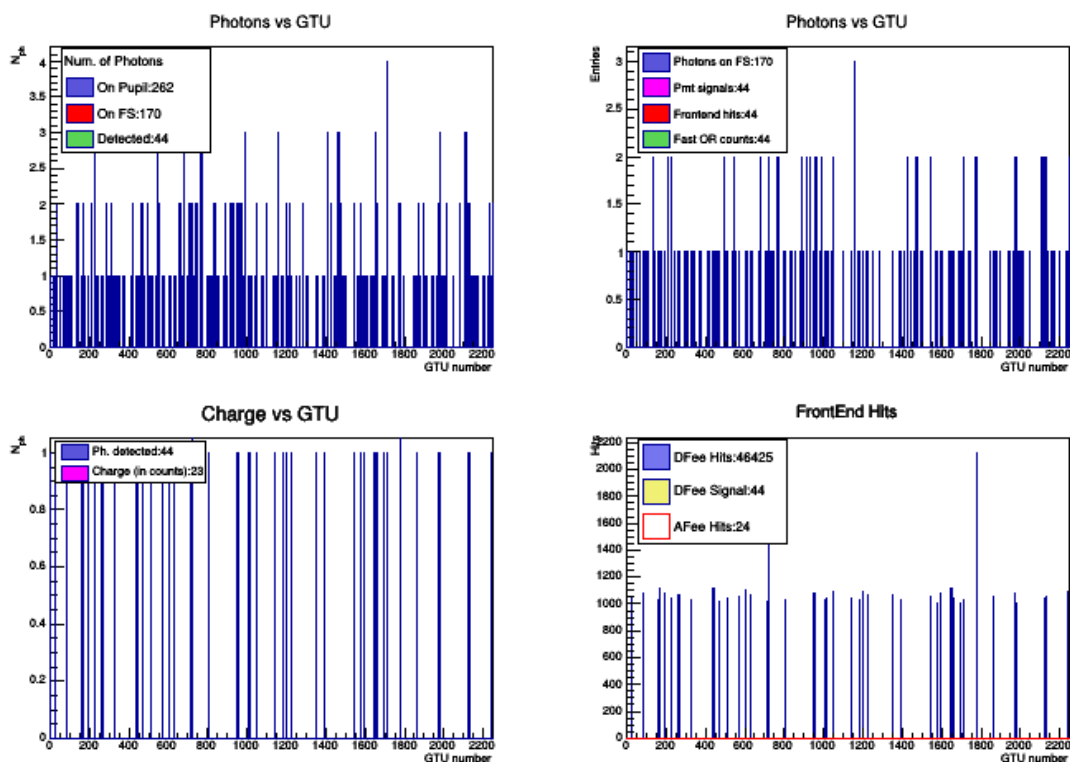


Figura 2. Histograme privind numărul de fotoni raportat la fereastra de timp de detectie (masa nuclearitului simulat 20 g, viteza 100 km/s, durata evenimentului 2 s, altitudinea 15 km).

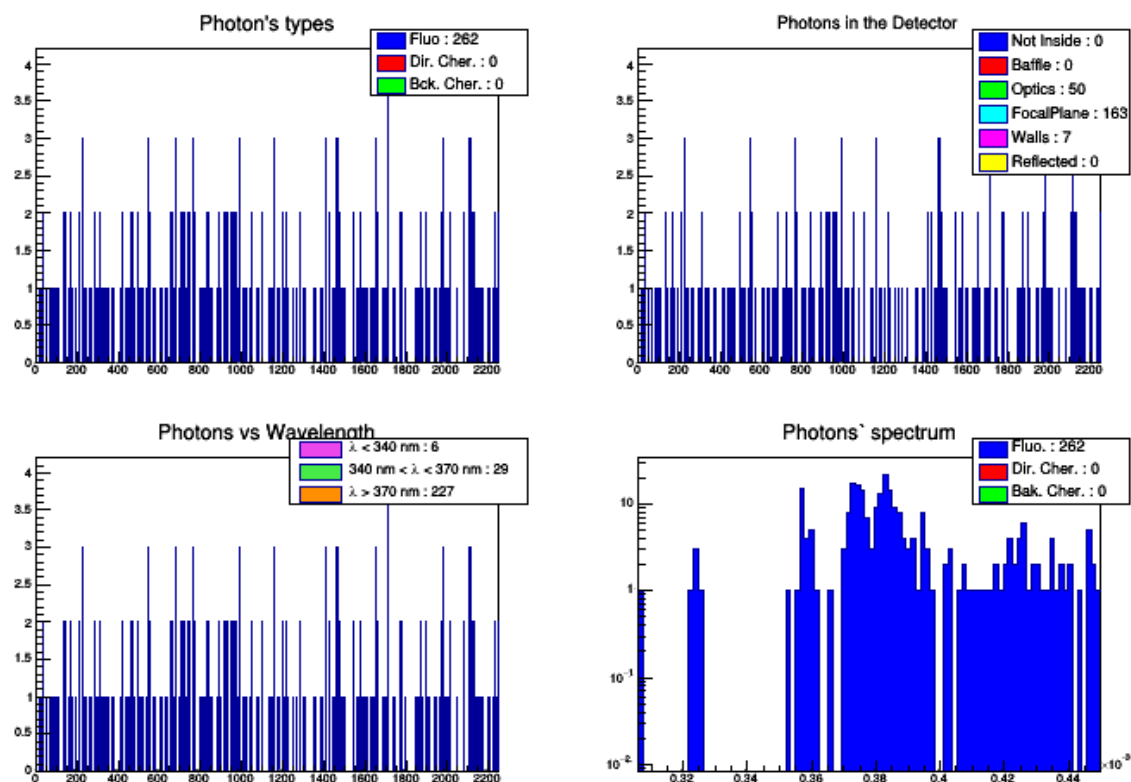


Figura 1. Histograme privind tipul de fotoni, lungimea de unda si distribuția spectrala (masa nuclearitului simulat 20 g, viteza 100 km/s, durata evenimentului. 2 s, altitudinea 15 km).

Activitatea 2.2: Analiza rezultatelor simulării si reconstrucției

În conformitate cu Planul de Realizare al proiectului, în cadrul acestei activități a fost efectuată analiza rezultatelor simulării si reconstrucție de nucleariti.

Astfel, activitățile expuse mai sus au condus la următoarele concluzii:

1. Evenimentele mai scurte de 0.1 s ar trebui neglijate deoarece sunt prea rapide pentru o analiza semnificativa .
2. Ținând cont de masa nuclearitilor: 5-100g si viteza de deplasare:250-500km/s acestea vor interacționa la altitudini mai joase in atmosfera (sub 30 km) spre deosebire de meteoriți care pot dezintegra începând cu 90 km altitudine.
3. Numărul de fotoni emiși de un nuclearit este semnificativ mai mic decât al unui meteorit, Figura 4, iar distribuția curbei de lumina este una liniara fata de gaussiana in cazul meteoriților.

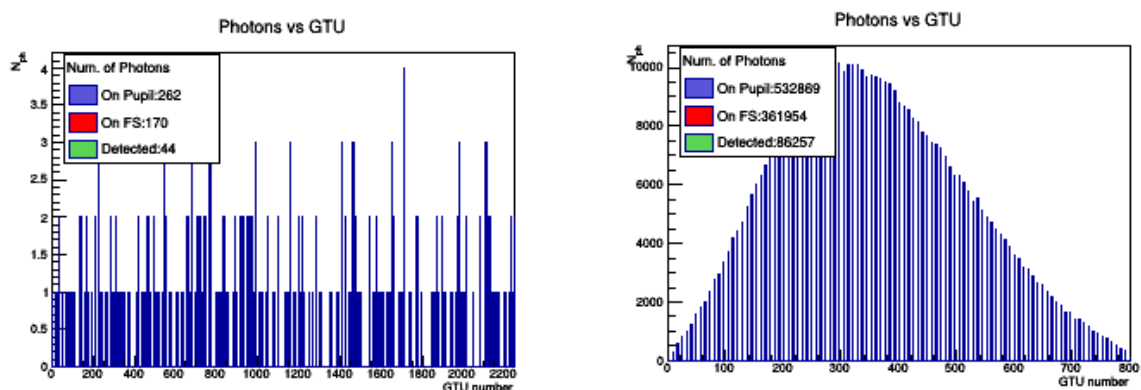


Figura 4. Histograme privind numărul de fotoni raportat la fereastra de timp de detectie (nuclearitului 20 g in stanga, viteza 100 km/s, meteorit aprox. 25 g).

Activitatea 2.3: Modificarea versiunii de ESAF Dubna - ESAF-D

În conformitate cu Planul de Realizare al proiectului, în cadrul acestei activități au fost revizuite componentele deja implementate in pachetul de programe ESAF-D cu referire la simularea, reconstrucția si analiza de meteori si implementarea unui subpachet dedicat nuclearitilor.

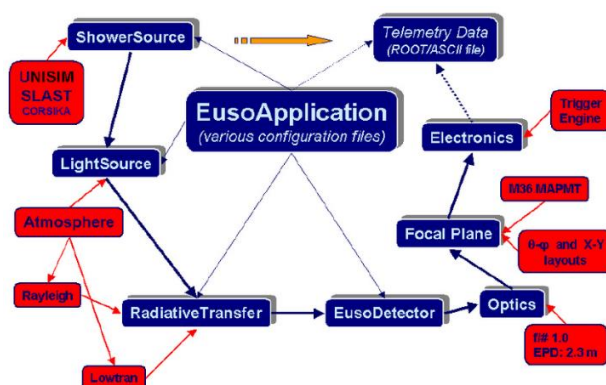


Figura 5. Arhitectura funcțională de simulare a pachetului software ESAF-D.

Aceste activități au presupus modificarea codului sursa a framework-ului ESAF-D in modulul de simulare, Figura 5, pachetul responsabil cu generarea de fotoni *LightSource*, unde au fost implementate modelele teoretice referitoare la proprietățile fizice ale nuclearitilor si a propagării lor prin atmosfera, precum si a pachetului *TriggerEngine* unde un algoritm de triggerare face posibila detecția „cozii” luminoase a nuclearitilor de către telescoapele orbitale. In Figura 6 se poate observa un fișier de configurare dezvoltat in ESAF-D cu care se pot simula evenimente fie de tip *meteori* fie de tip *nucleariti*.

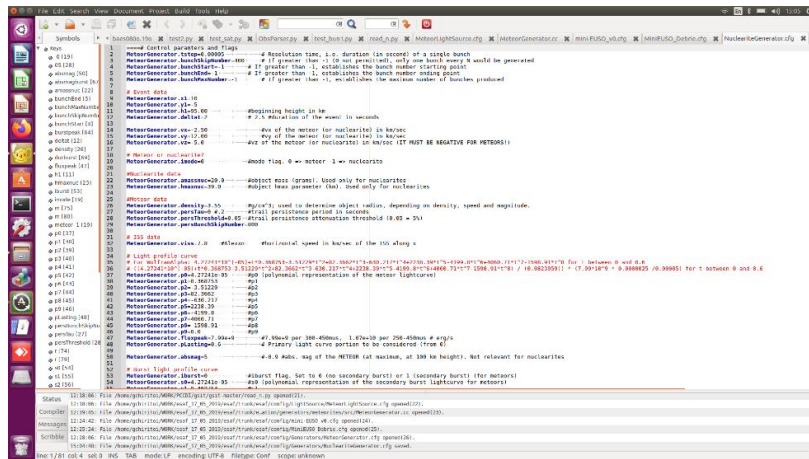


Figura 6. Fisier configurare pentru nucleariti sau meteori in ESAF-D.

Activitatea 2.4: Analiza evenimentelor detectate de TUS

Pe data de 28 Aprilie 2016 telescopul TUS aflat la bordul satelitului Lomonosov a fost lansat cu succes de pe cosmodromul Vostochny. Lomonosov împreună cu alți doi sateliți, Aist-2D și SamSat-218, au fost transportați pe orbita de o rachetă Soyuz-2.1A, prima rachetă care a zburat de pe noul cosmodrom rusesc. Satelitul are o orbită helio-sincronă cu o înclinare de 97.3° , ceea ce poate fi tradus într-o perioadă de ~ 94 min la o altitudine de aproximativ 470-500 km [50].

Telescopul TUS (Tracking Ultraviolet Setup) va detecta jerbele atmosferice largi produse de radiația cosmică de energie ultraînaltă și va contribui la studiul spectrului de energie și al distribuției direcțiilor de sosire ale razelor cosmice cu energii de peste 10^{20} eV.

Elementele de bază ale telescopului TUS sunt oglinda concentratoare Fresnel (OCF) cu suprafața 2 m^2 și blocul electronic fotoreceptor din focarul ei, care constă dintr-o matrice de 16×16 tuburi fotomultiplicatoare (pixeli) de tip HAMAMATSU R1463 cu un diametru de 13 mm și cu sensibilitate la radiația electromagnetică din domeniul 300-400 nm.

Câmpul de vedere al telescopului TUS este de $\pm 4.5^\circ$, fapt care permite sondarea unei suprafețe terestre de $80 \times 80 \text{ km}^2$ de la o altitudine orbitală de 500 km. Această suprafață depășește suprafața Observatorului Pierre Auger care este de numai 3000 km^2 .

Pe perioada de operare în spațiu, TUS a fost comutat din când în când pe modul de observație pentru meteori care permite detecția evenimentelor luminoase în ferestre de timp de 6.6 ms. Pentru analiza noastră am avut în vedere evenimentele înregistrate deasupra Sud-Estului Europei în perioada decembrie 20016 noiembrie 2017.

În Figura 7 este ilustrată distribuția evenimentelor înregistrate în perioada menționată mai sus. Cele 38 de evenimente pot fi împărțite în:

- Zgomot staționar ($I = \text{const}$)
- Lumina antropica de la Orașe ($v = 8 \text{ km/s}$, 50-60 Hz)(ex. Figura 8)

- Nori ($v = 8 \text{ km/s}$)
- Fulgere (Peak-uri ascuțite în diagrama de semnal)
- Meteori (evenimente cu viteze între $30 - 70 \text{ km/s}$)
- Nucleariti ???



Figura 7. Înregistrări ale TUS în modul meteori deasupra Sud-Estului Europei.

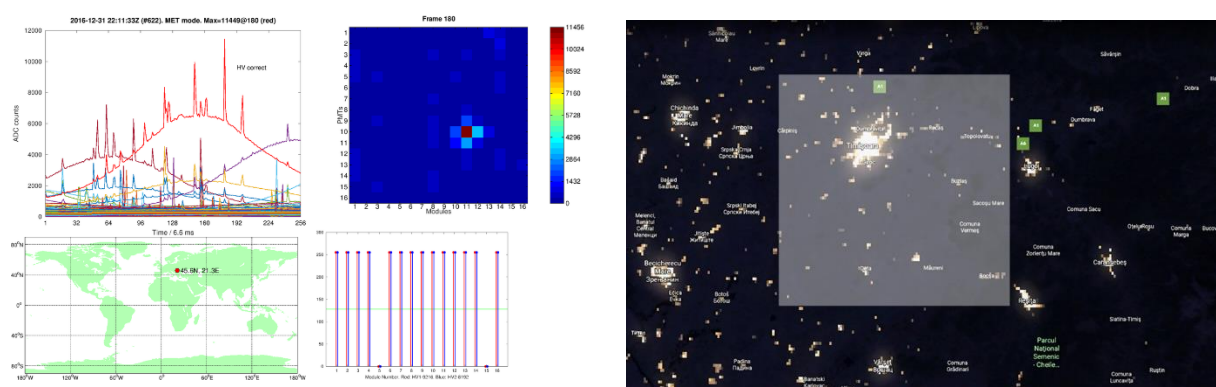


Figura 8. Eveniment deasupra orașului Timișoara.

Un posibil candidat de tip nuclearit a fost înregistrat în data de 01.01.2017 la ora 21:44, Figura 9, eveniment care a fost studiat în detaliu pentru a putea fi identificată sursa, nuclearit sau meteorit. În acest sens au fost efectuate o serie de simulări în vederea reconstrucției

evenimentului cat mai exacta.

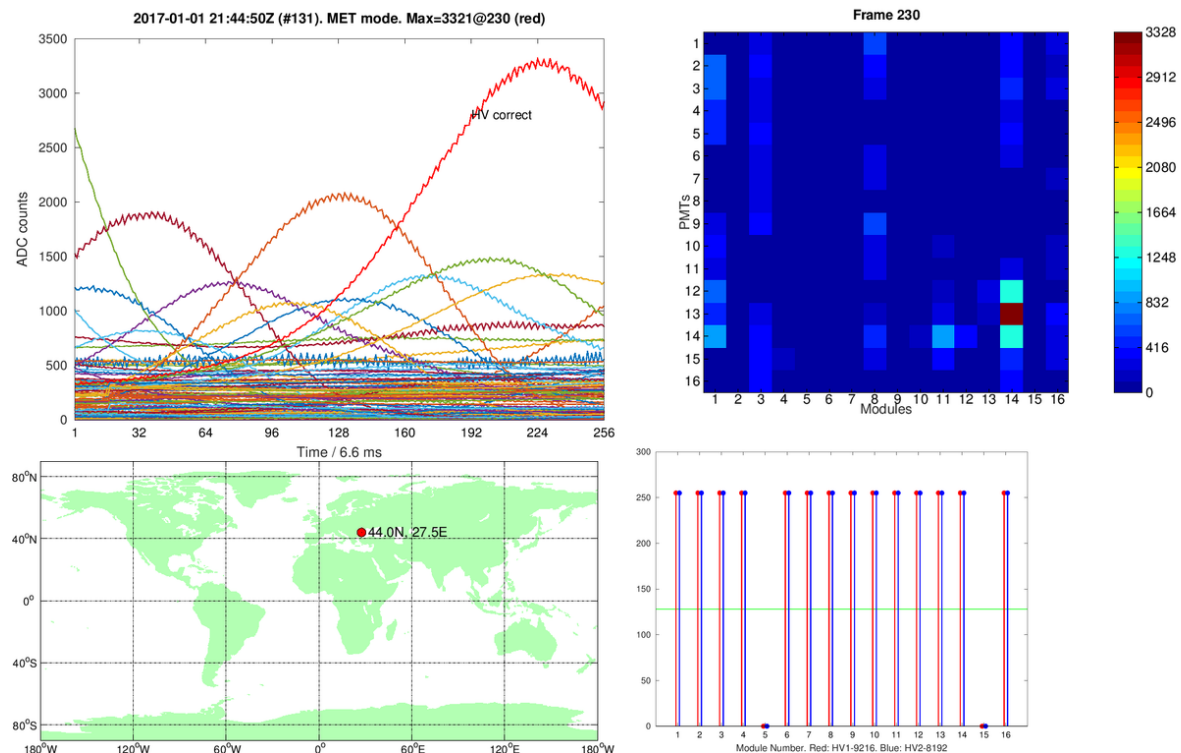


Figura 9. Eveniment posibil candidat nuclearit.

In urma acestei analize s-a ajuns la concluzia ca acest eveniment a fost generat de un meteorit ce avea viteza de aproximativ 30 km/s. Cel mai apropiat rezultat simulat pentru un nuclearit este reprezentat grafic in Figura 10, masa 20g, viteza 270 Km/s, inclinația 45°.

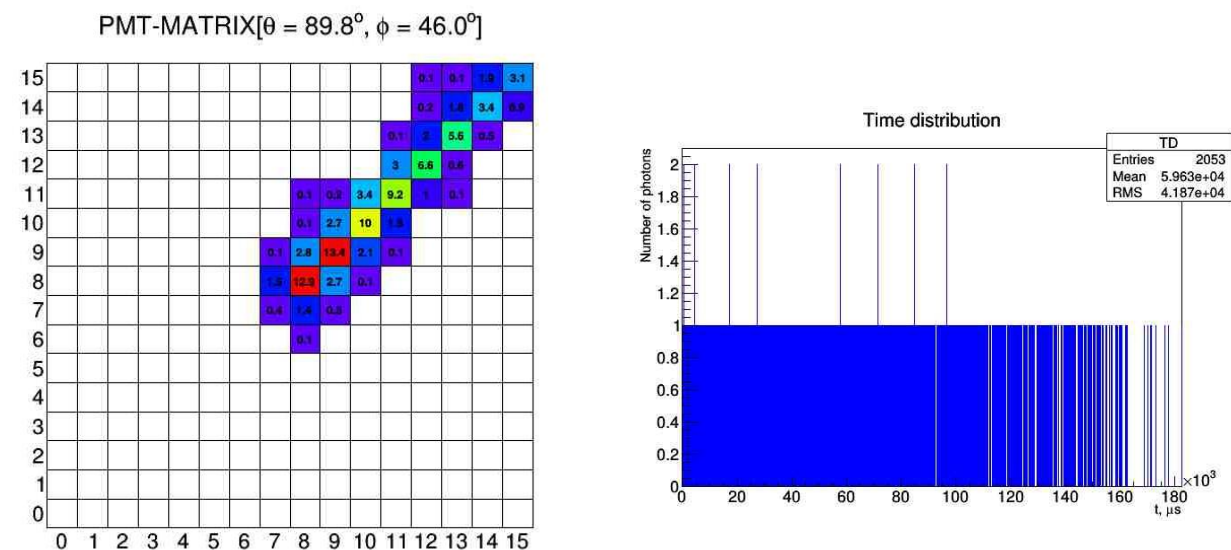


Figura 10. Reconstrucția posibilului candidat nuclearit.

Concluzii

Pe lângă evenimentele care au înregistrat un fond luminos provenit fie de la lumina orașelor sau de la fenomenele meteo (aprox. 90% din evenimente), TUS poate înregistra și evenimente de tip meteori sau nucleariti.

Se constată o sensibilitate crescută la lumina antropică. Se poate calcula un fondul luminos provenit de la iluminarea marilor orașe.

Activitatea 2.5: *Diseminarea Rezultatelor - partea I*

În conformitate cu Planul de Realizare a proiectului, în cadrul acestei activități a fost actualizat website-ul proiectului și au fost realizate activități suport de diseminare. În cazul website-ului proiectului (<http://www.spacescience.ro/projects/s2nusdet/index.html>), acesta a fost actualizat cu ultimele rezultate obținute în cadrul proiectului.

În cazul activităților suport de diseminare, membrii echipei de proiect au participat la întâlnirile lunare ale grupurilor de lucru ale colaborării JEM-EUSO ce a avut loc online. De asemenea Gabriel Chirițoi, în cadrul Sesiunii Științifice Anuale organizată de Facultatea de Fizică din cadrul Universității București în perioada 18.06.2021, a avut o contribuție orală cu titlul *“Preliminary analysis of the TUS UV Telescope data taken in meteor/nuclearite mode above South-East Europe”*.

Totodată au fost întreprinse măsurile de elaborare a unui manuscris pentru un articol spre publicare într-o revistă cunoscută ISI, în care sunt diseminate toate rezultatele proiectului S2NUSDET cât și perspectivele viitoare de aplicare ale acestora.

În consecință toate obiectivele prezentei activități au îndeplinite integral.

In acest context apreciem ca obiectivele aferente acestor activitati au fost atinse in proportie de 100%, iar din punct de vedere financiar, aceste activitati au fost implementate conform bugetului stabilit in Planul de Realizare al proiectului.

C. Bibliografie

- [1] F. F. e. al., "THE ESAF SIMULATION FRAMEWORK FOR THE JEM-EUSO MISSION," in ICRC2011 Proceedings, Beijing, 2011.
- [2] F. C. e. al., "Mini-EUSO: A high resolution detector for the study of terrestrial and cosmic UV emission from the International Space Station," Advances in Space Research, pp. 2954-2965, 2018.
- [3] B. A. K. e. al., "Space Program KOSMOTEPETL (project KLYPVE and TUS) for the study of extremely high energy cosmic rays," AIP Conf. Proc. 566, pp. 57-75, 2011.

DIRECTOR PROIECT,
CHIRITOI Gabriel